



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108021025 A

(43)申请公布日 2018.05.11

(21)申请号 201711020851.2

(22)申请日 2017.10.27

(30)优先权数据

15/339,157 2016.10.31 US

(71)申请人 德州仪器公司

地址 美国德克萨斯州

(72)发明人 M·巴德瓦杰

(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限

责任公司 11287

代理人 林斯凯

(51)Int.Cl.

G05B 13/04(2006.01)

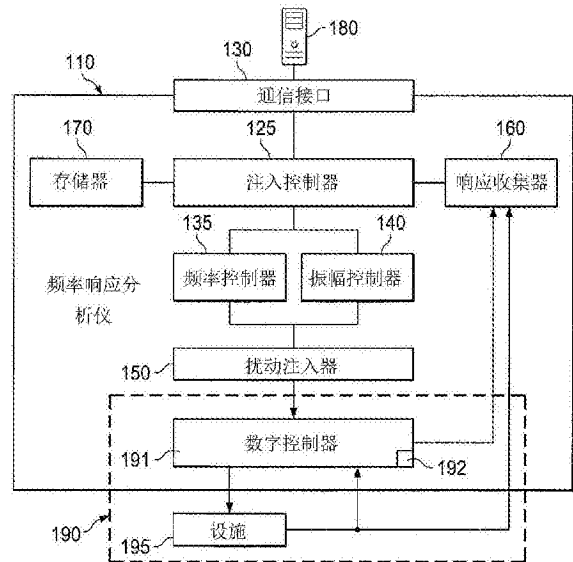
权利要求书2页 说明书12页 附图6页

(54)发明名称

针对频率响应测量而控制注入的方法及设备

(57)摘要

本发明涉及用以针对频率响应测量而控制注入的方法及设备。一种实例性方法包含计算电路的增益(125、330)。基于所测量的所述电路对在所述第一频率下所注入的第一扰动的响应而计算所述增益(150、320)。识别第二扰动将被注入到所述电路中的第二频率(135、355)。计算所述第二扰动将在所述第二频率下被注入到所述电路中的振幅(140、360)。基于测量噪声(140、410)及所述电路在所述第一频率下的所述增益(140、430、440)而计算所述振幅。使用所述第二频率及所述振幅来将所述第二扰动注入到所述电路中(150、320)。



1. 一种包括指令的有形机器可读存储磁盘或存储装置,所述指令在被执行时致使机器至少:

计算电路的增益,基于所测量的所述电路对在第一频率下所注入的第一扰动的响应而计算所述增益;

识别第二扰动将被注入到所述电路中的第二频率,所述第二频率不同于所述第一频率;

计算所述第二扰动在所述第二频率下被注入到所述电路中的振幅,基于测量噪声值及所述电路在所述第一频率下的所述增益而计算所述振幅;及

使用所述第二频率及所述振幅来将所述第二扰动注入到所述电路中。

2. 根据权利要求1所述的机器可读存储磁盘或存储装置,其中所述增益是设施增益,且其中进一步基于在第三频率下的预期补偿器增益而计算所述振幅。

3. 根据权利要求2所述的机器可读存储磁盘或存储装置,其中所述第三频率大于所述第一频率且大于所述第二频率。

4. 根据权利要求2所述的机器可读存储磁盘或存储装置,其中所述指令在被执行时进一步致使所述机器通过对所述电路的一或多个先前所测量响应的一或多个补偿器增益进行内插来确定所述预期补偿器增益。

5. 根据权利要求2所述的机器可读存储磁盘或存储装置,其中所述指令在被执行时进一步致使所述机器通过执行查找以识别在先前记录的频率扫描中所测量的对应于所述第三频率的所测量补偿器增益来确定所述预期补偿器增益。

6. 根据权利要求1所述的机器可读存储磁盘或存储装置,其中所述指令在被执行时进一步致使所述机器将所述振幅箝位在最大振幅与最小振幅之间。

7. 根据权利要求1所述的机器可读存储磁盘或存储装置,其中所述指令在被执行时进一步致使所述机器响应于所述第二扰动的所述注入而计算所述电路的开环增益。

8. 根据权利要求7所述的机器可读存储磁盘或存储装置,其中所述指令在被执行时进一步致使所述机器响应于所述第二扰动的所述注入而计算所述电路的设施增益。

9. 根据权利要求8所述的机器可读存储磁盘或存储装置,其中所述指令在被执行时进一步致使所述机器将响应于所述第二扰动的所述注入而计算的所述电路的所述开环增益及响应于所述第二扰动的所述注入而计算的所述电路的所述设施增益报告给计算机系统。

10. 一种用以针对频率响应测量而控制注入的方法,所述测量包括:

计算电路的增益,基于所测量的所述电路对在第一频率下所注入的第一扰动的响应而计算所述增益;

识别第二扰动将被注入到所述电路中的第二频率,所述第二频率不同于所述第一频率;

通过利用处理器执行指令来计算所述第二扰动将在所述第二频率下被注入到所述电路中的振幅,基于测量噪声及所述电路在所述第一频率下的所述增益而计算所述振幅;及

使用所述第二频率及所述振幅来将所述第二扰动注入到所述电路中。

11. 根据权利要求10所述的方法,其中所述增益是设施增益,且所述方法进一步基于在第三频率下的预期补偿器增益而计算所述振幅。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中所述第三频率大于所述第一频率且大于所述第

二频率。

13. 根据权利要求11所述的方法,其进一步包含通过对所述电路的一或多个先前所测量响应的一或多个补偿器增益进行内插来确定所述预期补偿器增益。

14. 根据权利要求11所述的方法,其进一步包含通过执行查找以识别在先前记录的频率扫描中所测量的对应于所述第三频率的所测量补偿器增益来确定所述预期补偿器增益。

15. 根据权利要求10所述的方法,其进一步包含将所述振幅箝位在最大振幅与最小振幅之间。

16. 根据权利要求10所述的方法,其进一步包含响应于所述第二扰动的所述注入而计算所述电路的开环增益。

17. 根据权利要求16所述的方法,其进一步包含响应于所述第二扰动的所述注入而计算所述电路的所述设施增益。

18. 根据权利要求17所述的方法,其进一步包含将响应于所述第二扰动的所述注入而计算的所述电路的所述开环增益及响应于所述第二扰动的所述注入而计算的所述电路的设施增益报告给计算机系统。

19. 一种用以针对频率响应测量而控制注入的设备,所述设备包括:

注入控制器,其用以计算电路的设施增益,基于所测量的所述电路对在所述第一频率下所注入的第一扰动的响应而计算所述设施增益;

频率控制器,其用以识别第二扰动将被注入到所述电路中的第二频率,所述第二频率不同于所述第一频率;

振幅控制器,其用以计算所述第二扰动将在所述第二频率下被注入到所述电路中的振幅,基于测量噪声及所述电路在所述第一频率下的所述设施增益而计算所述振幅;及扰动注入器,其使用所述第二频率及所述振幅将所述第二扰动注入到所述电路中。

20. 根据权利要求19所述的设备,其进一步包含用以与计算机系统通信的通信接口,所述注入控制器用以响应于所述第二扰动的所述注入而计算所述电路的开环增益,所述注入控制器将响应于所述第二扰动的所述注入而计算的所述电路的所述开环增益及响应于所述第二扰动的所述注入而计算的所述电路的所述设施增益报告给计算机系统。

## 针对频率响应测量而控制注入的方法及设备

### 技术领域

[0001] 本发明大体来说涉及频率响应测量,且更特定来说涉及用以控制频率响应测量的注入的方法及设备。

### 背景技术

[0002] 电力供应器设计者力图设计稳定的电力转换器。虽然电力供应器设计者为所设计的电力转换器电路制备模型且检查来自这些模型的频率响应以确认稳定性,但这些模型无法解释系统的所有潜在扰动且可容易产生误差。因此,电力供应器设计者更倾向于测量电力供应器电路的频率响应以验证所述模型方法,且确保电力供应器电路的稳定性。另外,对于其模型计算起来可较为复杂的功率级来说,可使用仅基于频率响应测量的黑箱方法来验证系统的稳定性。

### 发明内容

[0003] 在本发明的一个实施例中,揭示一种有形机器可读存储磁盘或存储装置。所述机器可读存储磁盘或存储装置包括指令,所述指令在被执行时致使机器至少:计算电路的增益,基于所测量的所述电路对在第一频率下所注入的第一扰动的响应而计算所述增益;识别第二扰动将被注入到所述电路中的第二频率,所述第二频率不同于所述第一频率;计算所述第二扰动在所述第二频率下被注入到所述电路中的振幅,基于测量噪声值及所述电路在所述第一频率下的所述增益而计算所述振幅;及使用所述第二频率及所述振幅来将所述第二扰动注入到所述电路中。

[0004] 在本发明的一个实施例中,揭示一种用以针对频率响应测量而控制注入的方法。所述方法包括:计算电路的增益,基于所测量的所述电路对在第一频率下所注入的第一扰动的响应而计算所述增益;识别第二扰动将被注入到所述电路中的第二频率,所述第二频率不同于所述第一频率;通过利用处理器执行指令来计算所述第二扰动将在所述第二频率下被注入到所述电路中的振幅,基于测量噪声及所述电路在所述第一频率下的所述增益而计算所述振幅;及使用所述第二频率及所述振幅来将所述第二扰动注入到所述电路中。

[0005] 在本发明的另一实施例中,揭示一种用以针对频率响应测量而控制注入的设备。所述设备包括:注入控制器,其用以计算电路的设施增益,基于所测量的所述电路对在第一频率下所注入的第一扰动的响应而计算所述设施增益;频率控制器,其用以识别第二扰动将被注入到所述电路中的第二频率,所述第二频率不同于所述第一频率;振幅控制器,其用以计算所述第二扰动将在所述第二频率下被注入到所述电路中的振幅,基于测量噪声及所述电路在所述第一频率下的所述设施增益而计算所述振幅;及扰动注入器,其使用所述第二频率及所述振幅将所述第二扰动注入到所述电路中。

### 附图说明

[0006] 图1是用以控制频率响应测量的注入的实例性频率响应分析仪的框图。

[0007] 图2是图1的实例性数控电力转换器的实例性实施方案的框图。

[0008] 图3是表示实例性机器可读指令在被执行时致使图1的实例性频率响应分析仪执行对图1及/或2的实例性数控电力转换器频率响应测量的流程图。

[0009] 图4是表示实例性机器可读指令在被执行时致使图1的实例性频率响应分析仪自动地控制图3的实例性频率响应测量中所使用的注入的振幅的流程图。

[0010] 图5是表示在不使用对图4的注入振幅的自动控制的情况下频率响应测量的结果的实例性波特曲线图(bode plot)。

[0011] 图6是表示利用对图4的注入振幅的自动控制的频率响应测量的结果的实例性波特曲线图。

[0012] 图7是能够执行图3及/或图4的指令以实施图1的实例性频率响应分析仪的实例性处理器平台700的框图。

[0013] 各图并不按比例。在所有图式及随附书面说明中,将尽可能地使用相同参考编号来指代相同或类似零件。

### 具体实施方式

[0014] 为了确保设施的稳定性及所要性能,控制工程师实施补偿器来调整去往设施的输入,因此建构闭环系统。补偿器的选择是由对稳定且还满足所要性能特性(例如趋稳时间、过冲等)的系统的需要决定。开环增益(GH)的频率响应是广为接受的用于判定系统稳定性的参数,但因设施(H)未知因此测量起来可能很困难。设计者可创建数学模型来获取H的信息。然而,理论模型无法考虑到系统的所有潜在扰动及/或变化(例如,寄生效应),且可易产生误差。可通过以下方式直接测量设施电路H的频率响应:将小信号扰动注入到闭环系统或开环系统中且跨越控制设计的所关注范围扫描注入频率。由于设施(H)及开环(GH)增益跨越频率扫描谱不恒定,因此由小信号注入所致的输出的输出扰动可从频谱的一端变化到另一端。期望减少输出扰动使得其不会中断受测试系统的操作。在现有系统中,添加到电路的小信号注入的振幅在整个频率范围上是固定的。遗憾的是,由于在整个频率扫描过程中开环增益发生变化,因此由连续注入所导致的输出扰动将变化且可中断受测试电路的操作及/或形成测量噪声(由此使测量的质量降级)。

[0015] 本文中所揭示的实例基于先前频率扫描数据(例如,频率扫描内的频率响应测量值、来自先前扫描的信息等)而调适经注入信号的振幅。举例来说,在频率扫描期间,使用频率N-1处的所测量响应来计算频率N处所使用的振幅。因此,控制所注入正弦信号的振幅以防止输出处的大扰动,所述大扰动也可人为地给受测试电路引入不稳定性。

[0016] 本文中所揭示的实例能够在不需要外部频率响应分析仪的情况下对数控电力转换器进行频率响应分析。本文中所揭示的实例性频率响应分析仪能够识别设施及闭环电力转换器的开环特性。这些特性可用于确定闭环电力转换器的稳定性信息,例如带宽、增益裕度及相位裕度。闭环电力转换器的实例性稳定性设计目标可能包含(举例来说)确保闭环电力转换器渐进地跟踪参考电压,确保适当地拒斥输入扰动等。

[0017] 频率扫描的结果可用于促进用于数控电力转换器中的补偿器的系数的设计。接着,可将这些系数编程到数控电力转换器,且可再次执行频率分析以重新验证数控电力转换器的设计。

[0018] 图1是用以控制频率响应测量的注入的实例性频率响应分析仪110的框图。实例性频率响应分析仪110包含注入控制器125、通信接口130、频率控制器135、振幅控制器140、扰动注入器150、响应收集器160及存储器170。实例性频率响应分析仪110与外部计算机系统180进行通信以促进将频率响应分析结果呈现给用户以及接收关于将由频率响应分析仪110执行的频率响应分析的指令。实例性频率响应分析仪110对实例性数控电力转换器190执行频率响应分析。

[0019] 图1的所图解说明实例的实例性注入控制器125致使扰动注入器150将注入输出到数控电力转换器190。实例性注入控制器125经由响应收集器160测量数控电力转换器190的响应且计算经配置频率扫描中的每一所测量频率的开环响应及设施响应。这些开环响应信息及设施响应信息可用于(举例来说)验证设施模型(H),提取设施模型(H),设计用于闭环设施的补偿器(G),验证数控电力转换器的闭环性能等。随着扫描被执行,可使用开环响应信息及/或设施响应信息来确定幅将用于在下一待测试频率下进行的注入的振。随着扫描被执行,将开环响应信息及/或设施响应信息存储于实例性存储器170中。在完成扫描之后,可即刻经由实例性通信接口130将存储于实例性存储器170中的结果提供到外部计算机系统180。

[0020] 图1的所图解说明实例的实例性通信接口130使频率响应分析仪110能够与外部系统(例如,实例性外部计算机系统180)进行通信。在本文中所揭示的实例中,使用串行通信端口来实施实例性通信接口。在本文中所揭示的实例中,通信接口130利用串行通信协议(例如,RS-232、RS-422、RS-485等)来与外部计算机系统180进行通信。然而,可另外地或作为另一选择地使用用于与外部计算机系统进行通信的任何其它过去的、现在的及/或未来的协议及/或通信系统,例如以太网通信、蓝牙通信等。

[0021] 在本文中所揭示的实例中,通信接口130能够从实例性计算机系统180接收频率分析参数。实例性频率分析参数可包含(举例来说)待执行频率分析的启动频率、待测试频率的数目、待测试频率之间的差、是否利用自动注入振幅的指示、将利用的启动注入振幅等。然而,可以任何其它方式传递频率分析参数。举例来说,不指示启动频率、频率数目及每一连续频率之间的差,而是可提供待测试频率的列表。在一些实例中,频率分析参数指示注入控制器125开始频率分析。

[0022] 在本文中所揭示的实例中,实例性通信接口130能够将频率分析结果传达到实例性计算机系统180。在一些实例中,使用逗号分隔格式(CSV)来发射结果。然而,可另外地或作为另一选择地使用任何其它过去的、现在的及/或未来的结果格式,例如,电子表格格式(例如,Microsoft® Excel®)、网页格式(例如,超文本标记语言(HTML))、可延伸标记语言(XML)格式等。在一些实例中,结果包含(举例来说)对频率分析的每一对应频率的开环传递函数测量及设施测量。然而,可报告任何其它值,例如由频率响应分析仪110利用的注入振幅。

[0023] 图1的所图解说明实例的实例性频率控制器135在执行频率扫描时选择待测试频率。在本文中所揭示的实例中,实例性频率控制器135将被递增在每一连续频率步长上的步长指数初始化。在本文中所揭示的实例中,将实例性步长指数初始化为零。然而,可另外地或作为另一选择地使用任何其它初始指数值。实例性频率控制器通过将每一连续频率步长之间的差乘以步长指数且加上待测试的初始频率来计算待测试频率。将待测试频率传递到

扰动注入器150。

[0024] 图1的所图解说明实例的实例性振幅控制器140计算将由扰动注入器150使用的振幅。在本文中所揭示的实例中,实例性振幅控制器140确定是否将使用自动注入控制且如果使用的话那么使用自动注入控制模式。如果将使用基于设施的模式,那么实例性振幅控制器140基于测量噪声(例如,在响应收集器160处出现的噪声)及先前频率步长(N-1)的设施响应(H)而确定振幅。在一些实例中,测量噪声(例如,模/数转换器(ADC)噪声底值)是实例性响应收集器160的已知性质。然而,在一些其它实例中,测量噪声是在响应收集器160收集的响应的导出值(例如,基于信噪比)。在一些实例中,比例因数用于测量噪声。如果使用基于开环的模式,那么实例性振幅控制器140确定振幅基于测量噪声及先前频率步长(N-1)的开环响应(GH)。在一些实例中,当利用基于开环的模式时,实例性振幅控制器140基于测量噪声、先前频率步长(N-1)的设施响应(H)及下一频率步长(N+1)的预期补偿器响应(G)而确定振幅。

[0025] 在一些实例中,实例性振幅控制器140将振幅箝位为最大及/或最小输出扰动阈值。举例来说,如果振幅控制器140确定振幅超过最大阈值,那么实例性振幅控制器140将振幅设定为最大阈值。同样地,如果振幅控制器140确定振幅不满足最小阈值,那么实例性振幅控制器140将振幅设定为最小阈值。在本文中所揭示的实例中,最大阈值是.05且最小阈值是.0005。然而,可另外地或作为另一选择地使用任何其它最大及/或最小阈值。虽然在本文中所揭示的实例中,使用最大箝位及最小箝位两者,但在一些实例中,可省略最大及/或最小箝位。

[0026] 图1的所图解说明实例的实例性扰动注入器150输出正弦波形,所述正弦波形具有由振幅控制器140在由频率控制器135识别的频率下识别的振幅。所述正弦波形致使数控电力转换器190中的响应,所述响应可由响应收集器160测量。

[0027] 图1的所图解说明实例的实例性响应收集器160测量数控电力转换器190的响应。在本文中所揭示的实例中,由模/数转换器(ADC)实施实例性响应收集器160。ADC的取样频率由频率响应分析仪110配置,使得所述频率大于待执行频率扫描的最大频率的两倍且最通常地大于转换器的控制频率或切换频率。然而,可另外地或作为另一选择地使用测量数控电力转换器190的响应的任何其它方法。在一些实例中,响应收集器160形成ADC噪声。ADC噪声对可形成对注入的可测量响应的注入振幅值形成较低限制。

[0028] 图1的所图解说明实例的实例性存储器170是由用于存储信息(例如,所注入扰动的频率、对注入的开环响应、对注入的设施响应等)的存储器实施。图1的所图解说明实例的实例性存储器170可以是用于存储数据的任何装置,例如快闪存储器、磁性媒体等。在所图解说明实例中,实例性存储器170是由频率响应分析仪110的随机存取存储器实施。此外,存储于实例性存储器170中的数据可以呈任何数据格式,例如二进制数据、逗号分界数据、标签分界数据、结构化查询语言(SQL)结构等。虽然在所图解说明实例中,将存储器170图解说明为单个元件,但实例性存储器170可由多个存储器元件实施,及/或存储于实例性频率响应分析仪110的多个存储器位置中。

[0029] 图1的所图解说明实例的实例性外部计算机系统180是桌上型计算机。然而,可以任何其它方式实施外部计算机系统180。在本文中所揭示的实例中,实例性外部计算机系统180提供用户界面以使用户能够选择频率分析的参数(例如,启动频率、待测试频率步长的

数目、每一连续待测试频率步长之间的差等)。在本文中所揭示的实例中,外部计算机系统180的用户界面显示由频率响应分析仪110执行的频率分析的结果。在本文中所揭示的实例中,使用波特曲线图显示结果。然而,可另外地或作为另一选择地使用用于显示频率的分析结果的任何其它方法,例如电子表格。在本文中所揭示的实例中,实例性外部计算机系统180经由频率响应分析仪110的通信接口130使用串行总线连接通信。然而,可另外地或作为另一选择地使用用于发射及/或接收去往/来自频率响应分析仪110的数据的任何其它方法。

[0030] 图1的所图解说明实例的实例性数控电力转换器190是由利用存储于存储器192中的操作特性的数字控制器191实施,而非由用以控制设施195的响应的离散组件(例如,电阻器、电容器、电感器等)设定。在本文中所揭示的实例中,操作特性可存储于存储器192中且由数字控制器191利用来(举例来说)控制设施195的反馈迴圈。图2是图1的实例性数控电力转换器190的实例性实施方案的框图。图2的实例性数控电力转换器190包含第一混合器210、第二混合器220、数字控制器191(也被称为补偿器)及设施195。参考电压由第一混合器210接收且与从图1的扰动注入器150接收的输入组合。第一混合器210形成输出 $r$ ,第二混合器220将输出 $r$ 与设施195的输出 $y$ 组合。第二混合器220形成输出 $e$ ,输出 $e$ 被传递到数字控制器(补偿器)191。数字控制器(补偿器)191基于输入 $e$ 及存储于存储器192中的操作特性而控制设施195的操作。在本文中所揭示的实例中,设施195形成输出 $y$ ,输出 $y$ 被发射到第二实例性混合器220及图1的实例性响应收集器160。虽然图2的实例性数控电力转换器190经布置使得数字控制器191将输入提供到设施195,但可以任何其它方式布置实例性数控电力转换器190。

[0031] 图2的所图解说明实例的实例性第一混合器210是由数字混合器实施,所述数字混合器将参考信号添加到从图1的扰动注入器150接收的扰动。然而,可以任何方式实施实例性第一混合器210。图2的所图解说明实例的实例性第二混合器220是由数字混合器实施,所述数字混合器将第一实例性混合器210的输出( $r$ )添加到设施195的输出( $y$ )。然而,可以任何方式实施实例性第二混合器220。在一些实例中,将第一实例性混合器210及第二实例性混合器220实施为单个混合器。

[0032] 图2的所图解说明实例的实例性数字控制器(补偿器)191是(例如,经由设施195)引入到第二实例性混合器220的输出( $e$ )与第二实例性混合器220的输入( $y$ )之间的反馈迴圈中的装置。实例性数字控制器(补偿器)191控制设施195的操作以确保设施以稳定方式操作及/或在所要性能下操作。在本文中所揭示的实例中,实例性数字控制器(补偿器)191是由数字滤波器实施且利用存储于存储器192中的滤波器系数。然而,可另外地或作为另一选择地使用任何其它类型的补偿器,例如使用离散组件(例如,电阻器、电容器、电感器等)实施的模拟滤波器。在本文中所揭示的实例中,实例性数字控制器(补偿器)191由传递函数 $G$ 表示。

[0033] 所图解说明实例的实例性设施195由电路实施。在本文中所揭示的实例中,设施195由降压电力转换器实施且将输入电压转换成输出电压。然而,实例性设施195可由任何其它电路实施。在本文中所揭示的实例中,实例性设施195可展现由数字控制器(补偿器)191控制及/或校正的非期望性能特性(例如,在特定情况下的不稳定性、非期望相位位移、非期望增益等)。在本文中所揭示的实例中,实例性设施195是由传递函数 $H$ 表示。



[0034] 虽然图1中图解说明实施频率响应分析仪110的实例性方式,但图1中所图解说明的元件、过程及/或装置中的一或多个可以任何其它方式被组合、划分、重新布置、省略、清除及/或实施。此外,实例性注入控制器125、实例性通信接口、实例性频率控制器135、实例性振幅控制器140、实例性扰动注入器150、实例性响应收集器160、实例性存储器170及/或(更大体来说)图1的实例性频率响应分析仪110可由硬件、软件、固件及/或硬件、软件及/或固件的任何组合实施。因此,举例来说,实例性注入控制器125、实例性通信接口、实例性频率控制器135、实例性振幅控制器140、实例性扰动注入器150、实例性响应收集器160、实例性存储器170及/或(更大体来说)图1的实例性频率响应分析仪110中的任一者可由一或多个模拟或数字电路、逻辑电路、可编程处理器、专用集成电路(ASIC)、可编程逻辑装置(PLD)及/或现场可编程逻辑装置(FPLD)来实施。当阅读本专利的设备或系统请求项中的任一者以涵盖纯粹地软件及/或固件实施方案时,实例性注入控制器125、实例性通信接口、实例性频率控制器135、实例性振幅控制器140、实例性扰动注入器150、实例性响应收集器160、实例性存储器170及/或(更大体来说)图1的实例性频率响应分析仪110中的至少一者借此明确地被定义以包含有形计算机可读存储装置或存储磁盘,例如存储器、数字多功能光盘(DVD)、磁盘(CD)、蓝光光盘等存储软件及/或固件。此外,除了图1中所图解说明的之外或替代图1中所图解说明的,图1的实例性频率响应分析仪110可包含一或多个元件、过程及/或装置及/或可包含所图解说明元件、过程及装置中的任一者或所有者中的一者以上。

[0035] 图3及/或4中展示表示用于实施图1的频率响应分析仪110的实例性机器可读指令的流程图。在这些实例中,机器可读指令包括供处理器(例如,下文结合图7所论述的实例性处理器平台700中所展示的处理器712)执行的程序。程序可体现为存储于有形计算机可读存储媒体(例如CD-ROM、软盘、硬盘驱动器、数字多功能光盘(DVD)、蓝光光盘或与处理器712相关联的存储器)上的软件,但另一选择为整个程序及/或其部分可由除了处理器712之外的装置执行及/或体现为固件或专用硬件。此外,尽管参考图3及/或4中所图解说明的流程图描述实例性程序,可作为另一选择地使用实施实例性频率响应分析仪110的任何其它方法。举例来说,可改变执行框的次序,及/或可改变、清除或组合所描述框中的一些。

[0036] 如上文所述,可使用存储于有形计算机可读存储媒体(例如硬盘驱动器、快闪存储器、只读存储器(ROM)、磁盘(CD)、数字多功能光盘(DVD)、高速缓冲存储器、随机存取存储器(RAM)及/或信息存储于其中达任何持续时间(例如,达经延长周期、永久地,举简单例子来说用于暂时缓冲及/或用于高速缓冲信息)的任何其它存储装置或存储磁盘)上的经编码指令(例如,计算机及/或机器可读指令)来实施图3及/或4的实例性过程。如本文中所使用,术语“有形计算机可读存储媒体”被明确地定义为包含任何类型的计算机可读存储装置及/或存储磁盘且排除传播信号并排除发射媒体。如本文中所使用,可互换地使用“有形计算机可读存储媒体”及“有形机器可读存储媒体”。另外地或作为另一选择,可使用存储于非暂时性的计算机及/或机器可读媒体(例如硬盘驱动器、快闪存储器、只读存储器、磁盘、数字多功能光盘、高速缓冲存储器、随机存取存储器及/或信息于存储其中达任何持续时间(例如,达经延长周期、永久地,举简单例子来说用于暂时地缓冲及/或用于高速缓冲信息)的任何其它存储装置或存储磁盘)上的经编码令(例如,计算机及/或机器可读指令)来实施图3及/或4的实例性过程。如本文中所使用,术语“非暂时性计算机可读媒体”被明确地定义为包含任何类型的计算机可读存储装置及/或存储磁盘且排除传播信号并排除发射媒

体。如本文中所使用,当短语“至少”在权利要求书的前导词中被用作过渡术语时,其是开放式的,同样地与术语“包括”也是开放式的。

[0037] 图3是表示实例性机器可读指令在被执行时致使图1的实例性频率响应分析仪110对图1及/或2的实例性数控电力转换器190执行频率响应测量的流程图。图3的实例性程序300开始于框305处,此时实例性注入控制器125经由实例性通信接口130从外部计算机系统180接收频率分析参数(框305)。在本文中所揭示的实例中,实例性注入控制器125接收操作模式、频率向量长度、启动频率、每十倍步长的数目、是否使用自动注入振幅控制(及/或在使用自动注入振幅控制时是否使用启动振幅)的指示、扰动限制等。实例性注入控制器125将频率分析参数存储于实例性存储器170中。

[0038] 实例性注入控制器125确定是否执行频率分析(框307)。在一些实例中,实例性注入控制器125确定在接收到频率分析参数之后即刻执行频率分析。然而,在一些实例中,可周期性地(例如,每十分钟、每小时等)执行及/或可在完成先前频率分析之后即刻执行频率分析。如果实例性注入控制器125确定不执行频率分析(例如,框307传回结果“否”),那么控制进行到框307,在框307中实例性注入控制器125继续确定是否执行频率分析。在一些实例中,实例性注入控制器125可在重复是否执行频率分析的判定之前等待。

[0039] 如果实例性注入控制器125确定执行频率分析(例如,框307传回结果“是”),那么实例性频率控制器135确定注入的初始频率(框310)。在一些实例中,实例性频率控制器135将步长指数初始化以促进识别将测试哪一频率步长。在本文中所揭示的实例中,提供初始频率以作为频率分析参数的一部分。然而,在一些实例中,实例性频率控制器135可基于频率分析参数而计算初始频率。

[0040] 实例性振幅控制器140确定注入的初始振幅(框315)。在本文中所揭示的实例中,实例性振幅控制器140基于结合框305提供的频率分析参数而确定注入的初始振幅。然而,可以任何其它方式识别注入的初始振幅。

[0041] 使用由频率控制器135识别的频率及由振幅控制器140识别的振幅,实例性扰动注入器150将扰动注入到数控电力转换器190中(框320)。在本文中所揭示的实例中,注入是正弦波形。然而,可另外地或作为另一选择地使用任何其它类型的波形。实例性响应收集器160测量输出扰动(框325)。

[0042] 实例性注入控制器125计算设施增益(H)(框330)。在本文中所揭示的实例中,使用以下方程式来计算设施增益:

$$[0043] \quad H = \frac{Y}{u} \Rightarrow H = \frac{(y_r + jy_i)}{(u_r + ju_i)} = \frac{(y_r u_r + y_i u_i)}{(u_r^2 + u_i^2)} + j \frac{(y_i u_r - y_r u_i)}{(u_r^2 + u_i^2)}$$

[0044] 方程式1

[0045] 在以上实例性方程式1中,y表示图2的设施195的输出,且u表示图2的设施195的输入。 $y_r$ 表示设施195的输出的实数部分,且 $y_i$ 表示设施195的输出的虚数部分。同样地, $u_r$ 表示设施195的输入的实数部分,且 $u_i$ 表示设施195的输入的虚数部分。然而,可另外地或作为另一选择地使用计算设施增益(H)的任何其它方法。

[0046] 实例性注入控制器125确定补偿器增益(G)(框335)。在本文中所揭示的实例中,使用补偿器的已知参数(例如,存储于存储器192中的滤波器系数)来计算补偿器增益。然而,可另外地或作为另一选择地使用计算补偿器增益(G)的任何其它方法。

[0047] 实例性注入控制器125计算开环增益(GH) (框340)。在本文中所揭示的实例中,使用以下方程式来计算开环增益:

$$[0048] \quad y = \frac{GH}{(1+GH)} r \Rightarrow GH = \frac{y}{r-y}$$

[0049] 方程式2

[0050] 在以上实例方程式2中,y表示图2的设施195的输出,且r表示图2的第二实例性混合器220的输入。方程式2可进一步被扩展且写为:

$$[0051] \quad GH = \frac{(y_r + jy_i)}{(j r_i - (y_r + jy_i))} = \frac{-(y_r^2 - y_i(r_i - y_i))}{y_r^2 + (r_i - y_i)^2} - j \frac{(y_r y_i + y_i(r_i - y_i))}{y_r^2 + (r_i - y_i)^2}$$

[0052] 方程式3

[0053] 在以上实例方程式3中,y<sub>r</sub>表示设施195的输出的实数部分,且y<sub>i</sub>表示设施195的输出的虚数部分。r<sub>i</sub>表示图2的第二实例性混合器220的输入的虚数部分。然而,可另外地或作为另一选择地使用计算开环增益(GH)的任何其它方法。

[0054] 实例性注入控制器125将设施增益(框330)、补偿器增益(框335)及开环增益(框340)的计算结果存储于存储器170中(框345)。在本文中所揭示的实例中,注入控制器结合所测试频率而存储增益。然而,可以任何方式存储增益。

[0055] 实例性注入控制器125确定是否存在任何额外频率待测试(框350)。在本文中所揭示的实例中,实例性注入控制器125基于频率分析参数而确定存在额外频率待测试。如果存在额外频率待测试(例如,框350传回结果“是”),那么实例性频率控制器135识别下一待测试频率(框355)。在一些实例中,递增识别待测试频率步长的步长指数。在本文中所揭示的实例中,递增所测试频率以实施从启动频率到结束频率的频率扫描。在本文中所揭示的实例中,启动频率小于结束频率(即,不断增大的频率扫描)。然而,可另外地或作为另一选择地使用任何其它类型的频率扫描,例如其中启动频率大于结束频率的频率扫描(即,不断减小的频率扫描)。

[0056] 实例性振幅控制器140计算将用于下一频率步长处的所注入扰动的振幅(框360)。在本文中所揭示的实例中,振幅控制器140基于数控电力转换器190在先前频率步长处的响应及输出扰动限制而计算振幅。结合图4揭示计算将用于下一所注入扰动的振幅的实例性方法。接着,控制返回到框320,其中重复框320到框360的过程以执行完整的频率扫描。

[0057] 当频率扫描完成时(例如,框350传回结果“否”),实例性注入控制器125将存储于存储器170中的频率扫描的结果经由通信接口130报告给外部计算机系统180(框365)。在一些实例中,实例性注入控制器125不将结果报告给外部计算机系统180。举例来说,结果可仍存储于存储器170中直到外部计算机系统180发出请求为止。此外,在一些实例中,实例性注入控制器125可在执行频率扫描时报告频率扫描的结果(例如,在结合框345将那些结果存储于存储器中时可报告频率扫描的部分结果)。接着,控制进行到框307,其中实例性注入控制器125确定是否执行后续频率分析。

[0058] 图4是表示实例性机器可读指令在被执行时致使图1的实例性频率响应分析仪110自动地控制图3的实例性频率响应测量中所使用的注入的振幅的流程图。图4的实例性程序360开始于框410处,此时实例性振幅控制器识别测量噪声值(框410)。在本文中所揭示的实

例中,实例测量噪声值存储于存储器170中而作为结合图3的框305所接收的频率分析参数的一部分,且因此,实例性振幅控制器通过从存储器170读取测量噪声值而识别输出扰动限制。在一些实例中,可基于响应收集器160的已知ADC噪声底值确定测量噪声。然而,可以任何其它方式确定实例性测量噪声值。举例来说,可基于响应收集器160的操作参数而计算测量噪声值(例如,由响应收集器160报告的ADC电平数目、响应收集器160对数控电力转换器190的响应进行取样的频率等)。在一些实例中,应用比例因数来增大及/或减小测量噪声值。

[0059] 实例性振幅控制器140确定用于控制注入扰动的操作模式(框420)。操作模式存储于存储器170中以作为结合图3的框305所接收的频率分析参数的一部分,且因此实例性振幅控制器140通过从存储器170读取操作模式而识别操作模式。在本文中所揭示的实例中,使用两种实例性操作模式,其对应于在设施模式或开环模式中操作的数控电力转换器190。如果振幅控制器140将在设施模式中操作(例如,框420传回结果“设施”),那么实例性振幅控制器140确定在紧邻先前频率步长处测量的设施增益(H)(框430)。在本文中所揭示的实例中,设施增益表示设施的频率响应的增益分量。然而,可使用确定设施增益(H)的任何其它方法,例如求先前频率步长的多个所测量设施增益的平均值(例如,求频率扫描内的五个最近频率步长的平均值)。实例性振幅控制器140计算下一注入振幅(框440)。在本文中所揭示的实例中,使用测量噪声值及设施增益值(结合框430所确定)来计算下一注入振幅。举例来说,下一注入振幅可计算为:

$$[0060] \quad i_n = \frac{\text{测量噪声}}{H_{n-1}}$$

[0061] 方程式4

[0062] 在以上方程式4中, $i_n$ 表示下一所注入扰动的量值;(测量噪声)表示结合框410确定的测量噪声;且 $H_{n-1}$ 表示在先前频率步长处所测量的设施传递函数的增益(框430确定)。然而,可执行任何其它方程式及/或计算来确定将在下一频率步长处使用的注入振幅。基于测量噪声及设施传递函数而计算注入振幅是重要的,这是因为此方法能够基于数控电力转换器190的预期响应而缩放注入振幅。举例来说,对于1%的测量误差来说,在设施增益(H)是1时注入振幅将需要是ADC噪声底值的100倍。然而,如果设施增益(H)是10,那么对于相同的测量误差来说,注入振幅仅需要是ADC噪声底值的10倍。

[0063] 实例性振幅控制器140对所计算注入振幅施加最小及/或最大输出扰动限制(框450)。在本文中所揭示的实例中,注入振幅相对于操作参考点(例如,图2的参考Ref)而被箝位在0.05%的最大值处。同样地,注入振幅相对于操作参考(例如,图2的参考Ref)而被箝位在.0005%的最小值处。然而,可另外地或作为另一选择地使用任何其它最小及/或最大值。箝位注入振幅确保,当注入振幅经缩放以减小输出扰动时,不允许注入振幅变得太大以至于干扰数控电力转换器的稳态状态操作,或不允许注入振幅变得太小以至于扰动被注入。接着,实例性振幅控制器140传回注入振幅,使得注入振幅可用于随后所注入的扰动。

[0064] 返回到图4的框420,如果振幅控制器140在开环模式中操作(例如,框420传回结果“开环”),实例性振幅控制器140在后续频率步长处确定注入振幅(框460)。在本文中所揭示的实例中,使用先前频率步长的开环增益来确定注入振幅(例如,基于先前两个所测量的补偿器增益而估计补偿器增益)。在一些实例中,基于在先前所执行的扫描处所测量的后续频

率的开环增益(例如,存储于存储器170中的开环增益值)而确定注入振幅。在一些实例中,当执行第一扫描时,可使用来自先前频率步长的设施增益的插值及补偿器增益的所计算值(补偿器是已知的,这是因为其已经实施于系统中)来确定开环增益,所述开环增益继而可用于确定注入振幅。然而,可以任何其它方式确定预期开环增益,例如在存储器170中执行查找以识别先前频率扫描的所测量补偿器增益,假设下一频率步长的补偿器增益将於先前频率步长相同等。

[0065] 实例性振幅控制器140确定在紧接先前频率步长处所侧量的设施增益(H)(框470)。然而,可使用确定设施增益(H)的任何其它方法,例如求先前频率步长的多个所测量设施增益的平均值(例如,求频率扫描内的五个最近频率步长的平均值)。实例性振幅控制器140计算下一注入振幅(框480)。在本文中所揭示的实例中,使用所测量噪声值、预期补偿器增益(结合框46确定0)及设施增益(结合框470确定)来计算下一注入振幅。在本文中所揭示的实例中,使用以下方程式来计算注入振幅:

$$[0066] \quad i_n = \frac{\left( \frac{\text{测量噪声}}{G_n \times H_{n-1}} \right)}$$

[0067] 方程式5

[0068] 在以上方程式5中, $i_n$ 表示下一所注入扰动的量值;(测量噪声)表示结合框410确定的测量噪声; $G_n$ 表示经估计补偿器增益(结合框460确定);且 $H_{n-1}$ 表示设施传递函数下先前频率步长处的所测量增益(结合框470确定)。然而,可执行任何其它方程式及/或计算来确定将在下一频率步长处使用的注入振幅。在一些实例中,还可直接使用依据先前频率扫描所测量的开环增益GH的值。实例性振幅控制器140对所计算注入振幅(框450)施加最小及/或最大箝位以确保,当注入振幅经缩放以减少输出扰动时,不允许注入振幅变得太大以至于允许干扰数控电力转换器的稳态状态操作,或不允许注入振幅变得太小以至于无扰动被注入。接着,实例性振幅控制器140传回注入振幅,使得注入振幅可用于随后所注入的扰动中。

[0069] 图5是表示在不使用对图4的注入振幅的自动控制的情况下频率响应测量的结果的实例性波特曲线图500。实例性波特曲线图500包含量值曲线图510及相位曲线图520。实例性量值曲线图510相对于所注入扰动的不同输入频率(水平轴,以Hz为单位)而显示数控电力转换器190的响应量值(垂直轴,以分贝为单位)。实例性相位曲线图520相对于所注入扰动的不同输入频率(水平轴,以Hz为单位)而显示数控电力转换器190的响应的相位(垂直轴,以度为单位)。在实例性量值曲线图510及实例性相位曲线图520中,在较高频率下,由固定注入振幅所致的测量误差以量值抖动515及相位抖动525的形式出现。

[0070] 图6是表示利用对图4的注入振幅的自动控制的频率响应测量的结果的实例性波特曲线图600。实例性波特曲线图600包含量值曲线图610及相位曲线图620。实例性量值曲线图610相对于所注入扰动的不同输入频率(水平轴,以Hz为单位)而显示数控电力转换器190的响应的量值(垂直轴,以分贝为单位)。实例性相位曲线图620相对于所注入扰动的不同输入频率(水平轴,以Hz为单位)而显示数控电力转换器190的响应相位(垂直轴,以度为单位)。在实例性量值曲线图610及实例性相位曲线图620中,在较高频率下的对应测量未展现出量值抖动或相位抖动,这是因为对注入振幅的自动控制致使测量误差减小。

[0071] 图7是能够执行图3及/或4的指令以实施图1的实例性频率响应分析仪110的实例

性处理器平台700的框图。处理器平台700可以是(举例来说)数字信号处理器(DSP)、因特网设备、机顶盒或任何其它类型的计算装置。

[0072] 所图解说明实例的处理器平台700包含处理器712。所图解说明实例的处理器712是硬件。举例来说,处理器712可由来自任何所要家庭或制造商的一或多个集成电路、逻辑电路、微处理器或控制器来实施。

[0073] 所图解说明实例的处理器712包含本地存储器713(例如,高速缓冲存储器)且执行指令以实施实例性注入控制器125、实例性频率控制器135及/或实例性振幅控制器140。所图解说明实例的处理器712经由总线718与主存储器(包含易失性存储器714及非易失性存储器716)进行通信。易失性存储器714可由同步动态随机存取存储器(SDRAM)、动态随机存取存储器(DRAM)、RAMBUS动态随机存取存储器(RDRAM)及/或任何其它类型的随机存取存储器装置来实施。非易失性存储器716可由快闪存储器及/或任何其它所要类型的存储器装置实施。存储器控制器控制对主存储器714、716的存取。

[0074] 所图解说明实例的处理器平台700还包含接口电路720。接口电路720可由任何类型的接口标准来实施,例如以太网接口、通用串行总线(USB)及/或PCI express接口。实例性接口电路720实施实例性通信接口130。

[0075] 在所图解说明实例中,一或多个输入装置722连接到接口电路720。输入装置722准许用户将数据及命令键入到处理器712中。输入装置可由(举例来说)模/数转换器(ADC)、键盘、按钮、鼠标及触摸屏等来实施。实例输入装置722实施实例性响应收集器160。

[0076] 一或多个输出装置724也连接到所图解说明实例的接口电路720。输出装置724可(举例来说)由显示装置(例如,发光二极管(LED)、有机发光二极管(OLED)、液晶显示器、阴极射线管显示器(CRT)、触摸屏、触觉输出装置及/或扬声器)来实施。因此,所图解说明实例的接口电路720通常包含图形驱动器卡、图形驱动器芯片或图形驱动器处理器。实例输出装置实施实例性扰动注入器150。

[0077] 所图解说明实例的接口电路720还包含用以促进经由网路726(例如,以太网连接、数字订户线(DSL)、电话线、同轴电缆、蜂窝式电话系统等)与外部机器(例如,任何种类的计算机)交换数据的通信装置(例如发射器、接收器、收发器、调制解调器及/或网路接口卡)。

[0078] 所图解说明实例的处理器平台700还包含用于存储软件及/或数据的一或多个大容量存储装置728。这些大容量存储装置728的实例包含软盘驱动器、硬盘驱动器、磁盘驱动器,蓝光光盘驱动器、RAID系统及数字多功能光盘(DVD)驱动器。实例性大容量存储装置728实施实例性存储器170。

[0079] 图3及/或4的经编码令732可存储于大容量存储装置728、易失性存储器714、非易失性存储器716中及/或存储于可拆卸有形计算机可读存储媒体(例如CD或DVD)上。

[0080] 依据上述内容,将了解上文所揭示的方法、设备及制品在不需外部频率响应分析仪的情况下达成对数控电力转换器的频率响应分析。本文中所揭示的实例性频率响应分析仪能够识别闭环电力转换器的设施特性及开环特性。这些特性可用于确定闭环电力转换器的稳定性信息,例如带宽、增益裕度及相位裕度。当分析电力转换器的特性时,频率扫描中所使用的注入振幅经适应性地缩放以限制扰动及/或测量误差。减少扰动及/或测量误差会产生更加可靠的结果且继而促进对数控电力转换器的更加有利的设计。

[0081] 尽管本文中已揭示了特定实例方法、设备及制品,但本专利的涵盖范围并不限于此。相反,本专利导电涵盖在本专利的权利要求书内的所有方法、设备及制品。

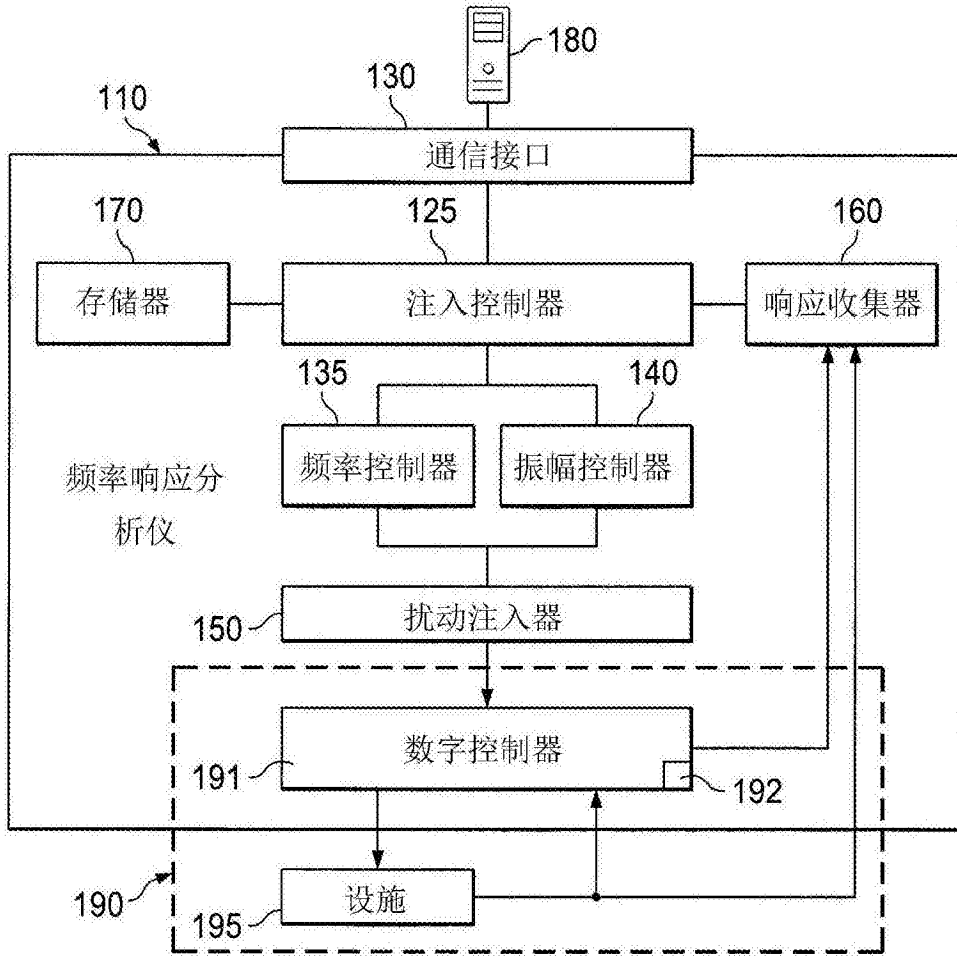


图1

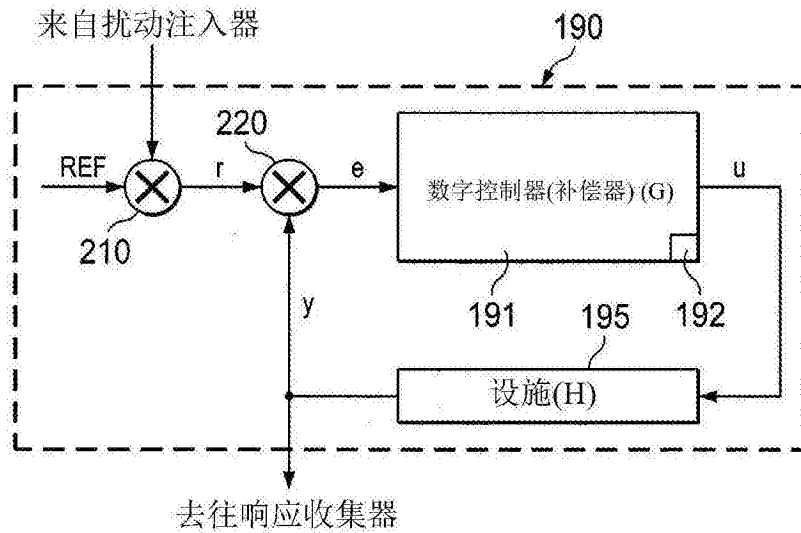


图2



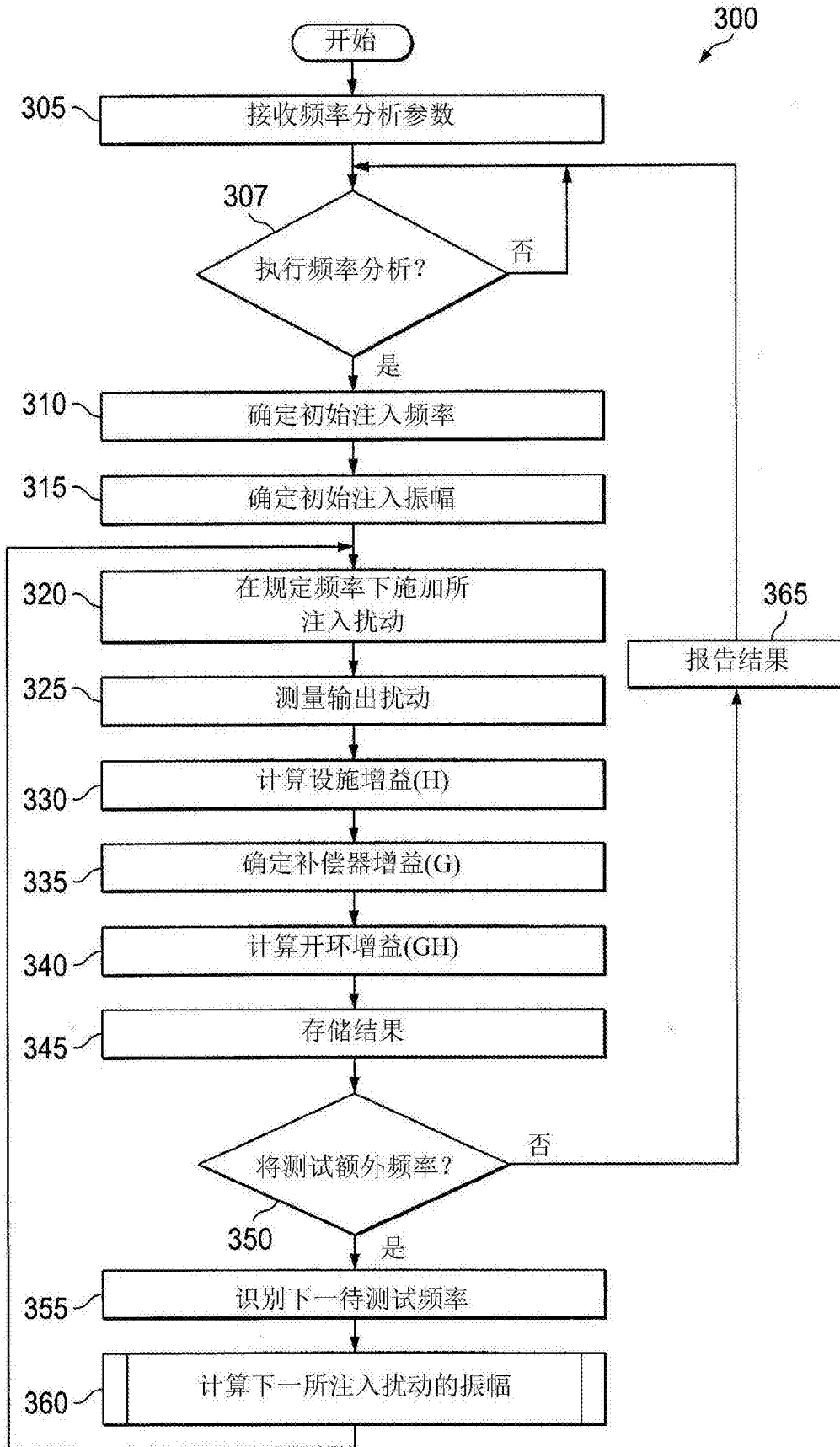


图3

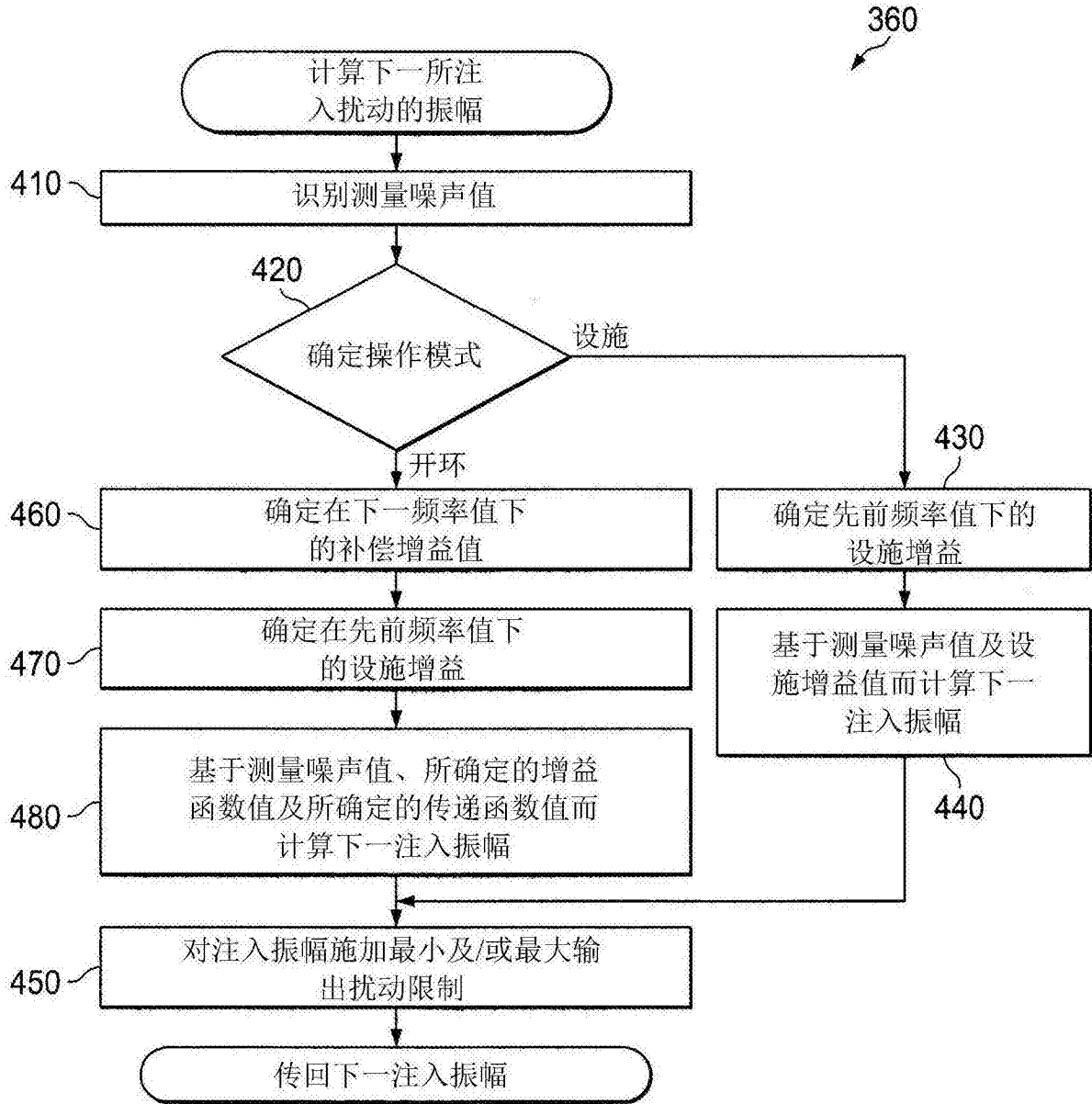


图4

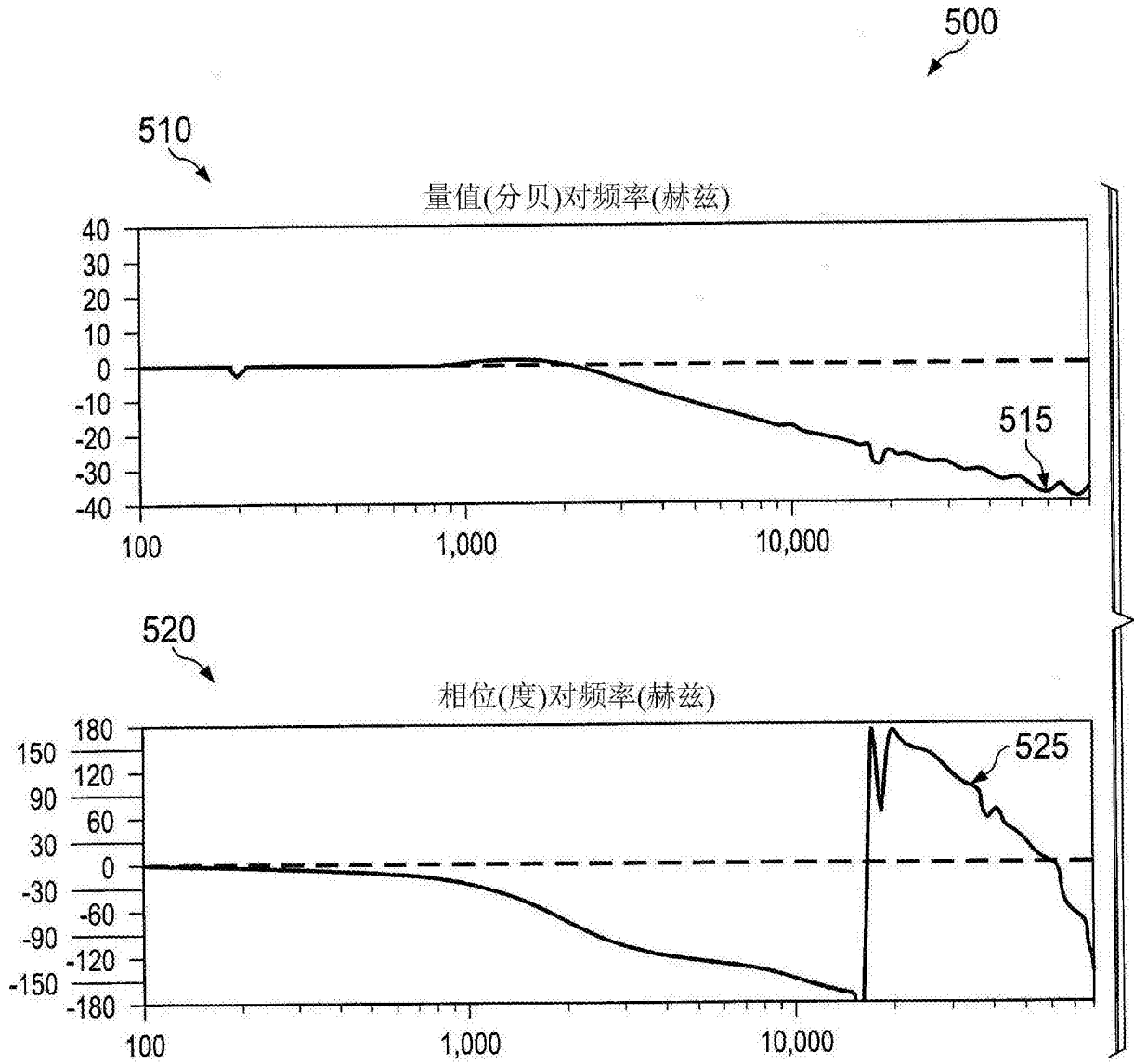


图5

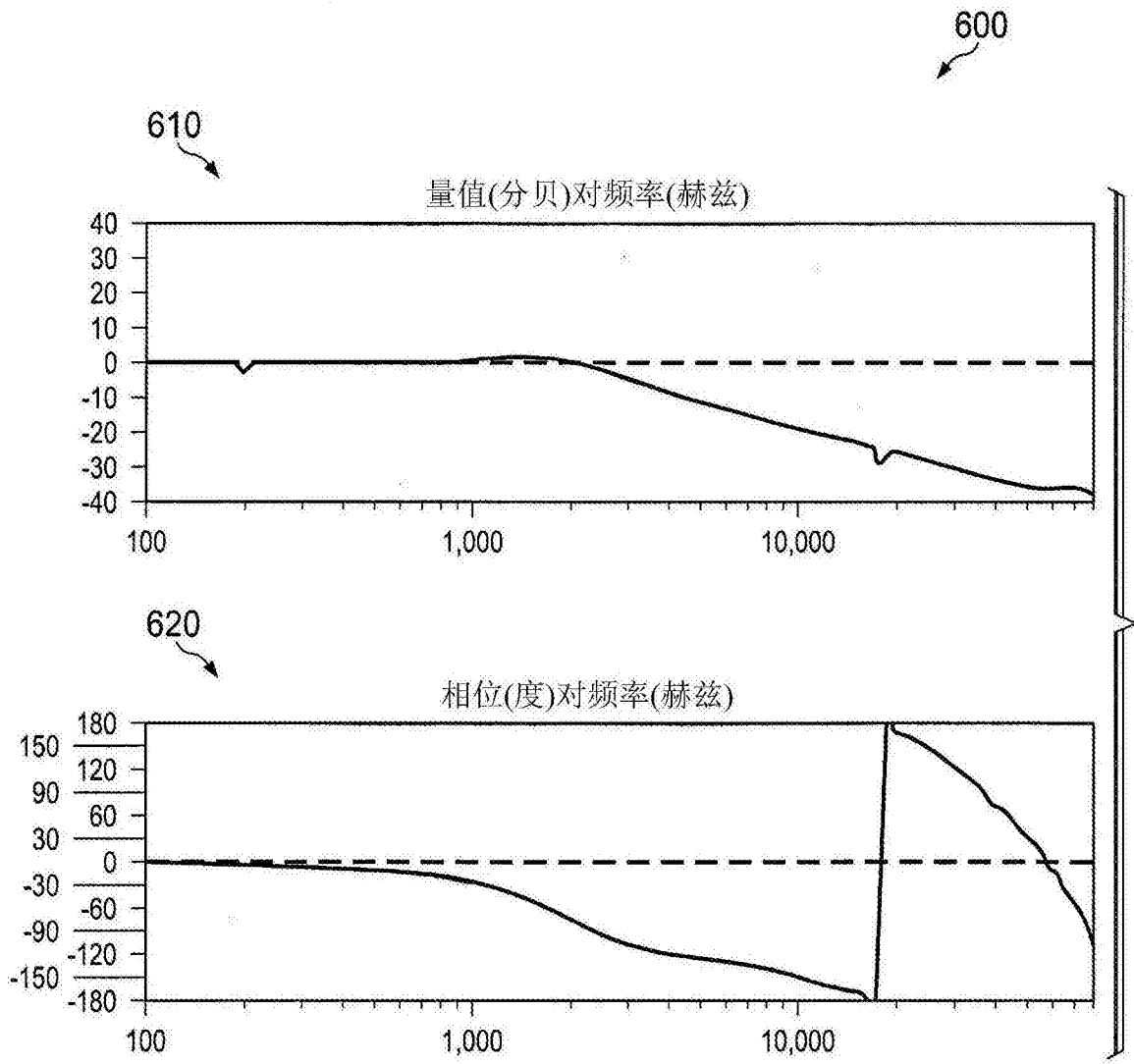


图6

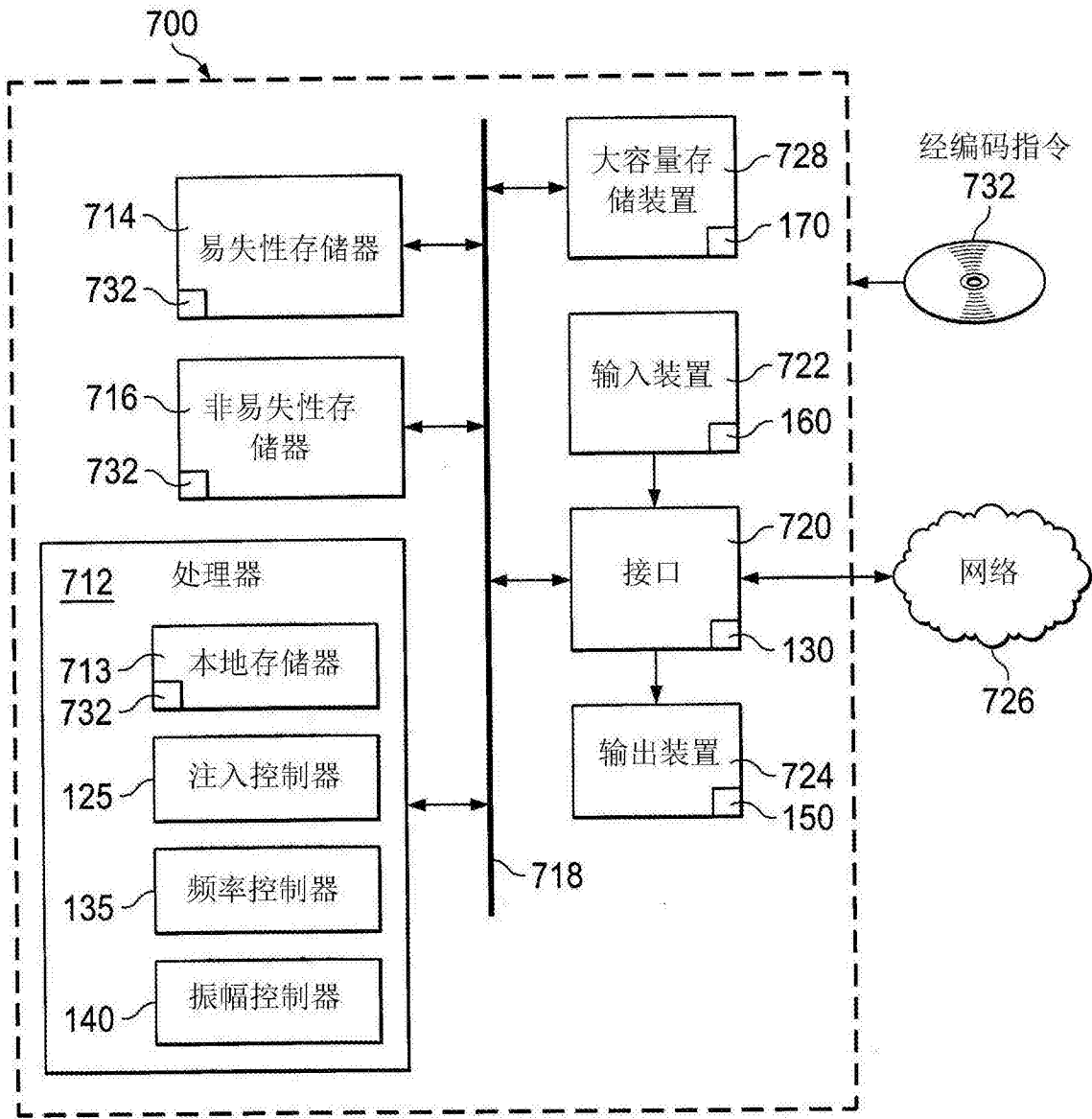


图7