

УДК 62-56

## СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ ВИБРОЗАЩИТЫ С ПРЯМОЙ СВЯЗЬЮ

Немцева М.А., магистрант гр. ЭХПм-1-20, II курс  
Научный руководитель: Сидоров А.Е., к.т.н., доцент  
Казанский государственный энергетический университет  
г. Казань

На сегодняшний день наиболее популярным типом системы активной компенсации является система инерционной обратной связи. Если пренебречь входом с прямой связью и датчиком движения грунта, путь обратной связи состоит из сейсмометра, фильтра и силового привода (например, «звуковой катушки» громкоговорителя). Сейсмометр измеряет смещение между своей тестовой массой и изолированной полезной нагрузкой, фильтрует этот сигнал, затем прикладывает силу к полезной нагрузке, чтобы это смещение ( $X_1 - X_2$ ) было постоянным, тем самым обнуляя выходные данные сейсмометра. Поскольку единственная сила, действующая на испытательную массу, исходит от сжатия ее пружины, и это сжатие поддерживается постоянным ( $X_1 - X_2 \approx 0$ ), то пробная масса активно изолирована. Точно так же, поскольку изолированная полезная нагрузка вынуждена отслеживать тестовую массу, она также должна быть изолирована от вибрации. Производительность системы этого типа всегда ограничена пропускной способностью сервопривода [1].

Производительность инерциальной системы с обратной связью можно улучшить, добавив прямую связь. Прямая связь намного сложнее, чем обратная, но она предлагает способ улучшить производительность системы, когда полоса пропускания сервопривода с обратной связью ограничена. Существует два типа систем с прямой связью, которые сильно отличаются друг от друга, хотя и имеют одно и то же название.

Вибрационная прямая связь. Эта схема включает в себя использование датчика движения грунта и проиллюстрирована на рисунке 1.

Концептуально она довольно проста: если земля перемещается вверх на величину  $\Delta z$ , полезная нагрузка испытывает силу сжатия пружины, равную  $K \Delta z$ . Однако датчик движения грунта обнаруживает это движение и прикладывает равную и противоположную силу к полезной нагрузке. Силы, действующие на полезную нагрузку, «отменяются», и полезная нагрузка остается неизменной. «Отмена» взята в кавычки, потому что этот термин подразумевает совершенную отмену, чего никогда не бывает. В реальных системах необходимо учитывать, насколько хорошо компенсируются эти две силы [2].

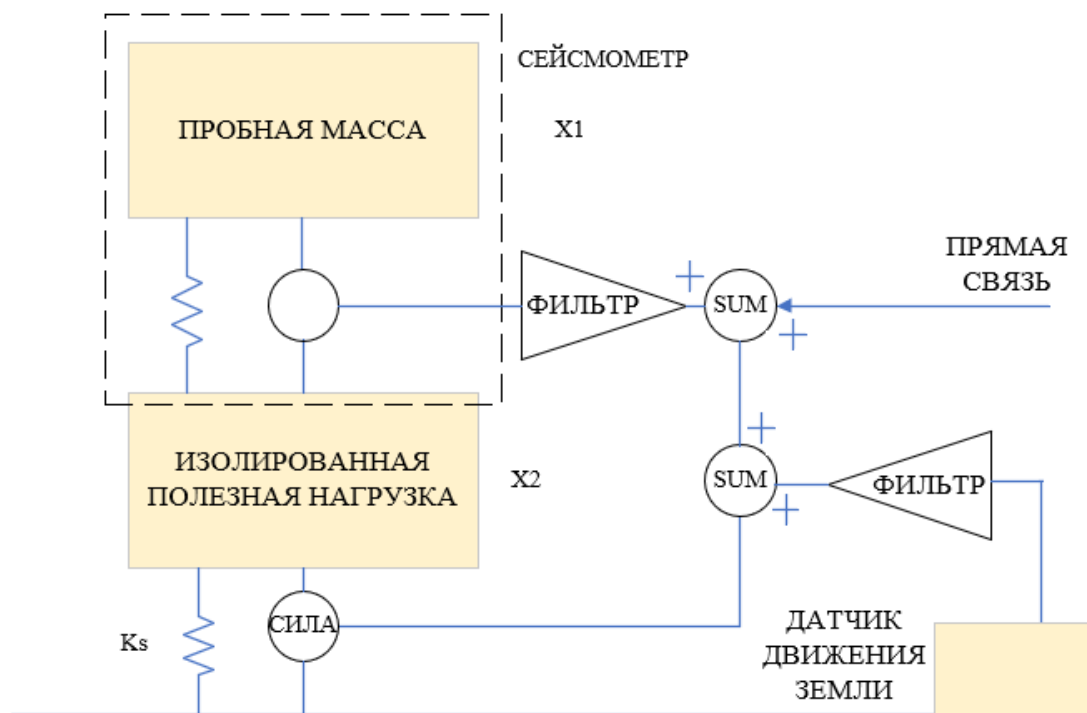


Рис. 1. Вибрационная прямая связь

По целому ряду причин трудно добиться, чтобы эти силы совпадали больше, чем примерно на 10%, что привело бы к 10-кратному улучшению отклика системы. Сопоставить эти силы с уровнем 1% практически невозможно. Причин много: датчик обычно представляет собой сейсмоприемник, который не имеет «плоской» частотной характеристики. Его отклик должен быть «сглажен» тщательно подобранным сопряженным фильтром. Усиление этого сигнала должно быть тщательно согласовано, чтобы сила, создаваемая приводом, была точно равна по величине силам, вызванным движением грунта. Эти коэффициенты усиления и свойства «сопряженного фильтра» должны оставаться постоянными с точностью до процента в зависимости от времени и температуры. Согласование усиления также чрезвычайно сложно, если изменяется распределение массы системы, что является обычным явлением в управлении полупроводникового оборудования. Наконец, уровень подавления ограничен собственным шумом датчика (минимальный уровень шума), что является обычным в применении полупроводникового оборудования.

Еще одним ограничивающим фактором для вибрационной прямой связи является то, что она становится системой обратной связи, если пол не является бесконечно жестким (а это не так). Это связано с тем, что привод, толкая полезную нагрузку, также давит на пол. Пол будет прогибаться под действием этой силы, и это отклонение будет зафиксировано датчиком. Если уровень сигнала, создаваемого этим отклонением, достаточно велик, то формируется нестабильная петля обратной связи [4].

На рисунке 1 также показано, что упреждающая передача команд полезна только в системах, где к полезной нагрузке прилагается известная

сила, и доступен сигнал, пропорциональный этой силе. Это относится к оборудованию для производства полупроводников, где основной помехой для полезной нагрузки является движущийся стол, работающий с пластиной.

Концепция проста. К полезной нагрузке прикладывается сила известной величины (обычно от ускорения ступени). Электронный сигнал, пропорциональный этой силе, подается на привод, который создает равную и противоположную силу. В литературе наблюдается тенденция преувеличивать эффективность этой методики. Заявления о «полном устранении» остаточных движений полезной нагрузки являются обычным явлением. Как и в случае вибрационной прямой связи, здесь возникает проблема с регулировкой усиления, но устраняются все проблемы, связанные с шумом датчика или возможными путями обратной связи. Все верно до тех пор, пока сигнал является истинным сигналом команды от (например) контроллера движения платформы. Если сигнал поступает от энкодера, считывающего положение ступени, то можно сформировать нестабильную петлю обратной связи [3].

#### **Список литературы:**

1. Аверьянов Г.С. Основы теории автоматического управления: учеб. пособие / А.Б. Яковлев, Г.С. Аверьянов. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2017. – 108 с.
2. Елисеев А.В., Сельвинский В.В., Елисеев С.В. Динамика вибрационных взаимодействий элементов технологических систем с учетом неудерживающих связей // Новосибирск: Наука. 2015. 332 с.
3. Куцубина Н.В. Теория виброзащиты и акустической динамики машин: учебное пособие / Н.В. Куцубина, А.А. Санников – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2014. - 167 с.
4. Муромцев Ю.Л. Основы автоматики и системы автоматического управления: учебное пособие / Ю.Л. Муромцев, Д.Ю. Муромцев. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – Ч. 1. – 96 с.