

1. 一种用于有效地产生减振力的减振力生成器，所述减振力生成器包括：具有固有谐振频率的谐振驱动器，和具有用于接收指令信号的指令输入的谐振驱动器电子控制系统，当被接收的指令信号控制时所述谐振驱动器电子控制系统将电驱动电流提供到所述谐振驱动器以所述谐振频率驱动所述谐振驱动器，所述谐振驱动器具有反馈输出，所述反馈输出反馈到谐振驱动器电子控制系统，其中所述谐振驱动器电子控制系统调节基于所述谐振驱动器反馈输出的所述电驱动电流以生成所述减振力。

2. 如权利要求 1 所述的减振力生成器，其中，所述谐振驱动器的固有谐振频率在 15 到 40Hz 范围之间。

3. 如权利要求 1 所述的减振力生成器，其中，所述谐振驱动器的固有谐振频率在 18 到 26Hz 范围之间。

4. 如权利要求 1 所述的减振力生成器，其中，所述谐振驱动器的阻尼级小于临界阻尼的百分之四。

5. 如权利要求 1 所述的减振力生成器，其中，所述谐振驱动器是轻型阻尼谐振驱动器。

6. 如权利要求 1 所述的减振力生成器，其中，所述的指令信号是模拟输入电压。

7. 如权利要求 1 所述的减振力生成器，包括电连接器接口，用于将所述谐振驱动器可脱离地连接到所述谐振驱动器电子控制系统。

8. 如权利要求 1 所述的减振力生成器，其中，所述的谐振驱动器

反馈输出是电输出。

9. 如权利要求 1 所述的减振力生成器，其中，所述的谐振驱动器反馈输出是通过所述谐振驱动器的电势差。

10. 如权利要求 1 所述的减振力生成器，其中，所述的谐振驱动器反馈输出是流过所述谐振驱动器的电荷流率。

11. 如权利要求 1 所述的减振力生成器，其中，所述的谐振驱动器反馈输出是流过所述谐振驱动器的电荷流率和通过所述谐振驱动器的电势差。

12. 一种制造减振力生成器的方法，所述方法包括如下步骤：提供具有固有谐振频率的谐振驱动器，提供具有用于接收指令信号的指令输入的谐振驱动器电子控制系统和提供电驱动电流以驱动谐振驱动器的功率放大器，将所述谐振驱动器与所述谐振驱动器电子控制系统连接，其中当被接收的指令信号控制时所述谐振驱动器电子控制系统电驱动电流以所述固有谐振频率驱动所述谐振驱动器，所述谐振驱动器将电输出反馈到所述谐振驱动器电子控制系统，其中所述谐振驱动器电子控制系统调节基于所述谐振驱动器电输出的所述电驱动电流。

13. 如权利要求 12 所述的方法，其中，提供谐振驱动器包括提供具有固有谐振频率在 15 到 40Hz 范围之间的谐振驱动器。

14. 如权利要求 12 所述的方法，其中，所述谐振驱动器的阻尼级小于临界阻尼的百分之四。

15. 如权利要求 12 所述的方法，其中，所述的方法包括提供电连接器接口，用于将所述谐振驱动器可脱离地连接到所述谐振驱动器电子控制系统。

16. 如权利要求 12 所述的方法，其中，所述的谐振驱动器电输出是通过所述谐振驱动器的电势差。

17. 如权利要求 12 所述的方法，其中，所述的谐振驱动器电输出是流过所述谐振驱动器的电荷流率。

18. 如权利要求 12 所述的方法，其中，所述的谐振驱动器电输出是流过所述谐振驱动器的电荷流率和通过所述谐振驱动器的电势差。

19. 一种控制振动的方法，所述方法包括如下步骤：提供具有固有谐振频率的谐振驱动器，提供谐振驱动器电子控制系统，该系统提供电驱动电流以驱动谐振驱动器的功率放大器，将谐振驱动器与谐振驱动器电子控制系统连接，以固有谐振频率驱动谐振驱动器，所述谐振驱动器将电输出反馈到所述谐振驱动器电子控制系统且调节基于所述谐振驱动器电输出的所述电驱动电流。

20. 如权利要求 19 所述的方法，其中，提供谐振驱动器包括提供具有固有谐振频率在 15 到 40Hz 范围之间的谐振驱动器。

21. 如权利要求 20 所述的方法，其中，所述谐振驱动器的阻尼级小于临界阻尼的百分之四。

22. 如权利要求 20 所述的方法，其中，所述的方法包括提供电连接器接口，用于将所述谐振驱动器可脱离地连接到所述谐振驱动器电子控制系统。

23. 如权利要求 20 所述的方法，其中，所述的谐振驱动器电输出是通过所述谐振驱动器的电势差。

24. 如权利要求 20 所述的方法, 其中, 所述的谐振驱动器电输出是流过所述谐振驱动器的电荷流率。

25. 如权利要求 20 所述的方法, 其中, 所述的谐振驱动器电输出是流过所述谐振驱动器的电荷流率和通过所述谐振驱动器的电势差。

26. 如权利要求 20 所述的方法, 其中, 所述的谐振驱动器电输出是驱动器传感器电输出。

27. 一种交通工具减振系统, 所述交通工具减振系统包括: 具有固有谐振频率的谐振驱动器和谐振驱动器电子控制器, 所述谐振驱动器电子控制器将电驱动电流提供到谐振驱动器以固有谐振频率驱动谐振驱动器, 所述谐振驱动器具有反馈电输出, 所述反馈电输出被反馈到所述谐振驱动器电子控制器, 其中所述的谐振驱动器电子控制器调节基于所述谐振驱动器反馈电输出的所述电驱动电流。

28. 如权利要求 27 所述的交通工具减振系统, 其中, 所述谐振驱动器的固有谐振频率在 15 到 40Hz 范围之内。

29. 如权利要求 27 所述的交通工具减振系统, 其中, 所述谐振驱动器的阻尼级小于临界阻尼的百分之四。

30. 如权利要求 27 所述的交通工具减振系统, 其中, 所述谐振驱动器是轻型阻尼谐振驱动器。

31. 如权利要求 27 所述的交通工具减振系统, 包括电连接器接口, 用于将所述谐振驱动器可脱离地连接到所述谐振驱动器电子控制器。

32. 如权利要求 27 所述的交通工具减振系统, 其中, 所述的谐振驱动器反馈输出是通过所述谐振驱动器的电势差。

33. 如权利要求 27 所述的交通工具减振系统，其中，所述的谐振驱动器反馈输出是流过所述谐振驱动器的电荷流率。

34. 如权利要求 27 所述的交通工具减振系统，其中，所述的谐振驱动器反馈输出是流过所述谐振驱动器的电荷流率和通过所述谐振驱动器的电势差。

35. 如权利要求 27 所述的交通工具减振系统，其中，所述的谐振驱动器电输出是驱动器传感器电输出。

36. 一种制造直升机减振系统的方法，方法包括如下步骤：提供具有固有谐振频率的谐振驱动器，提供谐振驱动器电子控制系统，用于提供电驱动电流以驱动谐振驱动器，将所述谐振驱动器与所述谐振驱动器电子控制系统连接，其中所述谐振驱动器电子控制系统电驱动电流以所述固有谐振频率驱动所述谐振驱动器，所述谐振驱动器将电输出反馈到所述谐振驱动器电子控制系统，其中所述谐振驱动器电子控制系统调节基于谐振驱动器电输出的电驱动电流。

37. 如权利要求 36 所述的方法，其中，提供谐振驱动器包括提供具有固有谐振频率在 15 到 40Hz 范围之间的谐振驱动器。

38. 如权利要求 36 所述的方法，其中，所述谐振驱动器的阻尼级小于临界阻尼的百分之四。

39. 如权利要求 36 所述的方法，其中，所述的方法包括提供电连接器接口，用于将所述谐振驱动器可脱离地连接到所述谐振驱动器电子控制系统。

40. 如权利要求 36 所述的方法，其中，所述的谐振驱动器电输出

是通过所述谐振驱动器的电势差。

41. 如权利要求 36 所述的方法，其中，所述的谐振驱动器电输出是流过所述谐振驱动器的电荷流率。

42. 如权利要求 36 所述的方法，其中，所述的谐振驱动器电输出是流过所述谐振驱动器的电荷流率和通过所述谐振驱动器的电势差。

43. 一种控制直升机振动的方法，所述方法包括如下步骤：提供具有固有谐振频率的谐振驱动器，将所述谐振驱动器装配在直升机上，提供谐振驱动器电子控制系统，用于提供电驱动电流以驱动谐振驱动器，将所述谐振驱动器与所述谐振驱动器电子控制系统连接，以固有谐振频率驱动所述谐振驱动器，所述谐振驱动器将电输出反馈到所述谐振驱动器电子控制系统并且调节基于所述谐振驱动器电输出的所述电驱动电流。

44. 如权利要求 43 所述的方法，其中，提供谐振驱动器包括提供具有固有谐振频率在 15 到 40Hz 范围之间的谐振驱动器。

45. 如权利要求 43 所述的方法，其中，所述谐振驱动器的阻尼级小于临界阻尼的百分之四。

46. 如权利要求 43 所述的方法，其中，所述的方法包括提供电连接器接口，用于将所述谐振驱动器可脱离地连接到所述谐振驱动器电子控制系统。

47. 如权利要求 43 所述的方法，其中，所述的谐振驱动器电输出是通过所述谐振驱动器的电势差。

48. 如权利要求 43 所述的方法，其中，所述的谐振驱动器电输出

是流过所述谐振驱动器的电荷流率。

49. 如权利要求 43 所述的方法，其中，所述的谐振驱动器电输出是流过所述谐振驱动器的电荷流率和通过所述谐振驱动器的电势差。

50. 如权利要求 43 所述的方法，其中，所述的谐振驱动器电输出是驱动器传感器电输出。

控制直升机振动的方法和系统

交叉参考

本申请要求于2004年6月10日申请的申请号为60/578,645的美国临时专利为其优先权，且合并于此作为参考。

技术领域

本发明涉及一种用于控制难以解决的振动的方法和系统，更具体地说，涉及一种用于控制飞机振动的方法和系统，特别是一种用于消除难以解决的旋转机翼直升机振动的方法和系统。

背景技术

因为直升机振动能够引起飞机中乘客疲劳和设备磨损，所以直升机振动是特别令人烦恼的。在例如直升机这样的交通工具中，因为振动破坏除该交通工具存储信息之外的组成该交通工具的实际结构和零件，所以振动尤其难以解决。

需要正确地和经济地消除交通工具振动的系统和方法。需要正确地和经济地控制振动的系统和方法。需要经济地控制直升机中的振动的切实可行的方法以便于有效地消除和减小振动。需要控制直升机中的振动的坚固系统以便于有效地取消和减小振动。需要用于控制难以解决的直升机振动的经济的方法和系统。

发明内容

本发明包括用于有效地产生减振力的减振力生成器。减振力生成器包括具有固有谐振频率的谐振驱动器，和具有用于接收指令信号的指令输入的谐振驱动器电子控制系统，当被接收的指令信号控制时谐振驱动器电子控制系统将电驱动电流提供到谐振驱动器以谐振频率驱

动谐振驱动器，且谐振驱动器具有反馈到谐振驱动器电子控制系统的反馈输出，其中谐振驱动器电子控制系统调节基于谐振驱动器反馈输出的电驱动电流以生成减振力。

本发明包括制造减振力生成器的方法。该方法包括提供具有固有谐振频率的谐振驱动器，提供具有用于接收指令信号的指令输入的谐振驱动器电子控制系统和提供电驱动电流以驱动谐振驱动器的功率放大器，并将谐振驱动器与谐振驱动器电子控制系统连接，其中当被接收的指令信号控制时谐振驱动器电子控制系统电驱动电流以固有谐振频率驱动谐振驱动器，谐振驱动器将电输出反馈到谐振驱动器电子控制系统，其中谐振驱动器电子控制系统调节基于谐振驱动器电输出的电驱动电流。

本发明包括控制振动的方法。该方法包括提供具有固有谐振频率的谐振驱动器，提供谐振驱动器电子控制系统，该系统提供电驱动电流以驱动谐振驱动器的功率放大器，和谐振驱动器与谐振驱动器电子控制系统连接，以固有谐振频率驱动谐振驱动器，谐振驱动器将电输出反馈到谐振驱动器电子控制系统且调节基于谐振驱动器电输出的电驱动电流。

本发明包括交通工具减振系统。该交通工具减振系统包括具有固有谐振频率的谐振驱动器。该交通工具减振系统包括将电驱动电流提供到谐振驱动器以固有谐振频率驱动谐振驱动器的谐振驱动器电子控制器。谐振驱动器具有反馈到谐振驱动器电子控制器的反馈电输出，其中所述的谐振驱动器电子控制器调节基于所述谐振驱动器反馈电输出的所述电驱动电流。

本发明包括制造直升机减振系统的方法。该方法包括提供具有固有谐振频率的谐振驱动器。该方法包括提供谐振驱动器电子控制系统，谐振驱动器电子控制系统提供电驱动电流以驱动所述谐振驱动器。该

方法包括将谐振驱动器与谐振驱动器电子控制系统连接，其中谐振驱动器电子控制系统电驱动电流以固有谐振频率驱动谐振驱动器，所述的谐振驱动器将电输出反馈到谐振驱动器电子控制系统，其中谐振驱动器电子控制系统调节基于谐振驱动器电输出的电驱动电流。

本发明包括制造直升机振动的方法。该方法包括提供具有固有谐振频率的谐振驱动器。该方法包括将谐振驱动器装配在直升机上。该方法包括提供谐振驱动器电子控制系统，用于提供电驱动电流以驱动谐振驱动器。该方法包括将谐振驱动器与谐振驱动器电子控制系统连接。该方法包括以固有谐振频率驱动谐振驱动器，谐振驱动器将电输出反馈到谐振驱动器电子控制系统并且调节基于谐振驱动器电输出的电驱动电流。

可以理解的是，前面的概述和下面的详细描述是对本发明示例性的描述，旨在提供综述或框架，用于理解如权利要求所述的本发明的实质内容和特征。附图被包括在其中以提供对本发明的进一步理解，且合并说明书中和构成说明书的一部分。附图示出了本发明的不同实施例，且与说明一同用于解释本发明的原理和实施。

附图说明

图1示出控制振动的方法和系统。

图2A-D示出控制振动的谐振驱动器。

图3示出控制振动的方法和系统。

图4A-B示出控制振动的方法和系统。

图5示出控制振动的方法和系统。

图6示出控制振动的方法和系统。

图7示出控制振动的方法和系统。

图8是力(N)y-轴和频率(Hz)x-轴的曲线图(用于0.75伏特指令的驱动器力)。

图9是驱动器电流(amperes)y-轴和频率(Hz)x-轴的曲线图(用于0.75

伏特指令的驱动器电流)。

图10是驱动器电压 (volts)y-轴和频率 (Hz) x-轴的曲线图 (用于0.75伏特指令的驱动器电压)。

图11是驱动器功率 (watts)y-轴和频率 (Hz) x-轴的曲线图 (用于0.75伏特指令的驱动器功率)。

图12是抵抗功率 (watts)y-轴和频率 (Hz) x-轴的曲线图 (用于0.75伏特指令的驱动器功率)。

图13是驱动器质量位移(mm)y-轴和时间 (s) x-轴的曲线图 (驱动器响应0.75伏特的步进输入)。

图14是驱动器质量位移(mm)y-轴和时间 (s) x-轴的曲线图 (在22.1 Hz驱动器响应0.75伏特指令)。

图15是力(N)y-轴和频率 (Hz) x-轴的曲线图 (用于0.75伏特指令的驱动器力)。

图16是驱动器电流 (amps)y-轴和频率 (Hz) x-轴的曲线图 (用于0.75伏特指令的驱动器电流)。

图17是驱动器电压 (volts)y-轴和频率 (Hz) x-轴的曲线图 (用于0.75伏特指令的驱动器电压)。

具体实施方式

以下的详细描述将体现本发明的其它特征和优点, 通过描述对于本领域技术人员本发明的部分特征和优点是显而易见的, 或通过实践在此描述的本发明, 本领域技术人员将体会到本发明的其它特征和优点, 本发明包括以下详细的说明、权利要求和附图。

现在详细地描述本发明的优选实施例, 附图中举例说明了本发明的示例。

本发明包括用于有效地产生减振力的减振力生成器。减振力生成器包括具有固有谐振频率的谐振驱动器, 和当被控制时提供电驱动电

流到谐振驱动器以固有谐振频率驱动谐振驱动器的谐振驱动器电子控制系统。谐振驱动器具有反馈到谐振驱动器电子控制系统的反馈电输出，其中谐振驱动器电子控制系统调节基于谐振驱动器反馈输出的电驱动电流以生成减振力。

本发明包括用于有效地产生减振力的减振力生成器。减振力生成器包括具有固有谐振频率的谐振驱动器，和具有用于接收指令信号的指令输入的谐振驱动器电子控制系统，当被接收的指令信号控制时谐振驱动器电子控制系统将电驱动电流提供到谐振驱动器以谐振频率驱动谐振驱动器，且谐振驱动器具有反馈到谐振驱动器电子控制系统的反馈输出，其中谐振驱动器电子控制系统调节基于谐振驱动器反馈输出的电驱动电流以生成减振力。如图 1-5 所示，减振力生成器 20 有效地产生减振力 22，减振力 22 破坏性地干扰和消除加在构件 50 上的不希望有的振动力。减振力生成器 20 优选包括具有固有谐振频率 46 的线性音圈谐振驱动器 24。谐振驱动器 24 优选为电磁驱动的簧载质量 26，其被悬挂在弹性金属弯曲部 32 上。如图 2A-D 所示，EM（电磁）驱动质量 26 优选的悬挂在弹性金属弯曲部 32 的多层水平倾斜叠加上，金属弯曲部 32 优选的被两个垂直侧弹性金属弯曲部柱状板支撑，以提供能被电磁驱动以它的固有谐振频率振荡的簧载质量。优选地通过调节电磁场驱动谐振驱动器簧载质量，使得簧载质量被 EM 场以它的谐振频率吸引和排斥。谐振驱动器簧载质量优选地包括与电磁线圈 30 成一直线的永久磁铁 28，其中施加到 EM 线圈 30 的电驱动电流驱动簧载质量谐振。减振力生成器 20 包括谐振驱动器电子控制系统 34。谐振驱动器电子控制系统 34 优选的具有用于接收指令信号 38 的指令输入 36 且谐振驱动器电子控制系统包括生成电驱动电流 (i) 的功率放大器 40。谐振驱动器电子控制系统 34 提供电驱动电流 42 到谐振驱动器 24 当被接收的指令信号 38 控制时以谐振频率驱动谐振驱动器，谐振驱动器具有反馈到谐振驱动器电子控制系统的反馈输出 44，其中谐振驱动器电子控制系统调节基于谐振驱动器反馈输出 44 的电驱动电流 (i) 以生成减振力 22。优选的，谐振驱动器 24 的谐振驱动器固有谐振频率范围在

15 到 40Hz 间, 更优选为 15-30Hz 间, 最优选为 18 到 26Hz 间。减振力生成器 20 能够适应于谐振驱动器 24 的老化, 超过被延长的使用期限范围其改变谐振驱动器固有谐振频率的变化, 例如由于随时间金属弯曲部的老化和金属弯曲部的紧固件以及弯曲部的松动, 优选地利用谐振驱动器反馈输出 44 调节驱动电流到谐振驱动器老化固有谐振频率以便于超过延长期控制系统生成的驱动电流能够跟随自振频率的老化改变。优选的, 谐振驱动器 24 的阻尼级小于临界阻尼的百分之四, 更优选的阻尼级小于临界阻尼的百分之二。谐振驱动器 24 优选为轻型阻尼谐振驱动器。谐振驱动器 24 优选为具有有效阻尼率小于 0.5 (优选的阻尼率=某一阻尼系数 c /临界阻尼系数 c_T) 的轻型阻尼谐振驱动器。减振力生成器 20 采用具有小阻尼质量弹簧系统高谐振响应的谐振驱动器 24, 由于高谐振响应驱动器被驱动谐振。指令信号 38 优选为模拟输入电压, 其被指令输入 36 接收, 可变的电压输入指令信号对电子控制系统 34 发出指令使其生成力 22 以消除振动构件 50 中不希望有的振动。如图 4 所示, 减振力生成器优选地包括电连接器接口 52, 用于将谐振驱动器 24 可脱离地连接到谐振驱动器电子控制系统 34。这样的电连接器接口优选地包括反馈回路连接器 52 和电驱动电流连接器 52, 连接器接口 52 用于驱动器 24 和系统 34 的相互交换以及驱动器 24 的移位和交换。谐振驱动器反馈输出 44 优选为谐振驱动器反馈到控制系统 34 的电输出。在优选实施例中驱动器电输出被直接反馈到控制系统。在如图 1 所示的优选实施例中, 没有使用用于产生反馈输出的物理分离的驱动器运动传感器, 电反馈输出 44 直接来于驱动器和控制系统驱动电流。谐振驱动器电反馈输出 44 优选为流过谐振驱动器的电荷流率 (i), 通过驱动器的电流 (i_{act}) 反馈到控制系统, 控制和限制驱动器驱动电流 (i) 到最大工作值。控制系统优选地使用电流 (i_{act}) 反馈 44 控制驱动电流 (i) 以驱动驱动器谐振且不需要成形滤波。在一个实施例中谐振驱动器反馈输出 44 是通过谐振驱动器 24 的电势差, 电压 (v_{act}) 跨过驱动器被反馈到控制系统, 驱动器中的电压被控制和限制到与驱动器额定电压对应的最大值, 用于谐振驱动器最大的工作位移。在一个实施例中谐振驱动器反馈输出 44 是流过谐振驱动器的电流 (i_{act}) 和通

过谐振驱动器的电势差 (v_{act})，电压和电流从驱动器 24 被反馈。

本发明包括制造减振力生成器的方法。该方法包括提供具有固有谐振频率的谐振驱动器，提供具有用于提供电驱动电流以驱动谐振驱动器的功率放大器的谐振驱动器电子控制系统，和将谐振驱动器与谐振驱动器电子控制系统连接，其中当被接收的指令信号控制时谐振驱动器电子控制系统电驱动电流以固有谐振频率驱动谐振驱动器，谐振驱动器将电输出反馈到谐振驱动器电子控制系统，其中谐振驱动器电子控制系统调节基于谐振驱动器电输出的电驱动电流。

本发明包括制造减振力生成器 20 的方法。该方法包括提供具有固有谐振频率的谐振驱动器 24，提供具有接收指令信号的指令输入的谐振驱动器电子控制系统 34 和用于提供电驱动电流(i)以驱动谐振驱动器的功率放大器，和将谐振驱动器与谐振驱动器电子控制系统连接，其中当被接收的指令信号控制时谐振驱动器电子控制系统电驱动电流(i)以固有谐振频率驱动谐振驱动器，谐振驱动器将电输出 44 反馈到谐振驱动器电子控制系统，其中谐振驱动器电子控制系统调节基于谐振驱动器电输出 44 的电驱动电流(i)。提供谐振驱动器 24 优选包括提供电磁驱动的音圈，优选地通过调节由 EM 线圈 30 产生的电磁场驱动簧载质量 26，使得簧载质量被 EM 场吸引和排斥且驱动器以它的固有谐振频率谐振。提供谐振驱动器电子控制系统 34 优选地包括提供具有用于接收指令信号 38 的指令输入 36 的谐振驱动器电子控制系统 34 和用于提供电驱动电流 (i) 以谐振频率驱动谐振驱动器的功率放大器 40。指令信号 38 优选为模拟输入电压，模拟的可变电压输入指令信号对控制系统发出指令使其生成减振力 22，其破坏性的干扰和消除构件 50 中的不希望有的振动力，驱动器 24 配置在构件 50 上。在例如如图 1 所示的优选实施例中，驱动器电输出 44 被直接反馈到控制系统，优选地不需要用于产生反馈输出的物理分离的驱动器运动传感器。在可选择的实施例中，例如如图 4 所示，谐振驱动器电输出 44 包括来自驱动器传感器 54 的驱动器传感器电输出。驱动器传感器 54 提供与驱动器 24 的

物理移动特性相关的驱动器电输出 44，例如运动传感器检测移动质量 26 的位移。在一个实施例中，驱动器传感器 54 是配置在驱动簧载质量的驱动器上的加速度计。在一个实施例中，驱动器传感器 54 是测量和检测驱动簧载质量的驱动器的速度的速度传感器。在一个实施例中，驱动器传感器 54 是测量和检测驱动簧载质量的驱动器的位移和位置的运动传感器。提供谐振驱动器 24，优选地包括提供固有谐振频率范围在 15 到 40Hz 间，更优选为 15-30Hz 间，最优选为 18 到 26Hz 间的谐振驱动器。提供谐振驱动器 24，优选地包括提供阻尼级小于临界阻尼的百分之四，更优选地阻尼级小于临界阻尼的百分之二的谐振驱动器。谐振驱动器 24 优选为具有有效阻尼率小于 0.5（优选的阻尼率=某一阻尼系数 c /临界阻尼系数 c_r ）的轻型阻尼谐振驱动器。驱动器 24 优选地具有小阻尼质量弹簧系统的高谐振响应。在一个实施例中该方法包括提供用于将谐振驱动器 24 可脱离地连接到谐振驱动器电子控制系统 34 的电连接器接口 52，优选地包括反馈输出回路连接器 52，和电驱动电流连接器 52，脱开和接合用于驱动器 24 和控制系统 34 的相互交换的连接器接口，用于移位和交换被控制系统 34 驱动的驱动器 24。反馈电反馈 44 优选地包括反馈流过谐振驱动器的电荷流率。流过谐振驱动器 24 的电流(i)作为被控制和限制到最大工作值的驱动电流(i_{act})反馈到控制系统，更优选地没有使用成形滤波驱动驱动器 24。在本发明的一个实施例中，反馈电反馈 44 优选地包括反馈流过谐振驱动器的电势差。电压 (v_{act}) 跨过驱动器被反馈到控制系统，电压被控制和限制到与驱动器 24 的额定电压对应的最大值，用于谐振驱动器最大的工作位移。在一个实施例中反馈电反馈 44 优选地包括反馈流过谐振驱动器的电荷流率和通过谐振驱动器的电势差，电压和电流从驱动器被反馈。

本发明包括控制振动的方法。该方法包括提供具有固有谐振频率的谐振驱动器，提供谐振驱动器电子控制系统，该系统提供电驱动电流以驱动谐振驱动器，将谐振驱动器与谐振驱动器电子控制系统连接，以固有谐振频率驱动谐振驱动器，谐振驱动器将电输出反馈到谐振驱动器电子控制系统且调节基于谐振驱动器电输出的电驱动电流。

本发明包括控制振动的方法。该方法包括提供具有固有谐振频率的音圈谐振驱动器 24，优选地通过调节电磁场驱动电磁驱动的簧载质量，使得簧载质量被 EM 场吸引和排斥。该方法包括提供用于提供电驱动电流以驱动谐振驱动器的谐振驱动器电子控制系统 34，和谐振驱动器与谐振驱动器电子控制系统连接。该方法包括以固有谐振频率驱动谐振驱动器，谐振驱动器将电输出反馈到谐振驱动器电子控制系统且调节基于谐振驱动器电输出的电驱动电流。提供谐振驱动器 24 优选地包括提供固有谐振频率范围在 15 到 40Hz 间，更优选为 15-30Hz 间，最优选为 18 到 26Hz 间的谐振驱动器。提供谐振驱动器 24，优选地包括提供阻尼级小于临界阻尼的百分之四，更优选地阻尼级小于临界阻尼的百分之二的谐振驱动器。轻型阻尼谐振驱动器 24 优选地具有小于 0.5 的有效阻尼率（阻尼率=某一阻尼系数 c /临界阻尼系数 c_T ），驱动器具有小阻尼质量弹簧系统的高谐振响应。该方法优选地包括提供用于将谐振驱动器可脱离地连接到谐振驱动器电子控制系统的电连接器接口 52。谐振驱动器电输出 44 优选为流过谐振驱动器的电势差，该电压跨过驱动器被反馈到控制系统，该电压被控制/限制到与驱动器的额定电压对应的最大值，用于谐振驱动器最大的工作位移。谐振驱动器的电输出 44 优选为流过谐振驱动器的电荷流率。谐振驱动器的电输出优选为流过谐振驱动器的电荷流率和通过谐振驱动器的电势差。在一个实施例中，谐振驱动器的电输出是驱动器传感器电输出。

本发明包括交通工具减振系统。该交通工具减振系统包括具有固有谐振频率的谐振驱动器。该交通工具减振系统包括将电驱动电流提供到谐振驱动器以固有谐振频率驱动谐振驱动器的谐振驱动器电子控制器。谐振驱动器具有反馈到谐振驱动器电子控制器的反馈电输出，其中所述的谐振驱动器电子控制器调节基于所述谐振驱动器反馈电输出的所述电驱动电流。

本发明包括交通工具减振系统。飞机减振系统包括具有固有谐振

频率的谐振驱动器 24，和谐振驱动器电子控制器 34，谐振驱动器电子控制器将电驱动电流提供到谐振驱动器以固有谐振频率驱动谐振驱动器，谐振驱动器具有反馈电输出，反馈电输出反馈到谐振驱动器电子控制器，其中谐振驱动器电子控制器调节基于所述谐振驱动器反馈电输出的电驱动电流以生成减振力 22 用于消除交通工具振动构件 50 上的振动。谐振驱动器 24 优选为电磁驱动的簧载质量 26，其被悬挂在弹性金属弯曲部 32 上。如图 2A-D 所示，EM（电磁）驱动质量 26 优选的悬挂在弹性金属弯曲部 32 的多层水平倾斜叠加上，金属弯曲部 32 优选的被两个垂直侧弹性金属弯曲部柱状板支撑，以提供能被电磁驱动以它的固有谐振频率振荡的簧载质量。优选地通过调节电磁场驱动谐振驱动器簧载质量，使得簧载质量被 EM 场以它的谐振频率吸引和排斥。谐振驱动器簧载质量优选地包括与电磁线圈 30 成一直线的永久磁铁 28，其中施加到 EM 线圈 30 的电驱动电流驱动簧载质量谐振。减振力生成器 20 包括谐振驱动器电子控制系统 34。谐振驱动器电子控制系统 34 优选的具有用于接收指令信号 38 的指令输入 36 且谐振驱动器电子控制系统包括生成电驱动电流 (i) 的功率放大器 40。谐振驱动器电子控制系统 34 提供电驱动电流 42 到谐振驱动器 24 当被接收的指令信号 38 控制时以谐振频率驱动谐振驱动器，谐振驱动器具有反馈到谐振驱动器电子控制系统的反馈输出 44，其中谐振驱动器电子控制系统调节基于谐振驱动器反馈输出 44 的电驱动电流 (i) 以生成减振力 22。优选的，谐振驱动器 24 具有范围在 15 到 40Hz 间，更优选为 15-30Hz 间，最优选为 18 到 26Hz 间的固有谐振频率。减振力生成器 20 能够适应于谐振驱动器 24 的老化，超过被延长的使用期限范围其改变谐振驱动器固有谐振频率的变化，例如由于随时间金属弯曲部的老化和金属弯曲部的紧固件以及弯曲部的松动，优选地利用谐振驱动器反馈输出 44 调节驱动电流到谐振驱动器老化固有谐振频率以便于超过延长期控制系统生成的驱动电流能够跟随自振频率的老化改变。优选的，谐振驱动器 24 的阻尼级小于临界阻尼的百分之四，更优选的阻尼级小于临界阻尼的百分之二。谐振驱动器 24 优选为轻型阻尼谐振驱动器。谐振驱动器 24 优选为具有有效阻尼率小于 0.5（优选的阻尼率=某一阻尼系

数 c /临界阻尼系数 c_T) 的轻型阻尼谐振驱动器。减振力生成器 20 采用具有小阻尼质量弹簧系统高谐振响应的谐振驱动器 24, 由于高谐振响应驱动器被驱动谐振。指令信号 38 优选为模拟输入电压, 其被指令输入 36 接收, 可变的电压输入指令信号对电子控制系统 34 发出指令使其生成力 22 以消除振动构件 50 中不希望有的振动力。如图 4 所示, 减振力生成器优选地包括电连接器接口 52, 用于将谐振驱动器 24 可脱离地连接到谐振驱动器电子控制系统 34。这样的电连接器接口优选地包括反馈回路连接器 52 和电驱动电流连接器 52, 连接器接口 52 用于驱动器 24 和系统 34 的相互交换以及驱动器 24 的移位和交换。谐振驱动器反馈输出 44 优选为谐振驱动器反馈到控制系统 34 的电输出。在优选实施例中驱动器电输出被直接反馈到控制系统。在如图 1 所示的优选实施例中, 没有使用用于产生反馈输出的物理分离的驱动器运动传感器, 电反馈输出 44 直接来于驱动器和控制系统驱动电流。谐振驱动器电反馈输出 44 优选为流过谐振驱动器的电荷流率(i), 通过驱动器的电流(i_{act})反馈到控制系统, 控制和限制驱动器驱动电流(i)到最大工作值。控制系统优选地使用电流(i_{act})反馈 44 控制驱动电流(i)以驱动驱动器谐振且不需要成形滤波。在一个实施例中谐振驱动器反馈输出 44 是通过谐振驱动器 24 的电势差, 电压 (v_{act}) 跨过驱动器被反馈到控制系统, 驱动器中的电压被控制和限制到与驱动器额定电压对应的最大值, 用于谐振驱动器最大的工作位移。在一个实施例中谐振驱动器反馈输出 44 是通过谐振驱动器的电流(i_{act})和通过谐振驱动器的电势差, 电压和电流从驱动器 24 被反馈。

本发明包括制造直升机减振系统的方法。该方法包括提供具有固有谐振频率的谐振驱动器。该方法包括提供谐振驱动器电子控制系统, 用于提供电驱动电流以驱动谐振驱动器。该方法包括将谐振驱动器与谐振驱动器电子控制系统连接, 其中谐振驱动器电子控制系统电驱动电流以固有谐振频率驱动谐振驱动器, 所述的谐振驱动器将电输出反馈到谐振驱动器电子控制系统, 其中谐振驱动器电子控制系统调节基于谐振驱动器电输出的电驱动电流。

本发明包括制造直升机减振系统的方法，用于消除直升机中产生的振动。该方法包括提供具有固有谐振频率的谐振驱动器 24，提供谐振驱动器电子控制系统 34，用于提供电驱动电流以驱动谐振驱动器，和将谐振驱动器与谐振驱动器电子控制系统连接，其中谐振驱动器电子控制系统电驱动电流以固有谐振频率驱动谐振驱动器，谐振驱动器将电输出 44 反馈到谐振驱动器电子控制系统，其中谐振驱动器电子控制系统调节基于谐振驱动器电输出的电驱动电流。提供谐振驱动器 24 优选包括提供电磁驱动的音圈，优选地通过调节由 EM 线圈 30 产生的电磁场驱动簧载质量 26，使得簧载质量被 EM 场吸引和排斥且驱动器以它的固有谐振频率谐振。提供谐振驱动器电子控制系统 34 优选地包括提供具有用于接收指令信号 38 的指令输入 36 和用于提供电驱动电流 (i) 以谐振频率驱动谐振驱动器的功率放大器 40。指令信号 38 优选为模拟输入电压，模拟的可变电压输入指令信号对控制系统发出指令使其生成减振力 22，其破坏性的干扰和消除构件 50 中的不希望有的振动力，驱动器 24 配置在构件 50 上。在例如如图 1 所示的优选实施例中，驱动器电输出 44 被直接反馈到控制系统，优选地不需要用于产生反馈输出的物理分离的驱动器运动传感器。在可选择的实施例中，例如如图 4 所示，谐振驱动器电输出 44 包括来自驱动器传感器 54 的驱动器传感器电输出。驱动器传感器 54 提供与驱动器 24 的物理移动特性相关的驱动器电输出 44，例如运动传感器检测移动质量 26 的运动。在一个实施例中，驱动器传感器 54 是配置在驱动簧载质量的驱动器上的加速度计。在一个实施例中，驱动器传感器 54 是测量和检测驱动簧载质量的驱动器的速度的速度传感器。在一个实施例中，驱动器传感器 54 是测量和检测驱动簧载质量的驱动器的位移和位置的运动传感器。提供谐振驱动器 24，优选地包括提供固有谐振频率范围在 15 到 40Hz 间，更优选为 15-30Hz 间，最优选为 18 到 26Hz 间的谐振驱动器。提供谐振驱动器 24，优选地包括提供阻尼级小于临界阻尼的百分之四，更优选地阻尼级小于临界阻尼的百分之二的谐振驱动器。谐振驱动器 24 优选为具有有效阻尼率小于 0.5（优选的阻尼率=某一阻尼系数 c/临

界阻尼系数 c_T) 的轻型阻尼谐振驱动器。驱动器 24 优选地具有小阻尼质量弹簧系统的高谐振响应。在一个实施例中该方法包括提供用于将谐振驱动器 24 可脱离地连接到谐振驱动器电子控制系统 34 的电连接器接口 52, 优选地包括反馈回路连接器 52, 和电驱动电流连接器 52, 脱开和接合用于驱动器 24 和控制系统 34 的相互交换的连接器接口, 用于移位和交换被控制系统 34 驱动的驱动器 24。反馈电反馈 44 优选地包括反馈流过谐振驱动器的电荷流率。流过谐振驱动器 24 的电流(i) 作为被控制和限制到最大工作值的驱动电流(i_{act})反馈到控制系统, 更优选地没有使用成形滤波驱动驱动器 24。在本发明的一个实施例中, 反馈电反馈 44 优选地包括反馈流过谐振驱动器的电势差。电压(v_{act}) 跨过驱动器被反馈到控制系统, 电压被控制和限制到与驱动器 24 的额定电压对应的最大值, 用于谐振驱动器最大的工作位移。在一个实施例中反馈电反馈 44 优选地包括反馈流过谐振驱动器的电荷流率和通过谐振驱动器的电势差, 电压和电流从驱动器被反馈。

本发明包括控制直升机振动的方法。该方法包括提供具有固有谐振频率的谐振驱动器。该方法包括将谐振驱动器装配在直升机上。该方法包括提供谐振驱动器电子控制系统, 用于提供电驱动电流以驱动谐振驱动器。该方法包括将谐振驱动器与谐振驱动器电子控制系统连接。该方法包括以固有谐振频率驱动谐振驱动器, 谐振驱动器将电输出反馈到谐振驱动器电子控制系统并且调节基于谐振驱动器电输出的电驱动电流。

本发明包括控制直升机振动的方法。该方法包括提供具有固有谐振频率的谐振驱动器 24, 将直升机上的谐振驱动器配置在直升机的振动构件 50 上, 提供谐振驱动器电子控制系统 34, 用于提供电驱动电流以驱动谐振驱动器, 将谐振驱动器与谐振驱动器电子控制系统连接, 以固有谐振频率驱动谐振驱动器, 谐振驱动器将电输出反馈到谐振驱动器电子控制系统并且调节基于谐振驱动器电输出的电驱动电流。该方法包括以固有谐振频率驱动谐振驱动器, 谐振驱动器将电输出反馈

到谐振驱动器电子控制系统并且调节基于谐振驱动器电输出的电驱动电流。提供谐振驱动器 24 优选地包括提供固有谐振频率范围在 15 到 40Hz 间,更优选为 15-30Hz 间,最优选为 18 到 26Hz 间的谐振驱动器。提供谐振驱动器 24,优选地包括提供阻尼级小于临界阻尼的百分之四,更优选地阻尼级小于临界阻尼的百分之二的谐振驱动器。轻型阻尼谐振驱动器 24 优选地具有小于 0.5 的有效阻尼率(阻尼率=某一阻尼系数 c /临界阻尼系数 c_T),驱动器具有小阻尼质量弹簧系统的高谐振响应。该方法优选地包括提供用于将谐振驱动器可脱离地连接到谐振驱动器电子控制系统的电连接器接口 52。谐振驱动器反馈的电输出 44 优选为流过谐振驱动器的电势差,该电压跨过驱动器被反馈到控制系统,该电压被控制/限制到与驱动器的额定电压对应的最大值,用于谐振驱动器最大的工作位移。谐振驱动器的电输出 44 优选为流过谐振驱动器的电荷流率。谐振驱动器的电输出优选为流过谐振驱动器的电荷流率和通过谐振驱动器的电势差。在一个实施例中,谐振驱动器的电输出是驱动器传感器电输出。

本发明采用调整放大器的电流回路来提供不使用成形滤波器的力的成形,以这样的调整限制最大电流和功率,最大电流和功率以远离谐振的频率被传送到驱动器,使移动的质量位移保持在谐振的疲劳限制之下。放大器与接近于谐振频率的电压控制放大器一样运行且电流控制放大器远离谐振。因为驱动器电压与接近于谐振的弯曲部位移成正比,将驱动器电压限制在接近于谐振以保护驱动器不被超速传动。优选地调整放大器的转导率倾角的幅值以限制谐振的位移并且调整放大器的通带增益为了限制电流/功率远离谐振频率。本发明中的系统适应于谐振频率的变化。本发明中安装驱动器不需要数据且在系统中不需要成形滤波器。不对电子控制系统进行任何改变和/或调整就能对本发明中的驱动器进行改变、交换、修理和/或替换。

图 6 示出控制振动驱动器系统的示意图。驱动器系统采用以下公式建模:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + c \frac{\partial x}{\partial t} = kx = F_a(t)$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \alpha \frac{\partial x}{\partial t} = v_m$$

$$F_a(t) = -\alpha i$$

$$X = \frac{\left(\frac{\alpha}{Ls + R}\right) V_m}{\left(ms^2 + cs + k \frac{\alpha^2 s}{Ls + R}\right)}$$

$$I = \frac{1}{\left(Ls + R + \frac{\alpha^2 s}{ms^2 + cs + k}\right)} V_m$$

图 7 是 LUICU 的电流回路的示意图。示意图中的五个增益 (g_1 到 g_5) 优选地被最优化以获得期望的性能。优选地对回路最优化, 在控制方案中对五个参数最优化:

输入增益 g_1

补偿器增益 g_2, g_3, g_4

反馈回路增益 g_5

优选地对回路最优化, 需要考虑两点:

- 1) 系统不超出物理限制;
- 2) 系统具有足够的稳定裕度。

优选地, 通过耦合的最优化学习和稳定性分析来确定这些增益, 几个价值函数被用于最优化且它们导致不同的结果, 下面是例子和它们的比较:

$$\Phi_1 = \left(\frac{I(\omega_1) - I_{\max}}{w_1}\right)^2 + \left(\frac{F(\omega_n) - F_{reg}}{w_2}\right)^2$$

$$\Phi_2 = \left(\frac{I(\omega_1) - I_{\max}}{w_1}\right)^2 + \left(\frac{F(\omega_n) - F_{reg}}{w_2}\right)^2 + \left(\frac{P(\omega_n) - P_{\max}}{w_3}\right)$$

$$\Phi_2 = \left(\frac{I(\omega_1) - I_{\max}}{w_1}\right)^2 + \left(\frac{F(\omega_n) - F_{reg}}{w_2}\right)^2 + \left(\frac{P(\omega_n) - P_{\max}}{w_3}\right)^2$$

其中 I_{\max} 和 P_{\max} 分别是容许的电流和功率的最大值。 F_{req} 是期望的力。

为了简化和示例的目的，两个增益 g_1 和 g_5 采用下述值被优化：

$$I_{\max}=5\text{amps}, P_{\max}=100\text{watts} \text{ 和 } F_{req}=3000\text{N}$$

$$w_1=300, w_2=1 \text{ 和 } w_3=6$$

$$\omega_1=10\text{Hz}, \omega_n=21.6\text{Hz}$$

下表表示用于三个价值函数的最优化的增益。用于 13Kg 移动的质量的系统被最优化。

价值函数	g_1	g_5
Φ_1	0.95555	0.10654
Φ_2	1.0396	0.2585
Φ_3	0.96887	0.13062

图 8-17 的曲线图显示了该方法/系统的性能。在实现和实验中在 LCICU 放大器卡中执行测试该回路的改变并且测试该系统。采用下述值进行测试：

$g_1=0.295, g_2=50, g_3=2*\pi*2.4, g_4=2*\pi*354, g_5=0.1245$;驱动器质量为 14.2 和谐振为 21.72 时进行测试；质量为 13 时进行最优化；测试证实系统性能在规格之内。注意到质量预测对于限制力是重要的，因为我们调整谐振加速度且没有力。

显然在不背离本发明的精神和范围情况下本领域技术人员能对本发明进行不同的调整和改变。因此，本发明希望覆盖所附权利要求和它的等效物范围内对本发明的调整和改变。

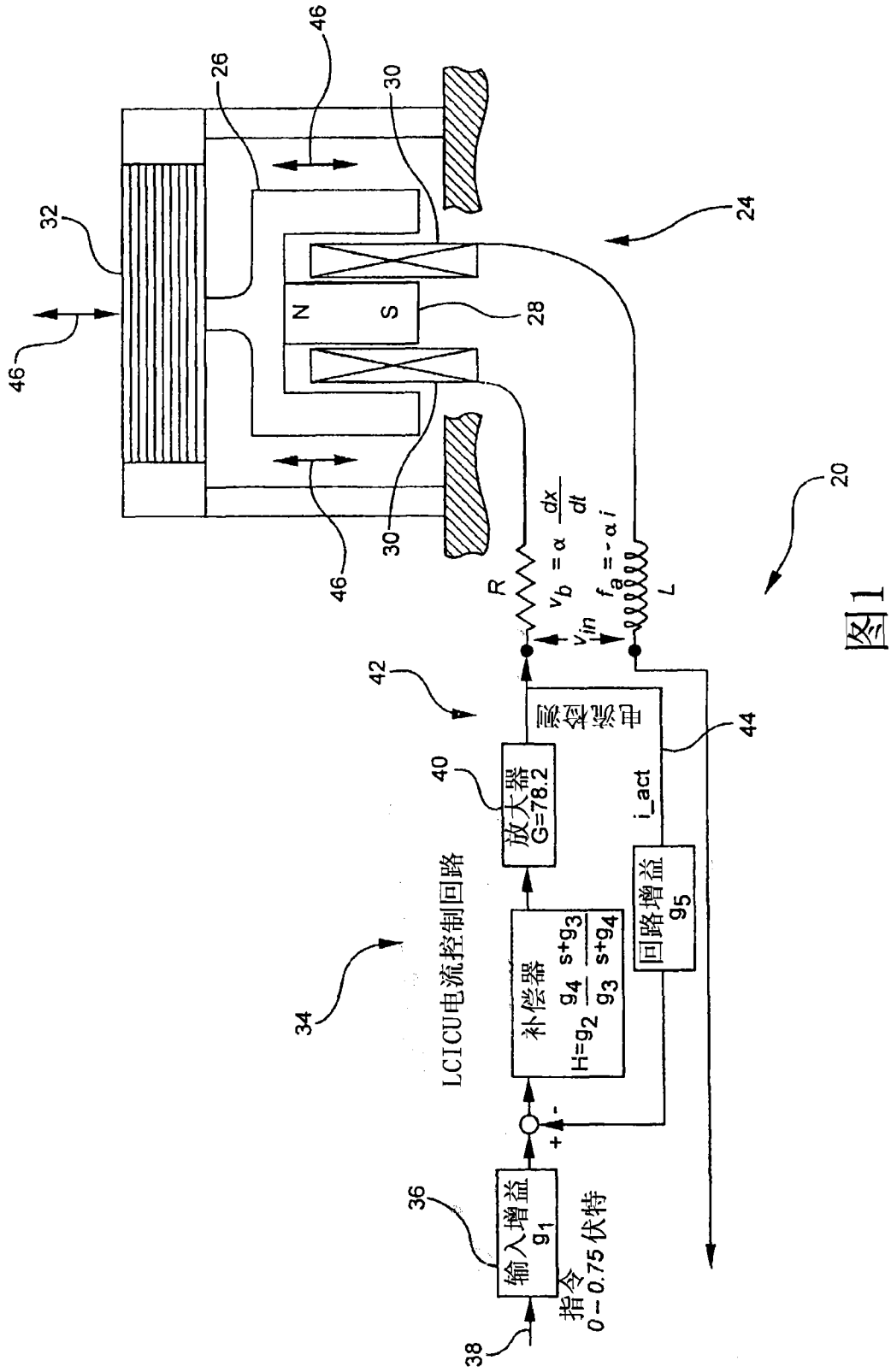


图1

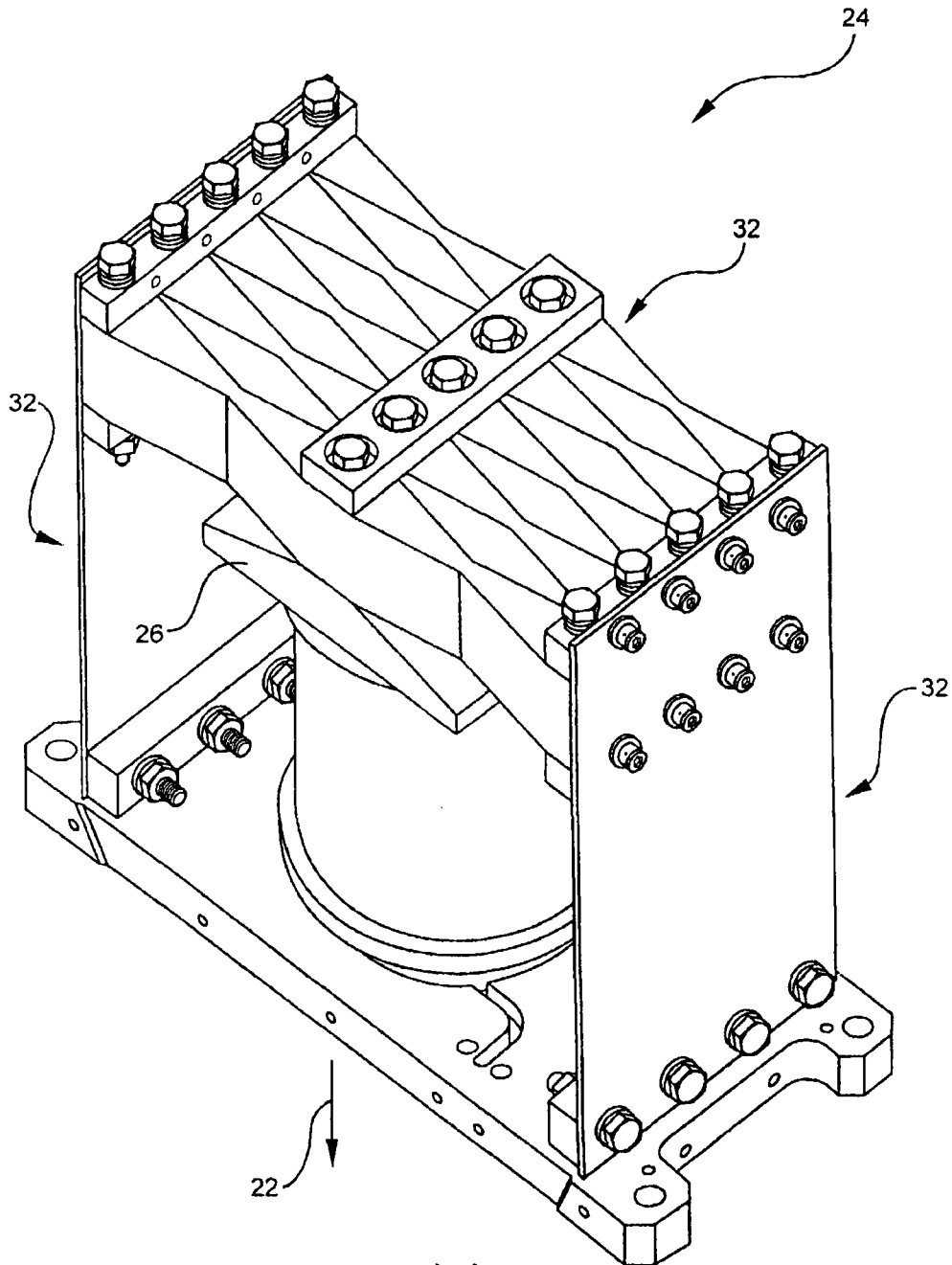


图2A

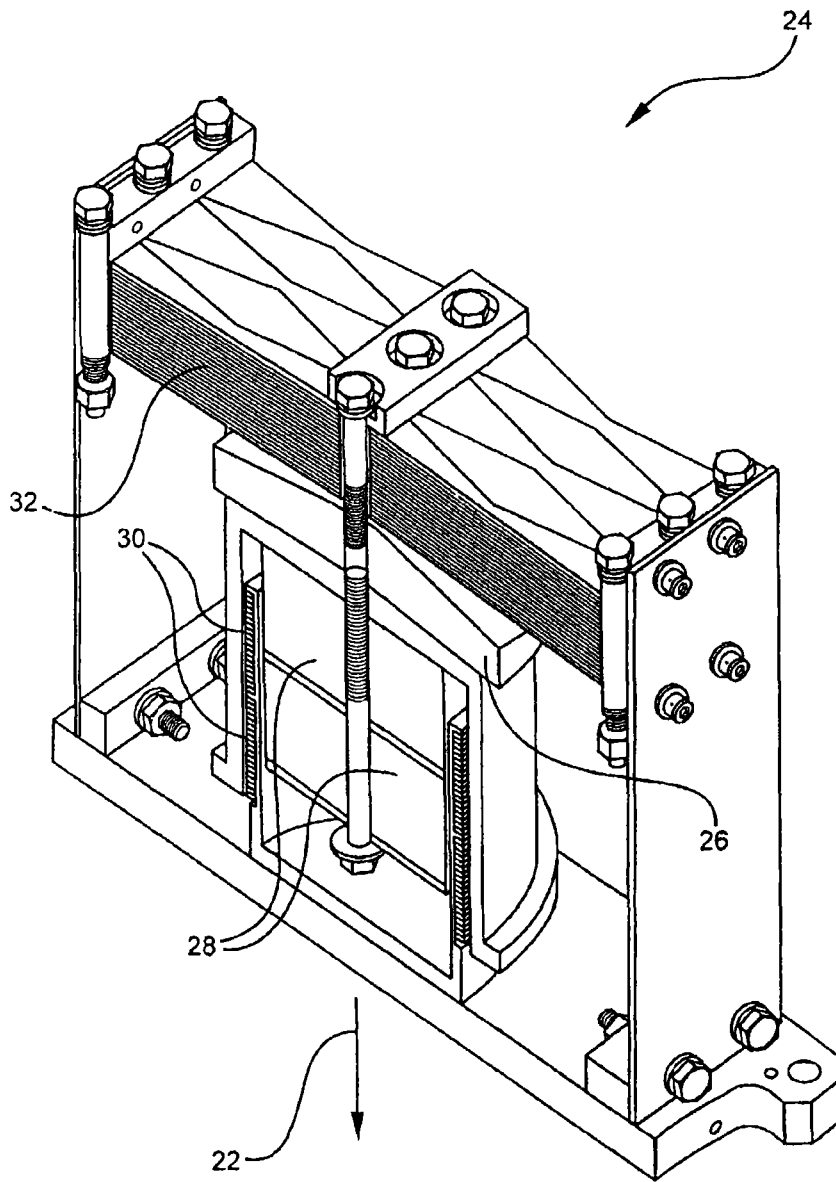


图2B

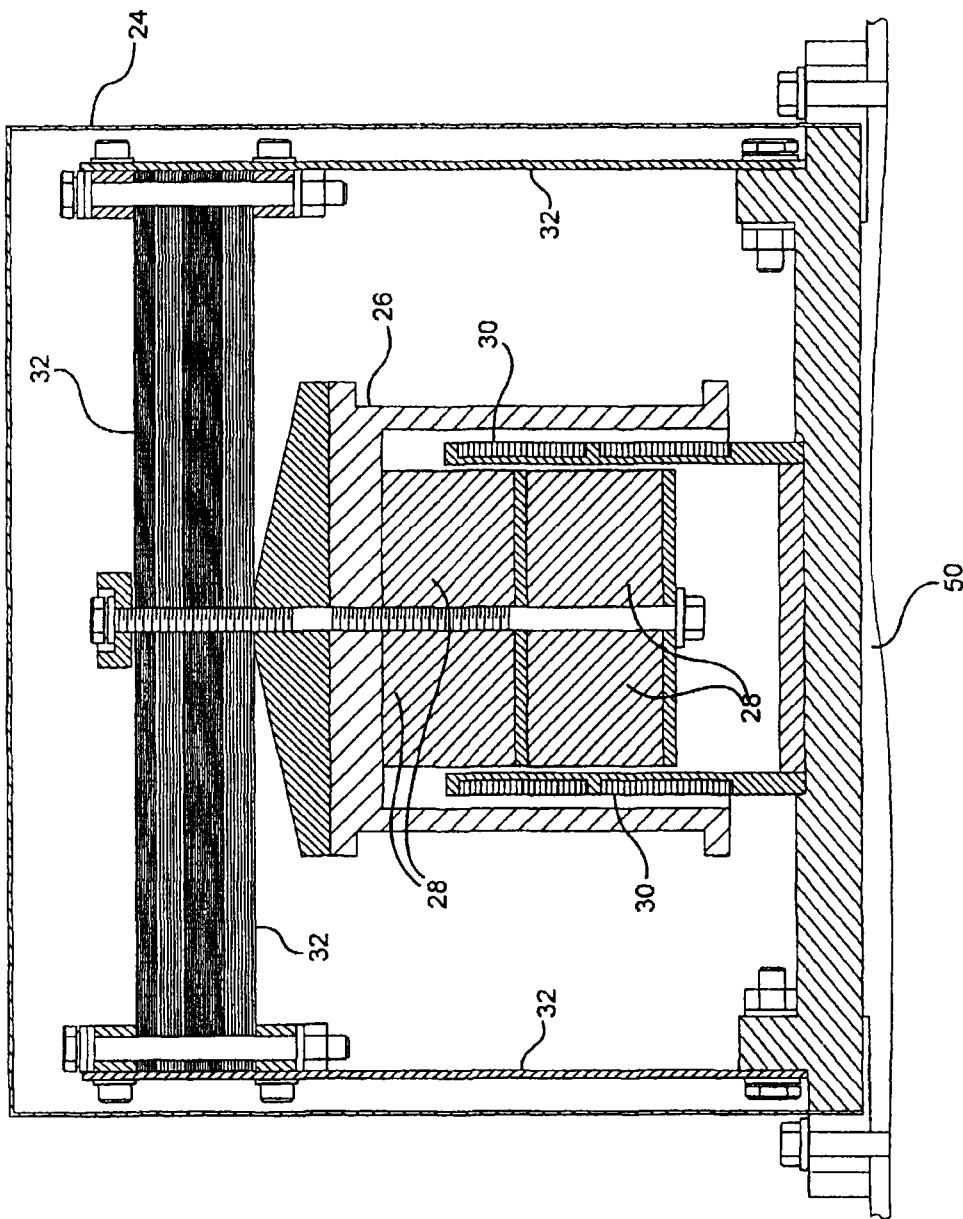


图2C

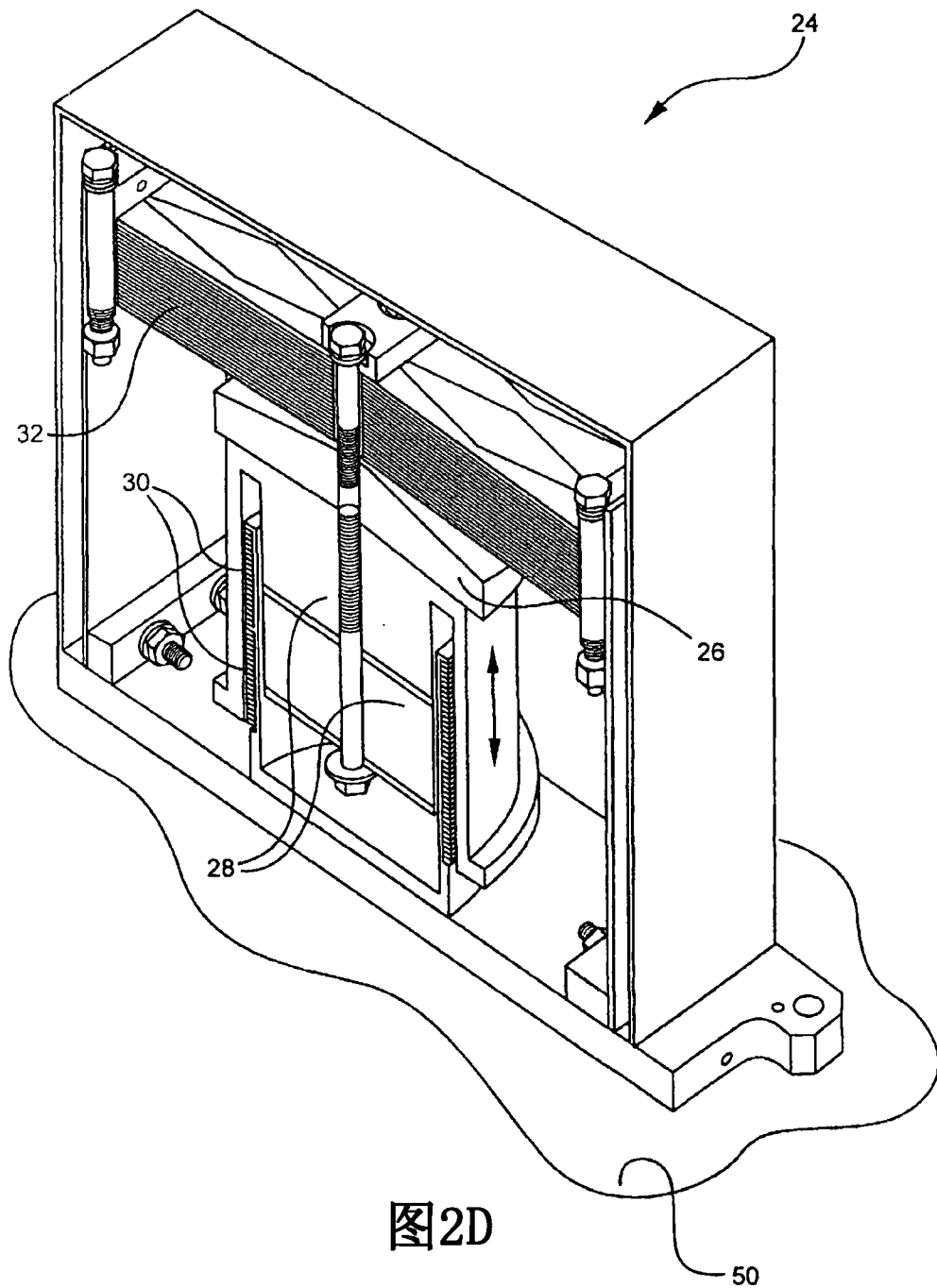


图2D

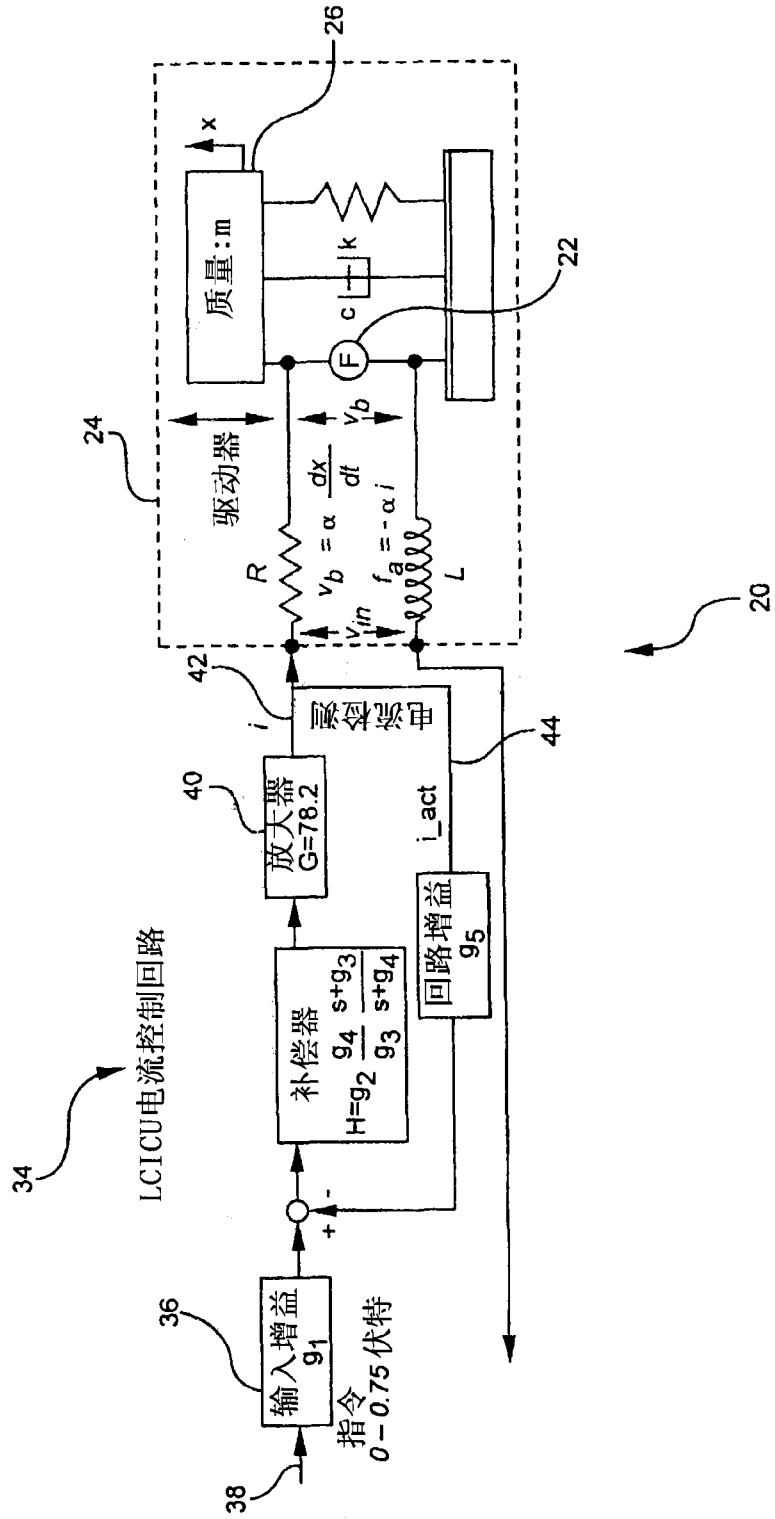


图3

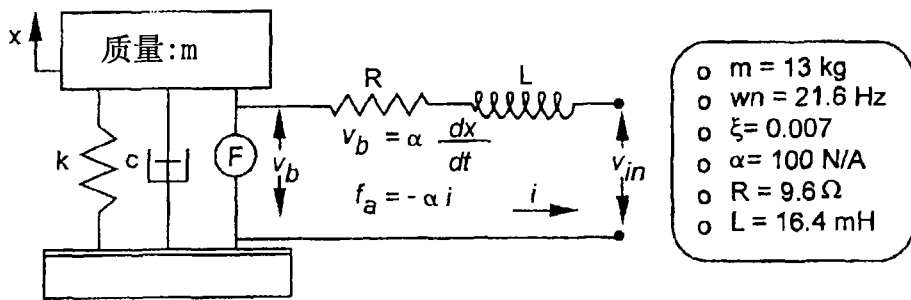


图6

LCICU电流控制回路

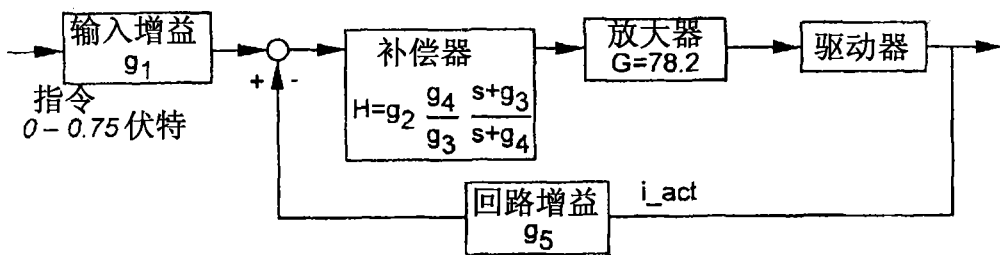


图7

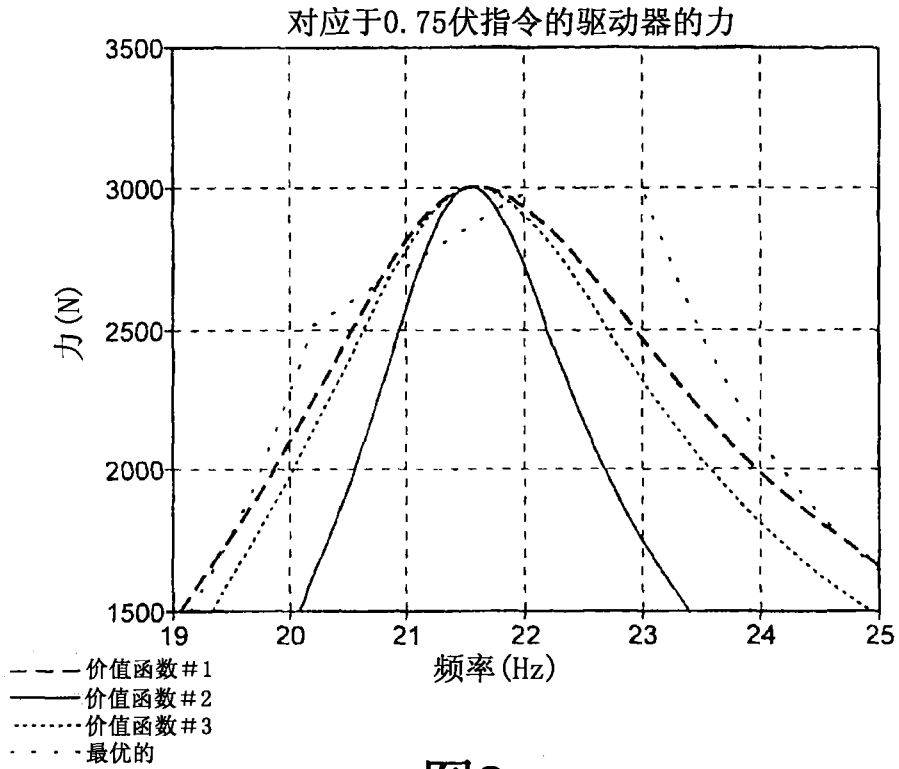


图8

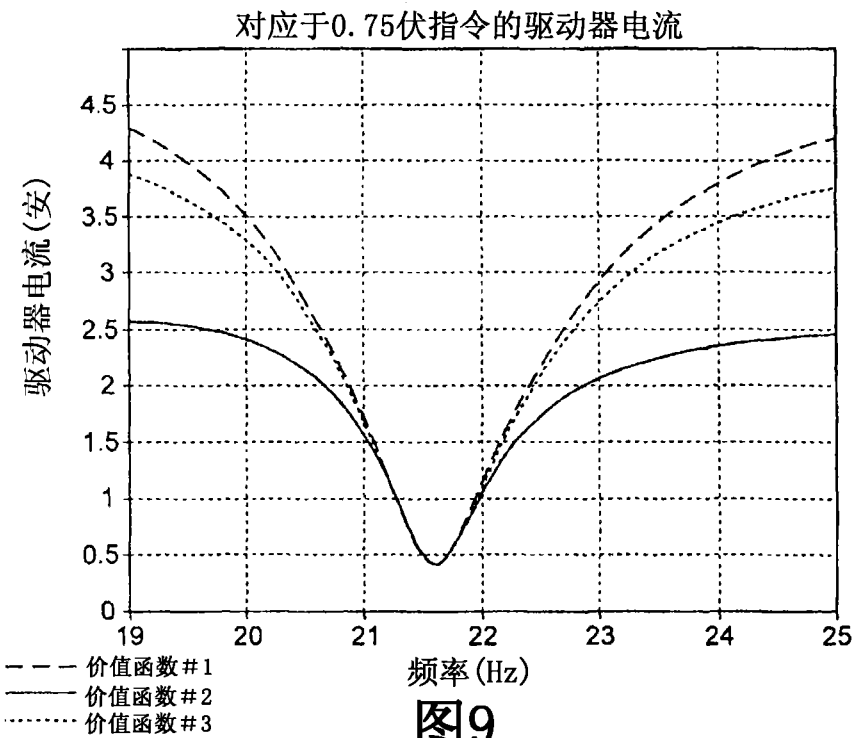


图9

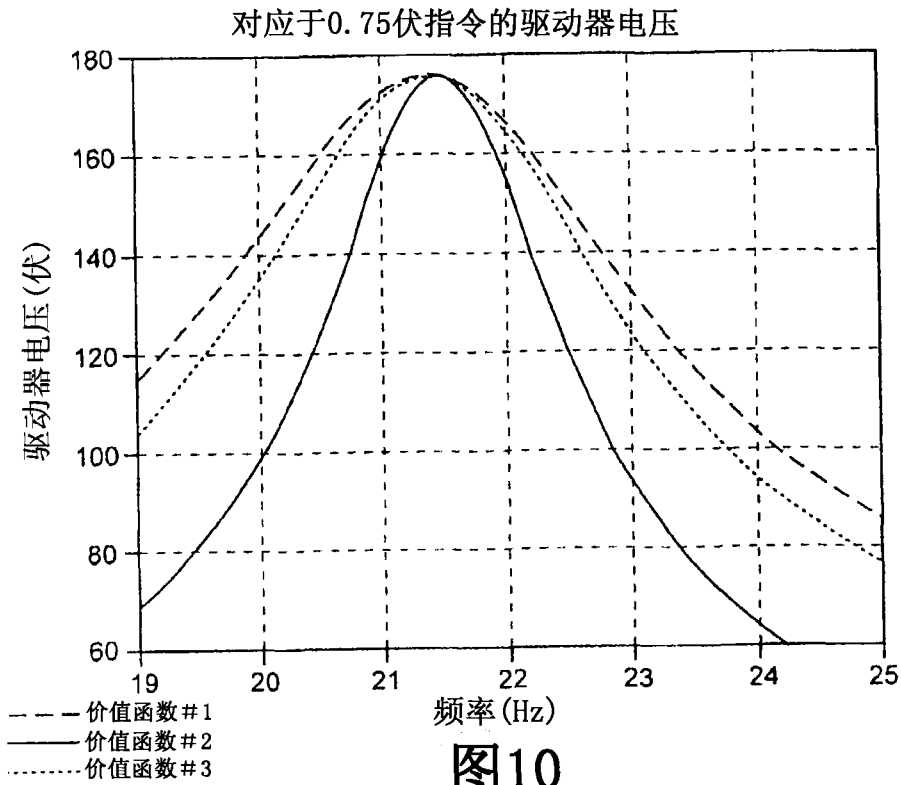


图10

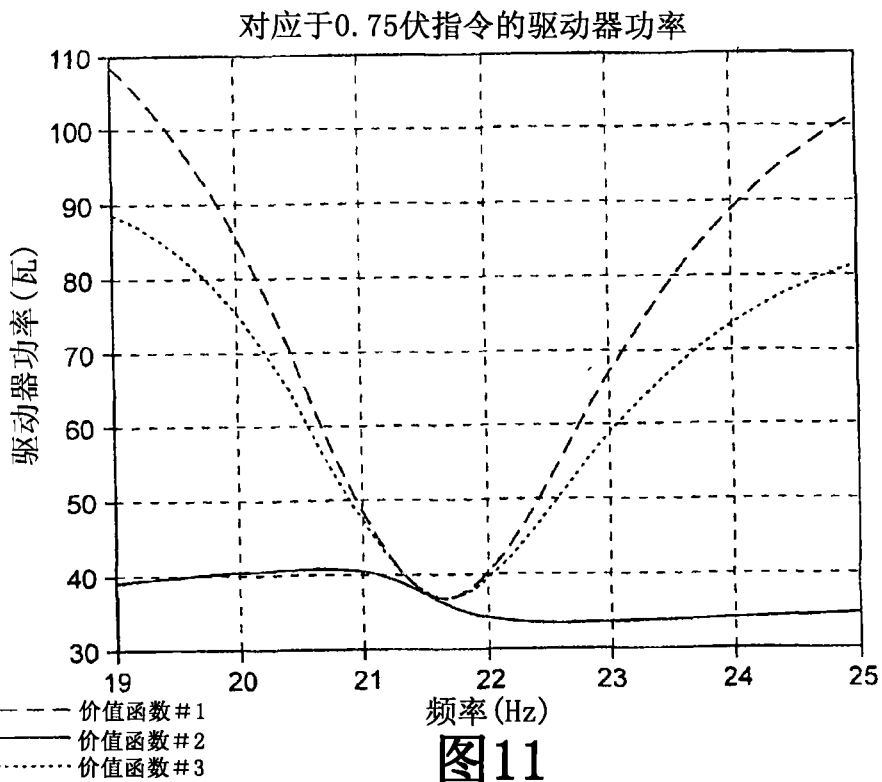
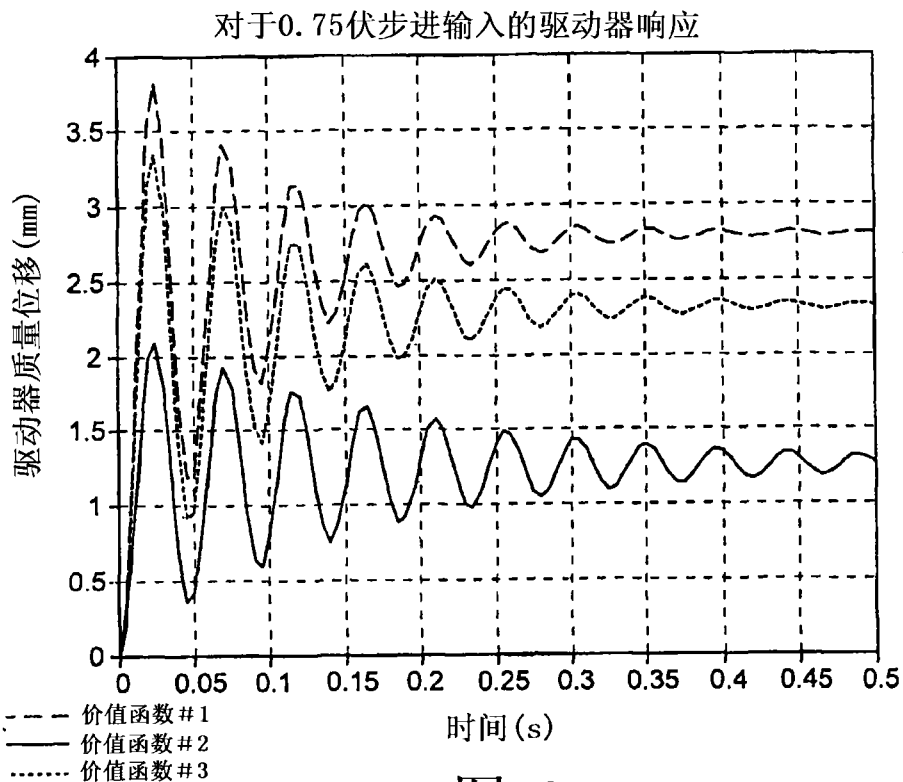
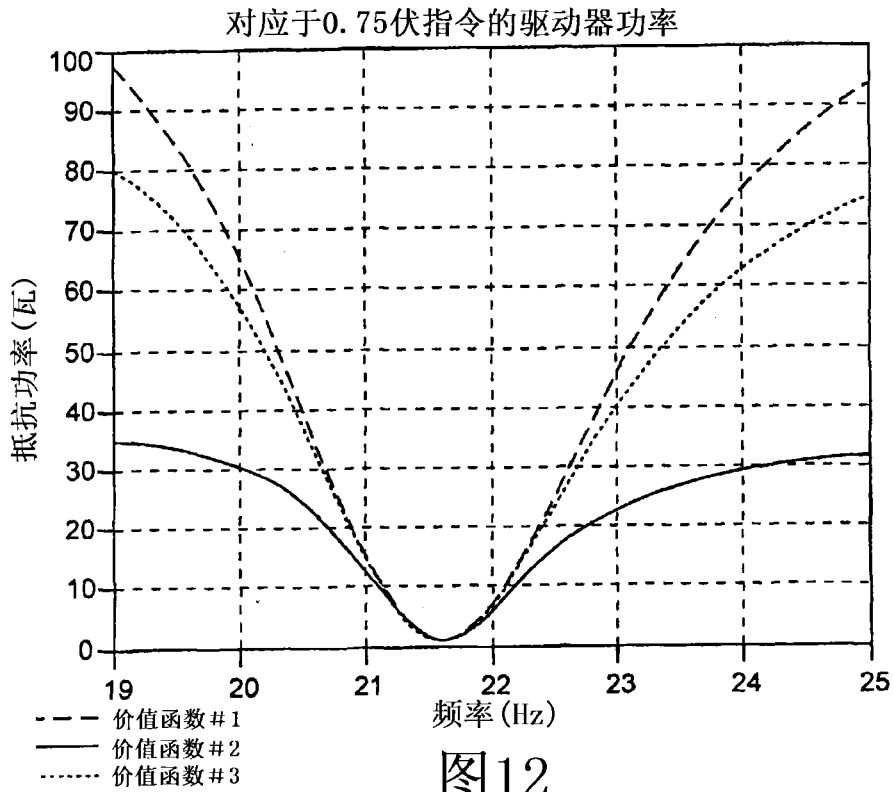


图11



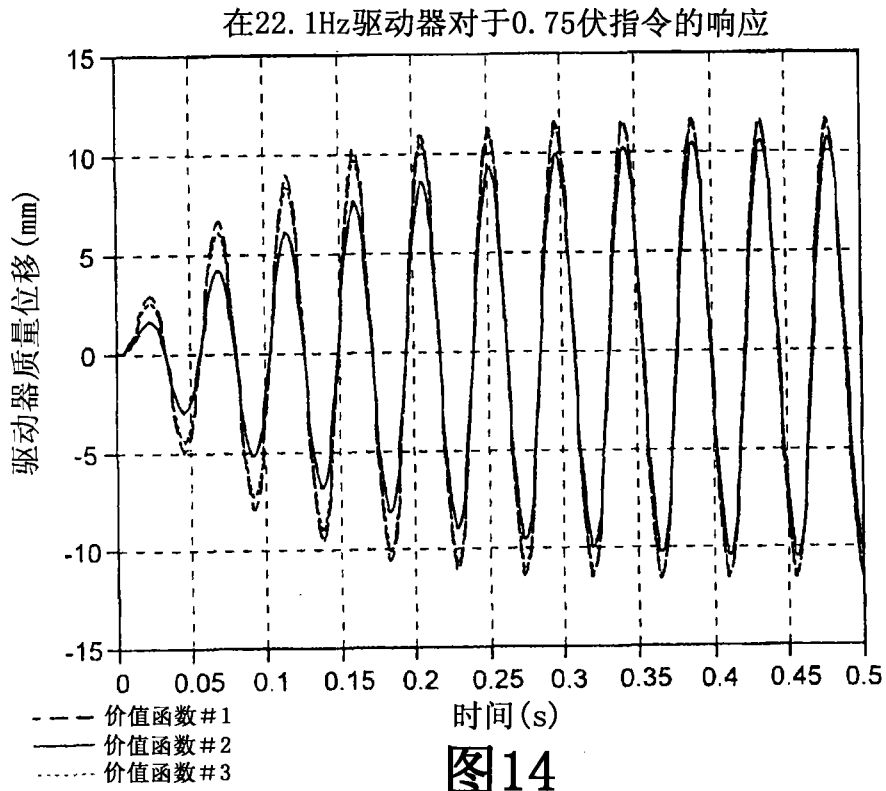


图14

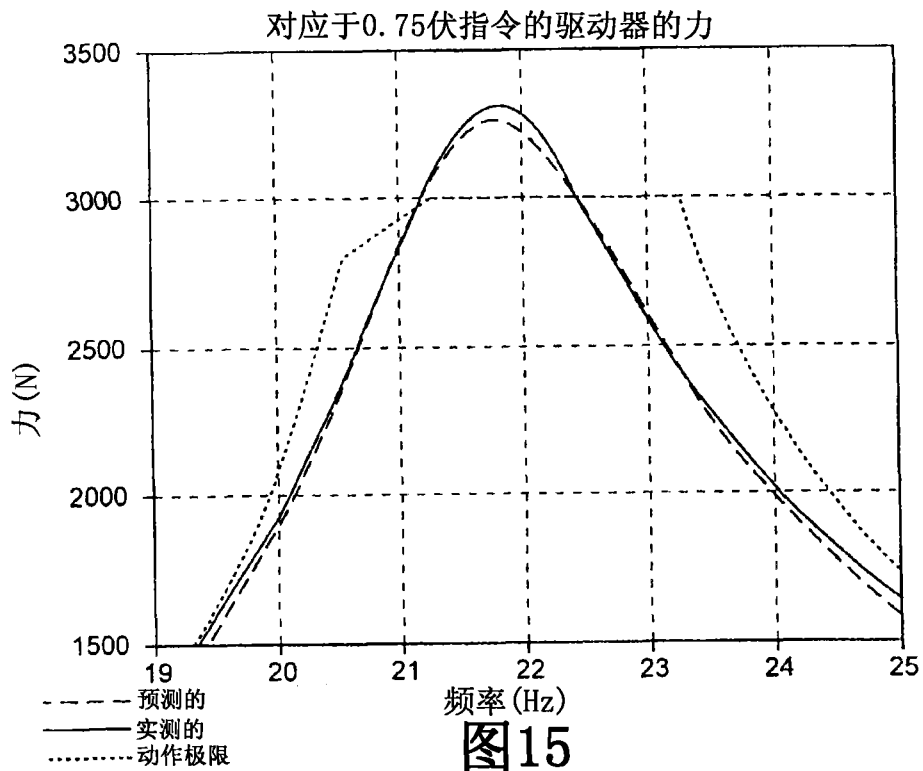


图15

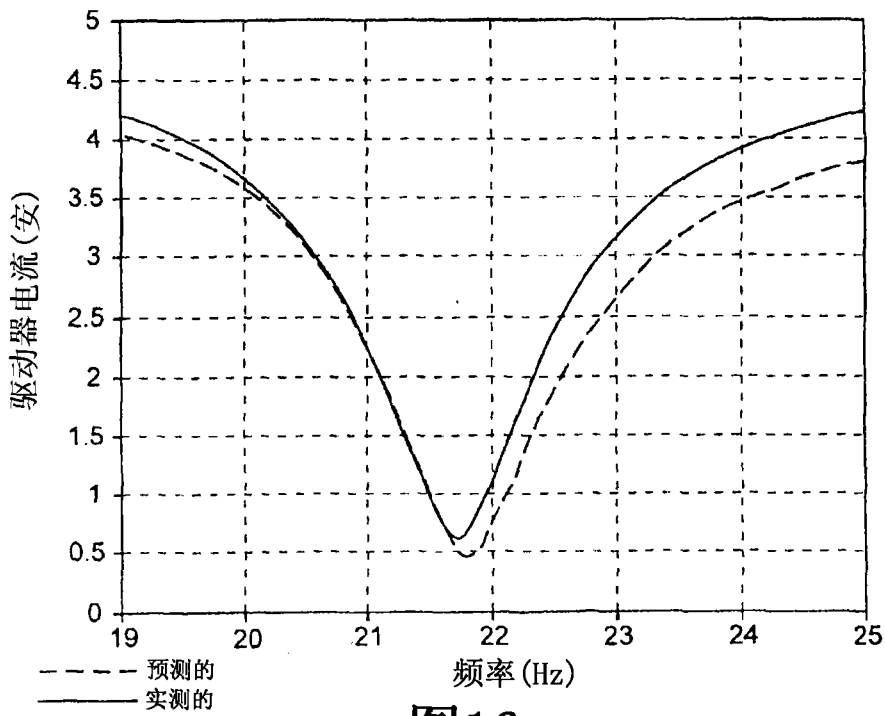


图16

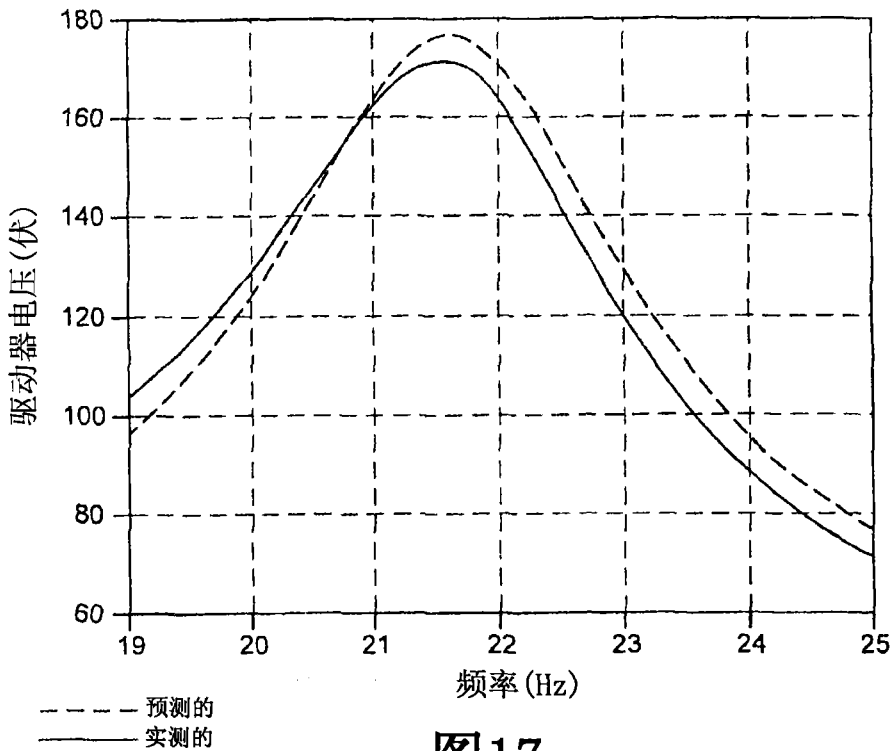


图17