

# Компенсация механических резонансов в электроприводе CSD-DH

Вибрация и резонансные явления в машинах и механизмах играют исключительно важную роль. Резонанс – это совпадение внешней (возбуждающей) частоты с внутренней (собственной) частотой колебательной системы.

В современных электроприводах полоса пропускания регулятора тока доходит до 1000 Гц, а в регуляторе скорости до 100 Гц. Из-за такой большой полосы пропускания, механический резонанс на подвижных узлах входит в этот диапазон частот. На рис. 1 представлена АЧХ регулятора скорости снятая на модернизированном фрезерно-расточном станке модели 2622 с ЧПУ NC-210 и ЭП CSD-DH30 фирмы Балт-Систем.

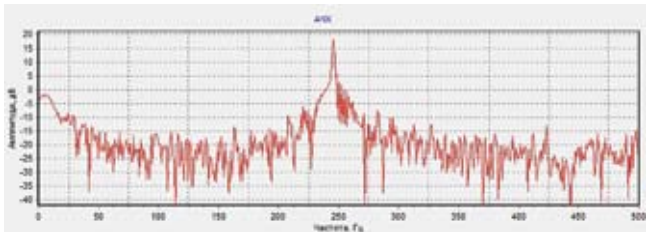


Рисунок 1. Амплитудно-частотная характеристика регулятора скорости станка 2622

Для нахождения резонансных частот, мы представим механическое соединение двигателя и нагрузки, через много-массовую систему и найдем ее передаточную функцию (рис. 2).

Каждый элемент кинематической цепи обладает упругостью, т. е. деформируется под нагрузкой. Кроме того, между отдельными элементами могут быть зазоры. Если учитывать все эти явления, то расчёт динамики будет возможен только численными методами и полученный результат не позволит сделать какие-либо обобщения.

Для изучения общих закономерностей кинематические схемы механической части приводов производится упрощение: в них не учитываются малые зазоры и связи с большой жёсткостью. Это позволяет свести расчётную схему к трёх-массовой или двух-массовой системе тел с эквивалентными упругими связями (рис. 3).

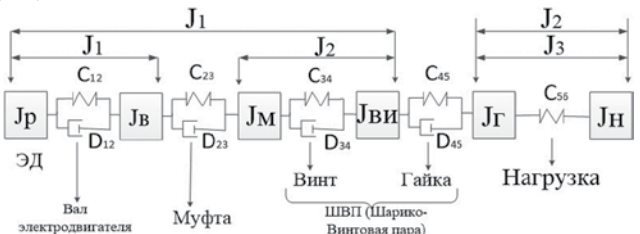


Рисунок 2. Много-массовая механическая система

Приведенные величины к валу электродвигателя:

J – момент инерции; D – коэффициент демпфирования; C – коэффициент жесткости.

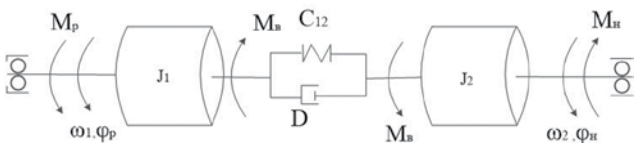


Рисунок 3. Двух-массовая механическая система



Уравнение движения для двух-массовой системы выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} M_p - M_b = J_1 \frac{d\omega_1}{dt} + C_{12}(\varphi_p - \varphi_n) + D(\omega_1 - \omega_2) \\ C_{12}(\varphi_p - \varphi_n) + D(\omega_1 - \omega_2) = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} - M_n + M_b \end{cases}$$

Где  $M_p$  – Момент ротора электродвигателя,  $M_b$  – момент ШВП,  $M_n$  – момент нагрузки,  $C_{12}$  – приведенный коэффициент жесткости(вала, муфты, ШВП и нагрузки),  $D$  – приведенный коэффициент демпфирования(вала, муфты, ШВП и нагрузки),  $\omega_1$  – угловая частота вращения ротора электродвигателя,  $\omega_2$  – угловая частота вращения нагрузки,  $\varphi_p$  – угол поворота вала ротора электродвигателя,  $\varphi_n$  – угол поворота вала нагрузки.

$J_1$  – момент инерции первой массы (ротора ЭД, вала ЭД, муфты и винта).

$J_2$  – момент инерции второй массы (нагрузки и гайки).

Для исследования основных свойств двух-массовой системы исключим возмущающие воздействия и демпфирующий момент вязкого трения. В результате мы получим операторное уравнение динамической механической характеристики первой и второй массы в виде:

$$W_1(s) = \frac{\omega_1(s)}{M_p} = \frac{1}{J_s} * \frac{\gamma T_{упр}^2 s^2 + 1}{T_{упр}^2 s^2 + 1}$$

$$W_2(s) = \frac{\omega_2(s)}{M_p} = \frac{1}{J_s} * \frac{1}{T_{упр}^2 s^2 + 1}$$

где  $T_{упр}^2 = \frac{J_1 * J_2}{(J_1 + J_2) C_{12}}$ ;  $\gamma = \frac{J_1 + J_2}{J_1}$ ;  $J = J_1 + J_2$ ;

s – оператор Лапласа

Корни получившегося уравнения – резонансные частоты системы.

Ноль  $\omega_{ar} = \sqrt{\frac{1}{T_{упр}^2 \gamma}}$  – Антирезонансная частота

Полус  $\omega_r = \frac{1}{T_{упр}}$  – Резонансная частота

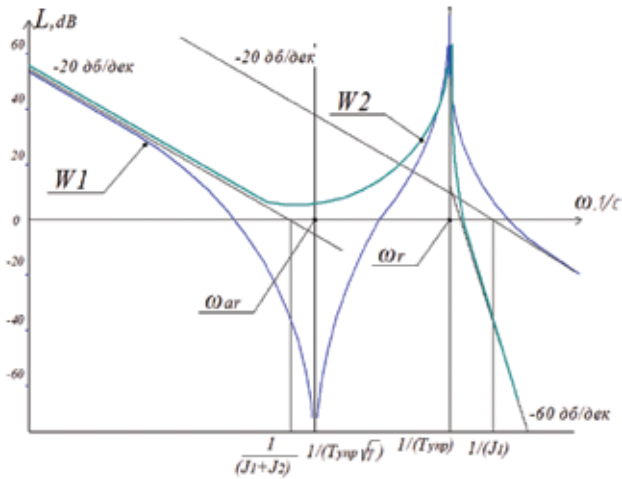


Рисунок 4. Амплитудно-частотные характеристики двух-массовой механической системы

Сравнив рис. 1 и рис. 4 мы видим, что двух-массовая модель электропривода достаточно точно отражает реальный станок 2622. Чтобы ликвидировать резонанс на рис. 1 в электроприводе CSD-DH используется следующая процедура:

1. Построение АЧХ и ФЧХ с помощью подачи тестового сигнала и быстрого дискретного преобразования Фурье.
2. Нахождение частоты резонанса на АЧХ.
3. Выбор корректирующих фильтров, введенных в прямую ветвь задания электропривода.
4. Подбор параметров фильтра таким образом, чтобы получить наиболее плавную (без выбросов) АЧХ с достаточной степенью устойчивости.

Все фирмы-производителя электроприводов для станкостроения, пришли к выводу, что оптимальным решением, для устранения резонанса в полосе пропускания, является введение корректирующих звеньев в прямую ветвь управления. Наиболее простым методом – фильтры, установленные между регулятором скорости и тока, поэтому их и назвали «Токовыми».

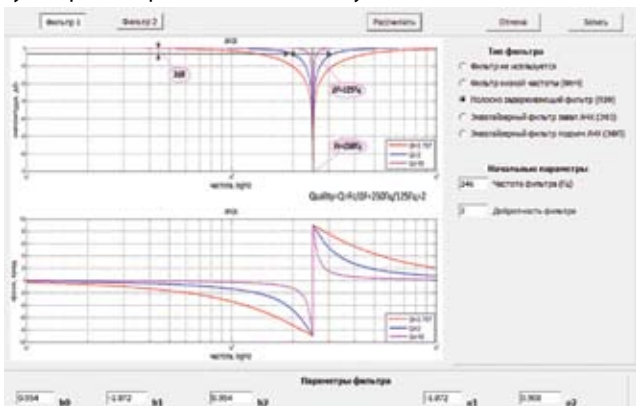


Рисунок 5. Функция расчет фильтров программы Servo Monitor

В электроприводе CSD реализована система из 2-х последовательных фильтров.

Возможно использование 4-х типов фильтров: фильтр низкой частоты (ФНЧ), полосно задерживающий фильтр (ПЗФ), эквалайзерный фильтр завал АЧХ (ЭФЗ), эквалайзерный фильтр подъем АЧХ (ЭФП).

Изменяя параметры фильтра, мы добиваемся устранения резонанса и делаем АЧХ наиболее плавной (без выбросов) в районе собственных частот (частот резонанса).

Каким образом находим эти частоты? В электроприводе CSD имеется функция построения АЧХ и ФЧХ регуляторов тока и скорости, путем подачи тестового сигнала и дискретного преобразования Фурье (см. рис. 1).

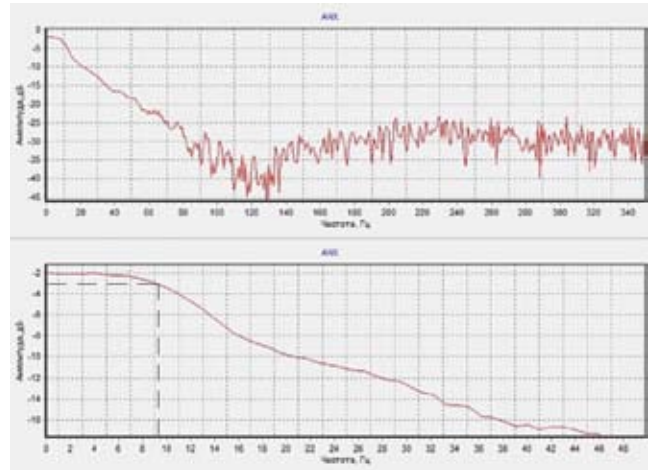


Рисунок 6. Амплитудно-частотная характеристика регулятора скорости станка 2622 с одним полосно-задерживающим фильтром

Как видно на рис. 1 имеется резонанс на частоте 248 Гц. Применяя полосно-задерживающий фильтр (рис. 5) мы ликвидируем резонанс и получаем АЧХ (рис. 6) в диапазоне частот от 0–390 Гц и от 0–48 Гц.

Из амплитудно-частотной характеристики рис.6 мы видим, что возможно увеличить пропорциональный коэффициент регулятора скорости в 2,5 раза. Получившаяся АЧХ регулятора скорости изображена на рис. 7.

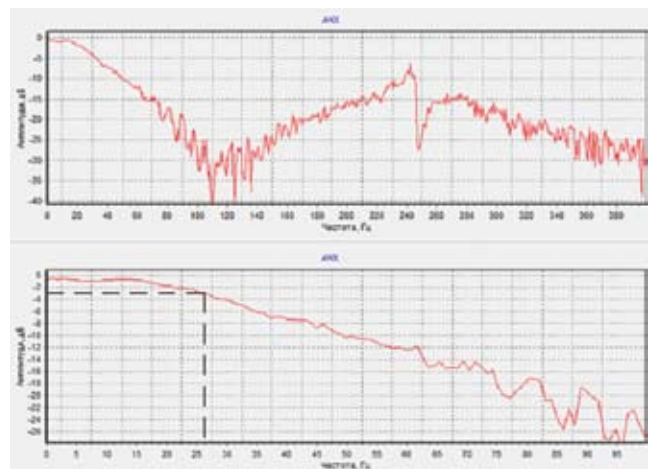


Рисунок 7. АЧХ регулятора скорости с повышенным пропорциональным коэффициентом регулятора скорости

Таким образом, на станке 2622 с УЧПУ NC-210 и ЭП CSD-DH30 устранен резонанс и увеличена полоса пропускания регулятора скорости с 9 до 27 Гц.

**ООО «Балт-Систем»**

198206 г. Санкт-Петербург, Петергофское шоссе, 73

Тел.: (812)-744-34-61, факс: (812)-744-70-59

bs@petrlink.ru

http://www.bsystem.ru

