euspen's 15-я Международная Конференция
и Выставка, Левен, Бельгия, Июнь 2015
www.euspen.eu

Виброизоляция удлиненного объекта

C. Collette[1], D. Tshilumba[1], F. Nassif[1], R. Furnémont[1], S. Janssens[2], K. Artoos[2]

[1]*Свободный университет Брюсселя, 50, F.D. Roosevelt av., 1050 Брюссель, Бельгия*

[2]*Европейская организация ядерных исследований, 1211 Женева 23, Швейцария*
Christophe.collette@ulb.ac.be

Аннотация

В настоящее время возрастает количество задач с очень высокими требованиями по уровню точности: при производстве полупроводников, в атомно-силовой микроскопии, в сканирующей зондовой микроскопии, при производстве механообрабатывающих инструментов и т.д. Такая высокая точность может быть достигнута только при очень стабильных условиях. Стандартная процедура заключается в установке чувствительного оборудования на очень тяжелом изолирующем основании, которое иногда называют *оптический стол*, который может быть либо пассивным или активным. Как правило, коммерческие оптические столы могут обеспечить снижение передаваемых колебаний на 99% (или 40 дБ) на частоте от 1 Гц до нескольких сотен Герц. Тем не менее, для некоторых специализированных задач, коммерческие оптические столы не обеспечивают нужных характеристик. В частности: (i) для работы в тяжелых условиях окружающей среды, таких как сильное магнитное поле и излучение; (ii) для изоляции удлиненных объектов, требующих специальную геометрию опор; (iii), в случае, когда изолирующая платформа должна быть установлена на неустойчивый пол. В этой статье описывается новая стратегия активной изоляции и система, которая обращается к трем этим проблемам. Первая проблема решается с помощью выбора приборов без магнита, катушки и эластомера. Для решения второй проблемы предлагается новая геометрия, в частности, предназначенная для поддержки длинных объектов. Третью проблему предлагается решать путем добавления инерционных датчиков к относительным датчикам, для того чтобы уменьшить дестабилизирующее воздействие возрастающих резонансов. Предложенная концепция была рассчитана численно и подтверждена экспериментально на масштабированной испытательной установке.

Активная виброизоляция; удлиненный объект; тяжелые условия эксплуатации

1. Введение

Для решения множества задач требуется очень хорошая виброизоляция от воздействия окружающей среды: механизмы для литографии, атомно-силовые микроскопы, медицинская визуализация. Стабилизация электромагнитов будущего Компактного Линейного Коллайдера Частиц **CLIC** (Compact Linear Particle Collider) является наглядным примером кумулятивных затруднений [1-3] среди таких задач. Ученые подсчитали, что среднеквадратическое значение вертикального перемещения последнего электромагнита не должно превышать 0,15 нм при частоте 4 Гц. Кроме такого существенного требования, надлежащим образом должны быть рассмотрены несколько дополнительных ограничений: они имеют вытянутую форму, они установлены на неустойчивом полу, и они являются электромагнитами. Для того чтобы соответствовать этим строгим требованиям должна быть разработана специальная опора. В этой статье мы представляем новую активную вибро изоляционную платформу, которая имеет несколько ключевых особенностей для решения вышеупомянутых проблем. Во-первых приборы не содержат никаких катушек, магнитов и эластомеров для совместимости с магнитным полем и излучением. Во-вторых, мехатронная архитектура предназначена для поддержки длинных объектов. В-третьих, контроллер использует инерционный датчик и датчик силы, что обеспечивает уникальные свойства устойчивости в замкнутой системе, а также высокую устойчивость к возрастающим резонансам, что является особенно важным, так как электромагниты будут установлены на неустойчивой опоре. Во втором разделе представлена система активной изоляции, включая архитектуру мехатроники, стратегию управления и предварительные результаты эксперимента. В третьем разделе содержатся выводы.

2. Система активной изоляции

2.1. Архитектура мехатроники

Для управления оборудованием, чувствительным к шести степеням свободы, потребуется шесть актуаторов. В зависимости от задачи, опоры либо ориентированы вдоль декартовых осей рамы [4,5], или развернуты как в платформе Стюарта [6]. Для CLIC четырехполюсников конечной фокусировки, большую роль играет вертикальное направление и малую роль играют боковое направление, угол рыскания и тангажа. Никакой роли не играют направление вращения и продольное направление. Были выбраны восемь опор, как показано на Рис. 1: четыре вертикальных и четыре боковых, с небольшим углом, чтобы ограничить продольное движение.

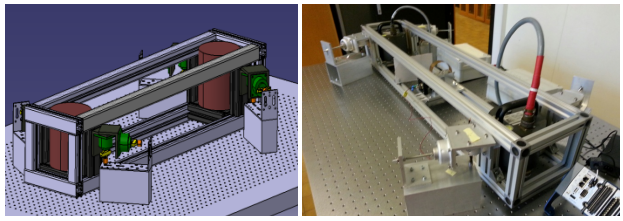

Рисунок 1. Чертеж (слева) и изображение (справа) активной системы изоляции.

2.2. Стратегия управления

Для уменьшения перекрестной связи между опорами была рассмотрена первая концепция, где каждая опора была образована с помощью актуатора последовательно соединенного с инерционным датчиком, как и в [7]. Идея заключалась в том, чтобы использовать децентрализованный контроллер SISO на каждой опоре, то есть каждый актуатор компенсирует абсолютное смещение четырехполюсника, измеренное в направлении актуатора инерционным датчиком, установленным последовательно с актуатором. Обладая преимуществами уменьшения взаимодействия эта идея имеет несколько недостатков: инерционный датчик не монтируется непосредственно последовательно с актуатором, четыре вертикальных датчика являются избыточными, конфигурация не гарантирует стабильность контроллера, и трудно разработать малые и точные инерционные датчики. По этим причинам, мы решили использовать высокоточный инерционный датчик высокого разрешения [8] (NOSE на Рис. 3)

только на низкой частоте для централизованного инерционного управления, а на высокой частоте заменить его обратной связью с локальным датчиком силы в каждом месте установки, как показано на Рис. 2, где i = 1, .., 8. Метод был опубликован в работе [9].

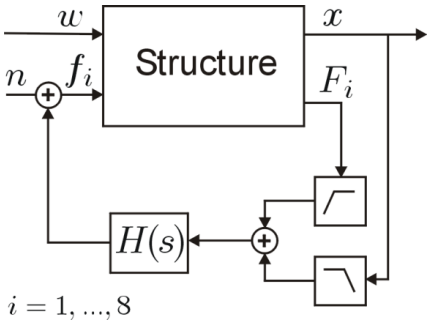

Рисунок 2. Блок схема замкнутого контура управления. Стратегия сочетает в себе централизованное инерционное управление на низкой частоте и децентрализованные контуры управления по силе на каждой активной опоре.

Каждый активная опора состоит из пьезоэлектрического актуатора Cedrat APA100M, установленного последовательно с металлической опорой Paulstra 7002 – JA, обеспечивающей пассивную изоляцию на высокой частоте (Рис.3A). Такая конфигурация обладает интересным свойством полной совместимости с ускорителем. Каждый актуатор разделен на две части: одна используется в качестве актуатора, а вторая – в качестве датчика силы; обе составляют двойную пару.

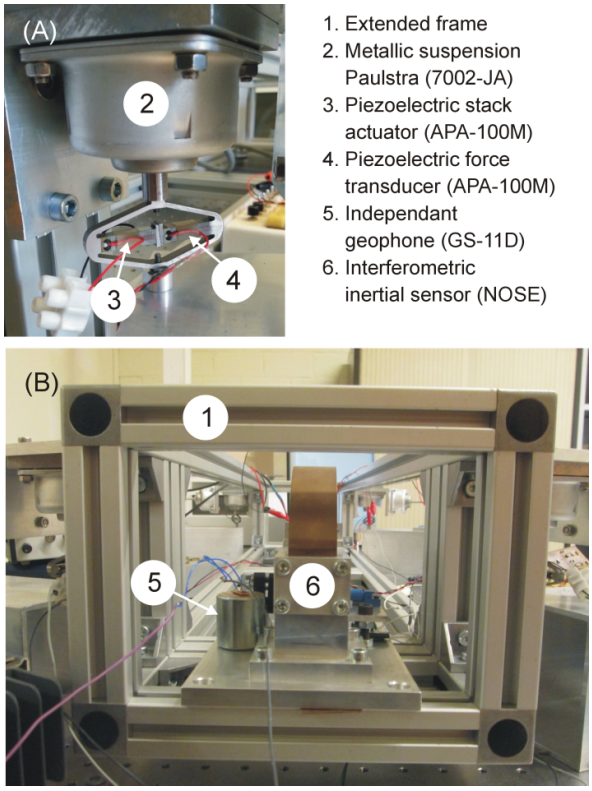

Рисунок 3. Рисунок экспериментальной установки. (A) Одна активная опора, состоящая из объединенной пары пьезоэлектрический актуатор/ датчик, установленной последовательно с металлической опорой. (B) Изображение интерферометрического инерционного датчика (NOSE), используемого в цепи обратной связи, и сейсмографа, используемого для оценки производительности замкнутого контура.

2.3. Результаты эксперимента

Стратегия управления была реализована с помощью DS1103 DSpace с частотой 5 кГц. На данном стенде было испытано только вертикальное направление. Для того, чтобы оставаться выше уровня шума сейсмографа, в актуаторы вводится случайный шум (n) и движение оборудования измеряется с помощью сейсмографа (x). На рисунке 4 показана взаимосвязь между n и x при выключенном (T_{off}) и включенном (T_{on}) контроллере. Обратная связь уменьшает переданное движение на три порядка. Производительность ограничена шумом сейсмографа, но не стабильностью обратной связи.

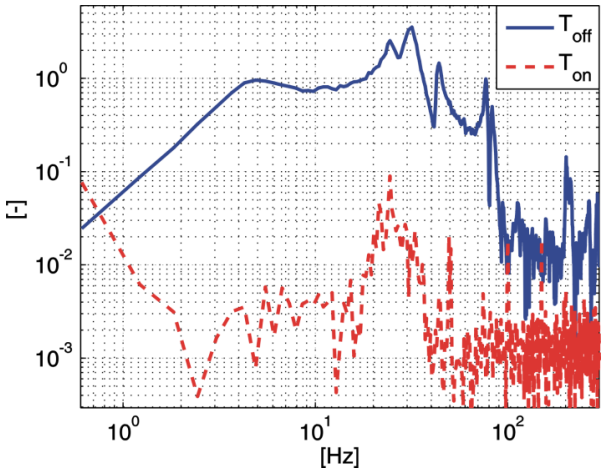

Рисунок 4. Вертикальная взаимосвязь между шумом (n), введенным в актуатор и колебаниями конструкции, измеренная сейсмографом (x),интегрированная и нормализованная, когда контроллер выключен (T_{off}) и включен (T_{on}).

4. Заключение

В статье представлены предварительные экспериментальные результаты, полученные на активной виброизоляционной платформе, предназначенной для поддержки удлиненных полезных нагрузок. Насколько известно автору, это первая активная система изоляции, которая не содержит ни одной катушки, магнита или эластомера, что делает ее полностью совместимой с условиями работы в ускорителях. С помощью предлагаемой стратегии, предварительные результаты показали, что при включенном контроллере магнитуда передаваемого движения может быть уменьшена на три порядка (60 дБ). В дальнейшей работе планируется испытание характеристик замкнутой петли также и в боковом направлении.

Список литературы

[1] Collette C, Janssens S and Tshilumba D, Control strategies for the final focus of future linear particle collider, *Nuclear instruments and methods in physics research section A* , 2012, vol.684, 7-17.

[2] Collette C, Fernandez-Carmona P, Janssens S, Artoos K, Guichard M and Hauviller C 2011 Nano-Motion Control of Heavy Quadrupoles for Future Particle Colliders: An Experimental Validation, *Nuclear instruments and methods in physics research section A* **643** 95-101.

[3] Le Breton R, Deleglise G, Allibe J, Badel A, Balik G, Carona B, Jeremie A, Lottin J and Vilalte S, 2013 Nanometer scale active ground motion isolator, *Sensors and Actuators A* **204**, 97–106.

[4] Vervoordeldonk M and Stoutjesdijk H, Recent developments, a novel active isolation concept, *6th euspen International Conference*, Baden bei Wien, 2006.

[5] Schubert D, Beard A and von Flotow A, Practical product implementation of an active vibration isolation. *SPIE*, 2264, 1994.

[6] Stewart D, 1966 A platform with six degrees of freedom, *Proceedings of Institution of Mechanical Engineers,* **15** 371-378.

[7] Anderson E, Fumo J and Erwin R, 2000 Satellite Ultraquiet Isolation Technology Experiment (SUITE), *proceedings of the IEEE Aerospace Conference* **4**, 299-313.

[8] Collette C, Nassif F, Amar J, Depouhon C, Gorza S-P, Prototype of a new interferometric absolute motion sensor, proceedings of the ISMA conference, September 2014, (Leuven, Belgium).

[9] Collette C and Matichard F, Inertial control of flexible structures using blended sensors, proceedings of the ISMA conference, September 2014, (Leuven, Belgium).