

УДК 62-56

## **ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ АКТИВНОЙ ВИБРОЗАЩИТЫ С ИНЕРЦИОННОЙ ОБРАТНОЙ 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

Инерционные системы с обратной связью могут использоваться для сокращения времени установления и улучшения характеристик виброизоляции, но они имеют несколько существенных недостатков. Реализация системы горизонтальной инерционной обратной связи сильно ограничена проблемой связи наклона с горизонталью.

Система с шестью степенями свободы имеет три «вертикальных» и три «горизонтальных» сервопривода. Горизонтальные степени свободы — это те, которые управляются с помощью приводов с горизонтальным приводом —  $X$ ,  $Y$  и поворот. Это проблема наклона в горизонтальное сцепление. Если толкать полезную нагрузку в сторону с помощью горизонтальных приводов, и она наклоняется, инерционные датчики воспринимают наклон как ускорение и пытаются скорректировать его, ускоряя полезную нагрузку, что неправильно [4]. Этот эффект является фундаментальным ограничением, которое уходит своими корнями в принцип эквивалентности Эйнштейна, который гласит, что невозможно отличить ускорение от однородного гравитационного поля (которое вводит наклон). Единственное решение этой проблемы — не наклонять полезную нагрузку при толкании. Это сложно сделать, особенно в геометрии, которая не предназначена для удовлетворения этого требования. В конечном счете, приходится использовать комбинацию горизонтальных и вертикальных приводов, чтобы добиться «чистого» горизонтального срабатывания. Это становится проблемой «тонкой настройки», которая даже в лучшем случае даст незначительные результаты.

Другая проблема заключается в том, что эти системы имеют относительно малое время установления местоположения [3].

На рисунке 1 показана реакция полезной нагрузки на внешнее возмущение. Он основан на модели идеализированной системы с одной степенью свободы и предназначен только для качественной демонстрации производительности системы с несколькими степенями свободы. Обе кривые представляют одну и ту же активную систему, за исключением того, что первая отображает отношение перемещения к приложенной силе, а вторая — отношение ускорения к приложенной силе в зависимости от частоты. Единственное отличие состоит в том, что первый график был умножен на две степени частоты, чтобы получить второй. Кривые показывают,

соответственно, что измерили бы датчик положения и акселерометр, если бы эта система была нарушена (шкалы величин на этих графиках имеют произвольное происхождение и предназначены только для справки).

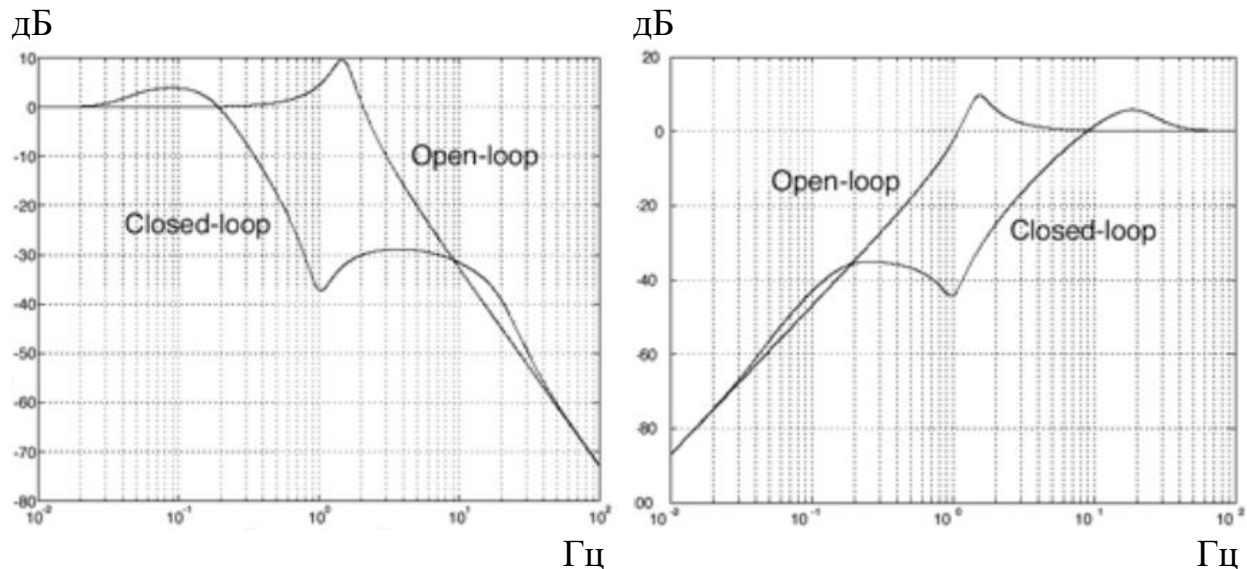


Рис. 1. Графики реакции полезной нагрузки на внешнее возмущение

Кривые показывают, что в характеристике положения преобладает низкочастотный резонанс, а в характеристике ускорения преобладает высокочастотный пик. Это противоречивый результат, поскольку пик отклика без обратной связи (чисто пассивного) в обоих случаях приходится на одну и ту же частоту.

Эта система хорошо справляется с подавлением резонанса без обратной связи в системе. Он обеспечивает значительную дополнительную изоляцию в диапазоне частот 0,5–5 Гц. На кривой ускорения преобладает хорошо затухающий резонанс на частоте около 20 Гц. Если предположить, что амплитуда ускорения затухает как:

$$A = A_0 \cdot e^{-t/\tau}, \quad (1)$$

где  $A_0$  – начальная амплитуда и  $\tau = Q/(\pi\nu)$ . Если добротность  $Q$  примерно равна 2, то  $\tau \approx 32$  мс. Достаточно хорошо. Для любой полезной нагрузки, которая чувствительна к ускорению (которых большинство), время установления для этой системы будет улучшено на порядок с помощью этого сервопривода.

Проблема с этой системой показана на первом наборе кривых. Они показывают, что в характеристике положения преобладает пик на частоте ~0,1 Гц. Предполагая то же значение  $Q$ , что и выше, это означает, что постоянная затухания  $t$  составляет приблизительно 6,5 секунд. Несмотря на то, что сервопривод разработан с большим запасом по фазе, чтобы снизить добротность до 2, низкая частота пика означает, что требуется много времени, чтобы установить равновесие. Хотя полезная нагрузка наиболее чувствительна

к ускорениям, есть два примечательных случая, когда длительное время установления равновесной позиции является проблемой.

Во-первых, длительное время установления равновесного положения полезной нагрузки по крену или тангажу может выглядеть как горизонтальное ускорение. Это связано с принципом эквивалентности Эйнштейна: по мере того, как полезная нагрузка наклоняется, направление действия силы тяжести на полезную нагрузку меняется с чисто вертикального на некоторый небольшой угол отклонения от вертикали. Принципиально это идентично наличию горизонтальной полезной нагрузки, которая ускоряется на величину, равную углу наклона (в радианах)  $g$ . Другими словами, каждый мрад наклона превращается в мг горизонтального ускорения. Многие приборы, например электронные микроскопы, чувствительны к этому [1].

Еще одна существенная проблема — стыковка полезной нагрузки. Это обычный процесс, при котором полезная нагрузка должна периодически позиционироваться относительно внешнего объекта с предельной точностью — обычно от 20 до 200 мм. Инерциальной системе с обратной связью может потребоваться очень много времени, чтобы достичь такого уровня [2]. Есть два возможных решения. Первое заключается в том, чтобы запустить сервопривод с более низким коэффициентом усиления, пожертвовав некоторой производительностью изоляции ради лучшего времени определения положения. Второй подход — отключить сервопривод для стыковки.

#### 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. М915 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.