Резонансные явления. Инженерный подход.

настройка токовых фильтров ЭП подач "CSD-DH-NYS"

на станке 2622

БАЛТ-СИСТЕМ

2013г.

Клюквин В.А.

Оглавление

Перечень условных обозначений, символов, сокращений и терминов 1

Введение 2

1. Предварительный пуск ЭП 3

2. Настройка ЭП 3

2.1. Общие замечания. 3

2.2 Настройка регулятора тока 4

2.2.1 Окончательная АЧХ и ФЧХ регулятора тока (тест проводился на стенде) 4

2.2.2 Определение резонансного явления (тест проводился на стенде) 6

2.3 Настройка регулятора скорости 8

2.3.1 Предварительная АЧХ и ФЧХ регулятора скорости (тест проводился на станке 2622) 8

2.3.2 Ступенчатое задание скорости (тест проводился на станке 2622) 10

2.3.3 Внедрение токового фильтра для ликвидации резонанса (тест проводился на станке 2622) 12

2.3.4 Увеличения полосы пропускания регулятора скорости (тест проводился на станке 2622) 14

2.4 Окончательная АЧХ и ФЧХ регулятора тока с токовым фильтром (тест проводился на станке 2622) 14

3. Выводы 16

Перечень условных обозначений, символов, сокращений и терминов

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика
ФЧХ - фазо-частотная характеристика
Чирп (chirp) – частотно модулированный сигнал с линейно-изменяющейся частотой
ЭД - электродвигатель
ЭП - электропривод
Предуправление (Feedforward Control) – компенсация статической ошибки регулятора
Поперечный ток Iq – ток статора ЭД в преобразованной системе вращающихся координат ротора Q-D. Определяет активную составляющую полного тока, который создаёт развиваемый момент.
Продольный ток Id – ток статора ЭД в преобразованной системе вращающихся координат ротора Q-D. Определяет реактивную составляющую полного тока, который создаёт вектор потокосцепления ротора.
$\boldsymbol{Fbw}$ **–** полоса пропускания регулятора (frequency bandwidth) , размерность Гц.
$\boldsymbol{k_p}$ – пропорциональный коэффициент регулятора.
$\boldsymbol{k_v}$ – Kv-фактор. Пропорциональный коэффициент регулятора положения.
$\boldsymbol{k_i}$ – интегральный коэффициент регулятора.
$\boldsymbol{k_{pd}}$ - псевдо дифференциальная составляющая регулятора скорости

$\boldsymbol{k_{ffw}}$ – коэффициент предуправления регулятора
$\boldsymbol{f_d}$ – собственная частота фильтра, размерность Гц.
$\boldsymbol{q}$ – добротность фильтра, безразмерная величина
$\boldsymbol{G}$, $\boldsymbol{G_{log}}$ - коэффициент усиления фильтра на определенной частоте, размерность дБ.
p304 – номер параметра ЭП

Введение

Вибрация и резонансные явления в машинах и механизмах играют исключительно важную роль. Общеизвестный факт , когда при проходе колоны солдат по Анжерскому мосту (Франция, 1850г) , он разрушился и погибли больше 200 человек . Причина – собственная резонансная частота моста совпала с частотой шага. Итак, резонанс – это совпадение внешней (возбуждающей) частоты с внутренней (собственной) частотой колебательной системы.

Переход на цифровой электропривод с векторным управлением момента , использование пространственно-векторной модуляции в широтно-импульсном преобразователе для IGBT-силовых модулях и применение вентильных электродвигателей с малыми индуктивностями и собственными моментами инерции позволил расширить полосу пропускания регулятора тока до 1000 Гц и регулятора скорости до 100 Гц и более. Все вышеперечисленные причины привели к тому, что существующие механические резонансы на подвижных узлах станков вошли в полосу пропускания регуляторов, чего не было в аналоговых электроприводах. Выход из создавшегося положения – ужесточение требований к жесткости механической конструкции (повышение собственной частоты) , что не всегда возможно ,особенно, при модернизации старого оборудования. Другой подход – ограничение полосы пропускания регуляторов, тоже не совсем логичен. Рассматривая данную ситуацию, все фирмы-производителя электроприводов для станкостроения, пришли к выводу, что оптимальным решением является введение корректирующих звеньев в прямую ветвь управления. Наиболее простым методом – фильтры, установленные между регулятором скорости и тока, поэтому их и назвали "Токовыми".

Данный документ не претендует на академическую работу, а содержит сугубо практические рекомендации на основании настройки электропривода CSD-DH-NYS ф. Балт-Систем (далее ЭП) в качестве ЭП подачи линейной оси Z (движение стола по направляющим станины) фрезерного станка модели 2622 производства ф. ТБС, а также исследования на специальном стенде. Рекомендации носят отнюдь не исключительный случай – практика показала, что и на других станках имеются такие же резонансы и , приблизительно, на таких же частотах. Подытоживая наш опыт , возможны два, ярко выраженные, резонансы на частотах от 150 до 800Гц, хотя чаще встречается только один в диапазоне 200-400 Гц. Более конкретно, это упругость шарико-винтовой пары, связывающей вращательное движение ЭД и поступательное движение исполнительного узла. Такой случай и рассматривается ниже.

В качестве силового преобразователя использовался CSD-DH30 (номинальный ток 30 А), электродвигатель 215NYS-L1-20 на стенде (номинальный момент 40 Нм при номинальной скорости 2000 об/мин) и электродвигатель HM18-45.0-015 на станке (номинальный момент 45 Нм при номинальной скорости 1500 об/мин).

.

ВНИМАНИЕ! Данная инструкция предназначена для стандартной настройки ЭП в составе металлорежущего станка и не отражает необходимую и полную настройку в составе конкретного оборудования!

1. Предварительный пуск ЭП

Перед проведением работ по настройке ЭП необходимо визуально проверить комплектность , монтаж и электропроводку согласно схемам электрическим принципиальным и соединений, прилагаемым к металлорежущему станку.

Затем необходимо проверить исправность составных частей станка перед пуском и определить готовности их к пуску согласно руководству по эксплуатации станка.

Подать напряжение питания на ЭП и связаться с ним с помощью компьютера и программы Servo Monitor. Задать (проконтролировать) правильность установки параметров, определяющих ЭП и ЭД фактически уставленным на станке. Произвести включение и выключения станка и проверить режим аварийного выключения от аварийных кнопок и при наезде на конечные выключатели (если они имеются).

ВНИМАНИЕ! Тесты проводились на двух испытательных механизмах : на станке 2622 и на стенде. Резонанс на станке наблюдался на частоте 246 Hz , а на стенде – 275 Hz. В каждом конкретном тесте указано, в каком месте он проводился.

2. Настройка ЭП

2.1. Общие замечания.

- Если не указано дополнительно, то параметры ЭП и ЭД были установлены "по умолчанию", т.е. рекомендованные изготовителем, без оптимизации настройки контуров регулирования.
- последовательность настройки – в соответствии с данным документом, т.е. сначала настраивается регулятор тока, затем скорости и в конце - регулятор положения (если он имеется).
- настройка регуляторов тока и скорости ЭП производится при отключённом регуляторе положения (ЧПУ). Особенно внимательно необходимо быть при настройке неуравновешенных вертикальных осей и осей с механическим зажимом (тормозом).
- некоторые тесты предполагают большие скорости вращения ЭД, поэтому перед проведением настройки необходимо вывести контролируемые оси в безопасное положение , например , в середину хода.

ВНИМАНИЕ! В некоторых тестах возможны незатухающие колебания скорости (резонанс). Поэтому надо быть предельно аккуратным и незамедлительно отключить ЭП.

2.2 Настройка регулятора тока

Параметры регулятора тока определяются электромеханическими данными ЭД и силовой частью ЭП. Поэтому обычно настройки не требуется, необходимо лишь проконтролировать окончательные АЧХ и ФЧХ.

2.2.1 Окончательная АЧХ и ФЧХ регулятора тока (тест проводился на стенде)

Установить параметры регулятора тока по умолчанию :

- $К_р$ – пропорциональный коэффициент (параметр ***p304***), значение по умолчанию 12 можно увеличить до 18-20, но не более.
- $К_i$ – интегральный коэффициент (***p305***), значение по умолчанию 5мсек.

  $k_p = 20\frac{A}{V} \quad k_i = 5ms$.

Контролируемые данные :

- заданное значение тока на входе регулятора тока IqsetAF , А
- актуальное значение тока Iqact , А

Заданное воздействие :

- наброс заданного тока в виде Чирп-сигнала Iqset , А
- частота 0-1000 Гц
- амплитуда – 10А

Время измерения :

- зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 512 мсек)
- период съема данных 0,25 ms

Результат настройки :

- после преобразования Фурье контролируемых данных получаем АЧХ и ФЧХ (рис.2.2.1). Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

  Получаем : полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ $Fbw = 900$ Гц
  и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-160˚=20˚.

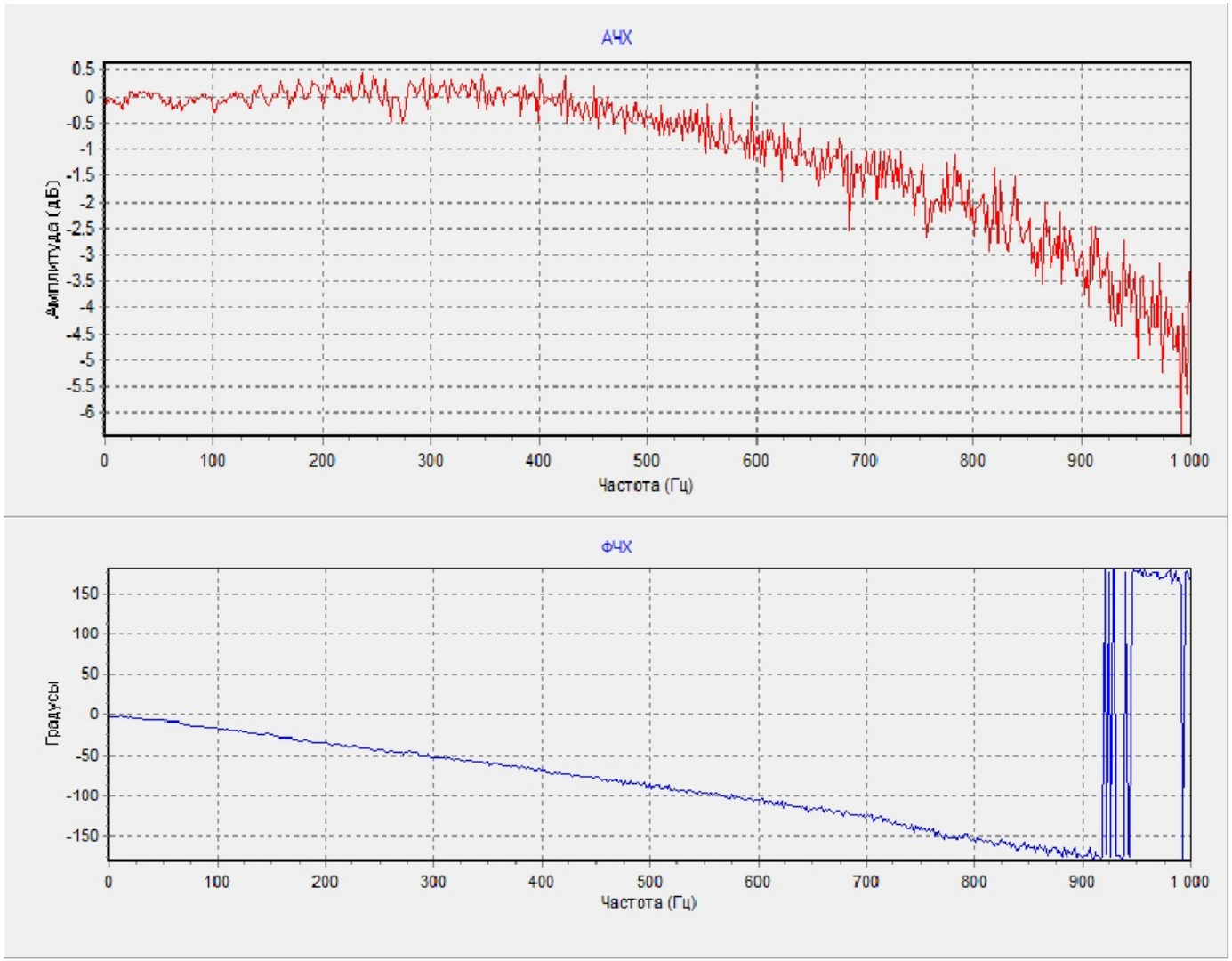

Рисунок 2.2.1 Предварительная АЧХ и ФЧХ регулятора тока при $k_p = 20\frac{A}{V}$ $k_i = 5ms$

2.2.2 Определение резонансного явления (тест проводился на стенде)

Практически это повтор предыдущего теста 2.2.1 со снятием дополнительного значения фактической скорости ЭД.

Контролируемые данные :

- заданное значение тока на входе регулятора тока IqsetAF , А
- актуальное значение тока Iqact , А
- актуальное значение скорости ЭД NactBF , об/мин

Заданное воздействие :

- наброс заданного тока в виде Чирп-сигнала Iqset , А
- частота 0-1000 Гц
- амплитуда – 10А

Время измерения :

- зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 512 мсек)
- период съема данных 0,25 ms

Результат настройки :

- контролировать отсутствие возбуждения актуального значения скорости ЭД NactBF

Данный тест необходим, если

- имеются подозрения на присутствие резонансов на станке
- ЭП пускается в первый раз

Ниже приведены графики при : $k_p = 20\frac{A}{V}$

Наблюдаем увеличение актуального значения скорости ЭД NactBF (резонанс) на неопределенной частоте (рис.2.2.2). Чтобы приблизительно определить эту частоту, необходимо учесть, что входная частота тока изменяется по линейному закону от 0 до 1000 Гц за время 512 мсек. Тогда , если максимум скорости (на резонансе) имеется во время 152 мсек, то $Fr = 299\ \text{Гц}$.

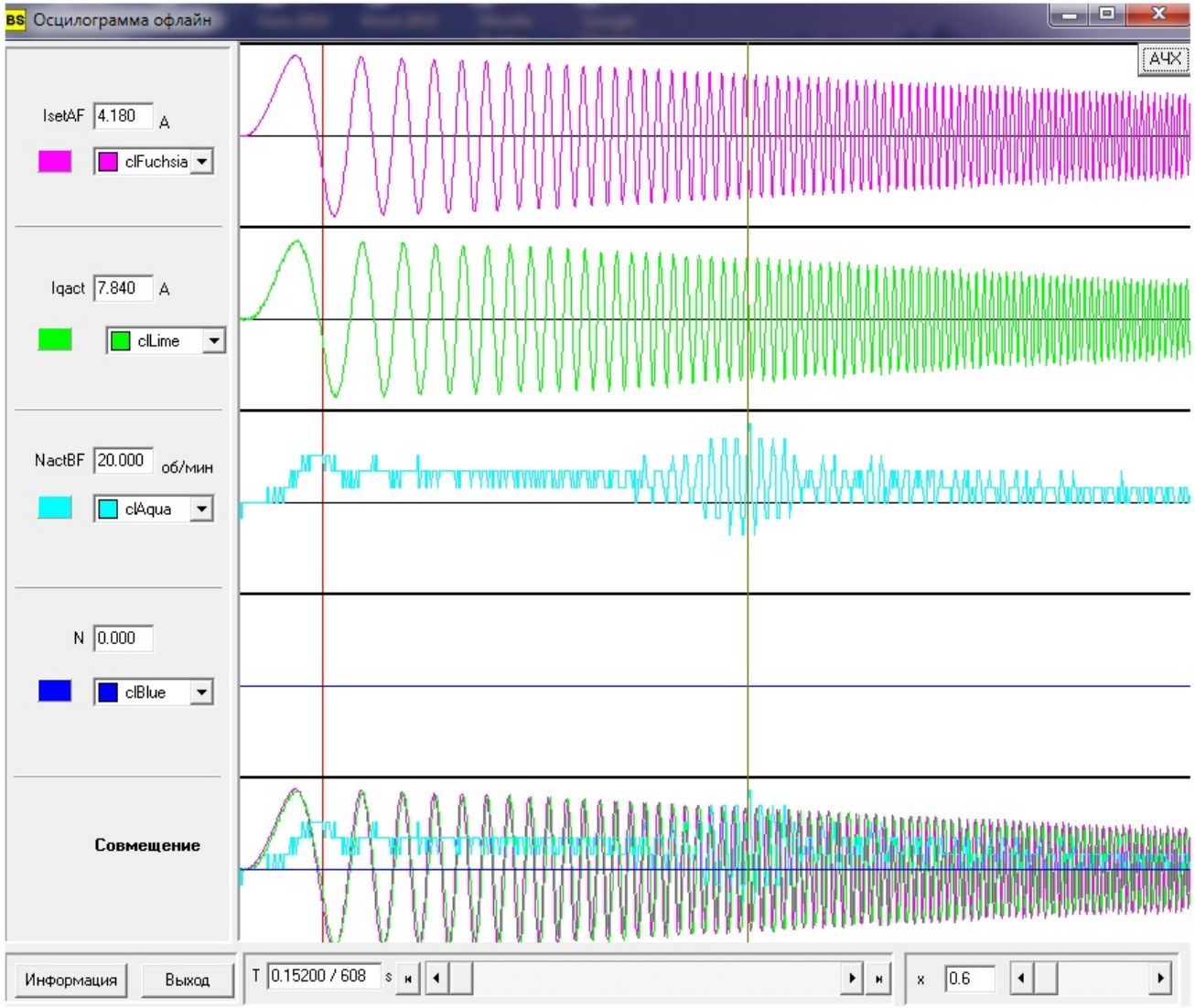

Рисунок 2.2.2 Наброс чирп-сигнала на вход регулятора тока IqsetPI при Kp=20 A/V

2.3 Настройка регулятора скорости

2.3.1 Предварительная АЧХ и ФЧХ регулятора скорости (тест проводился на станке 2622)

Установить параметры регулятора скорости по умолчанию :

- K_p – пропорциональный коэффициент (***p404***)
- K_i – интегральный коэффициент (***p405***)
- Kpd - Псевдо дифференциальная составляющая регулятора (***p406***)

$$k_p = 150\ s^{-1} \quad k_i = 30ms \quad k_{pd} = 100\% \ .$$

ВНИМАНИЕ! При работе ЭП под управлением ЧПУ (имеется регулятор положения) параметры ЭП "***p402/p403*** Слоп ускорения и замедления" должны быть равны 0.

Контролируемые данные :

- заданное значение скорости на входе регулятора скорости NsetPI , об/мин
- актуальное значение скорости ЭД NactBF , об/мин
- актуальное значение тока Iqact , А

Заданное воздействие :

- наброс заданной скорости в виде Чирп-сигнала Nset , об/мин
- частота 0-500 Гц
- амплитуда – 70 об/мин

Время измерения :

- зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 1024 мсек)
- период съема данных 0,5 ms

Результат настройки :

- контролировать отсутствие ограничения тока Iqact
- после преобразования Фурье контролируемых данных получаем АЧХ и ФЧХ. Наблюдаем подъем АЧХ на +18дБ на частоте 246 Гц (рис.2.3.1а).
  Это и есть резонанс !

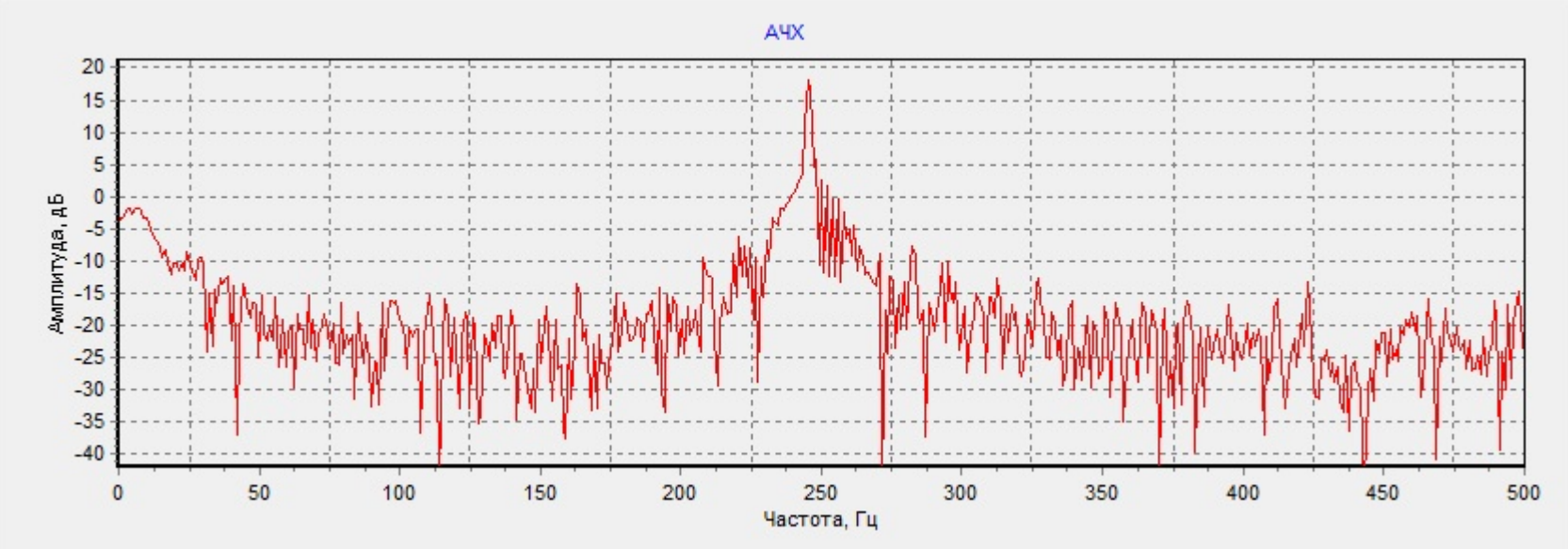

Рисунок 2.3.1 Предварительная АЧХ и ФЧХ регулятора скорости при $k_p = 150\ s^{-1}$

2.3.2 Ступенчатое задание скорости (тест проводился на станке 2622)

Данный тест лишь подтверждает наличие резонанса на станке. В общем случае, его можно не проводить.

Параметры регулятора скорости аналогичны п.2.3.1.

Контролируемые данные :

- заданное значение скорости на входе регулятора скорости NsetPI , об/мин
- актуальное значение скорости ЭД NactBF , об/мин
- заданное значение тока после фильтра IqsetAF , А
- актуальное значение тока Iqact , А

Заданное воздействие :

- ступенчатый наброс заданной скорости Nset , об/мин
- период 200мсек, длительность 100 мсек
- амплитуда – 70 об/мин
- количество повторений - 1

Время измерения :

- период съема данных 0,5 ms

Результат настройки :

- контролировать отсутствие ограничения тока Iqact
- Наблюдаем пульсации актуальной скорости и тока .

После снятия сигнала задания, пульсации продолжаются. Система вошла в автоколебательный режим !

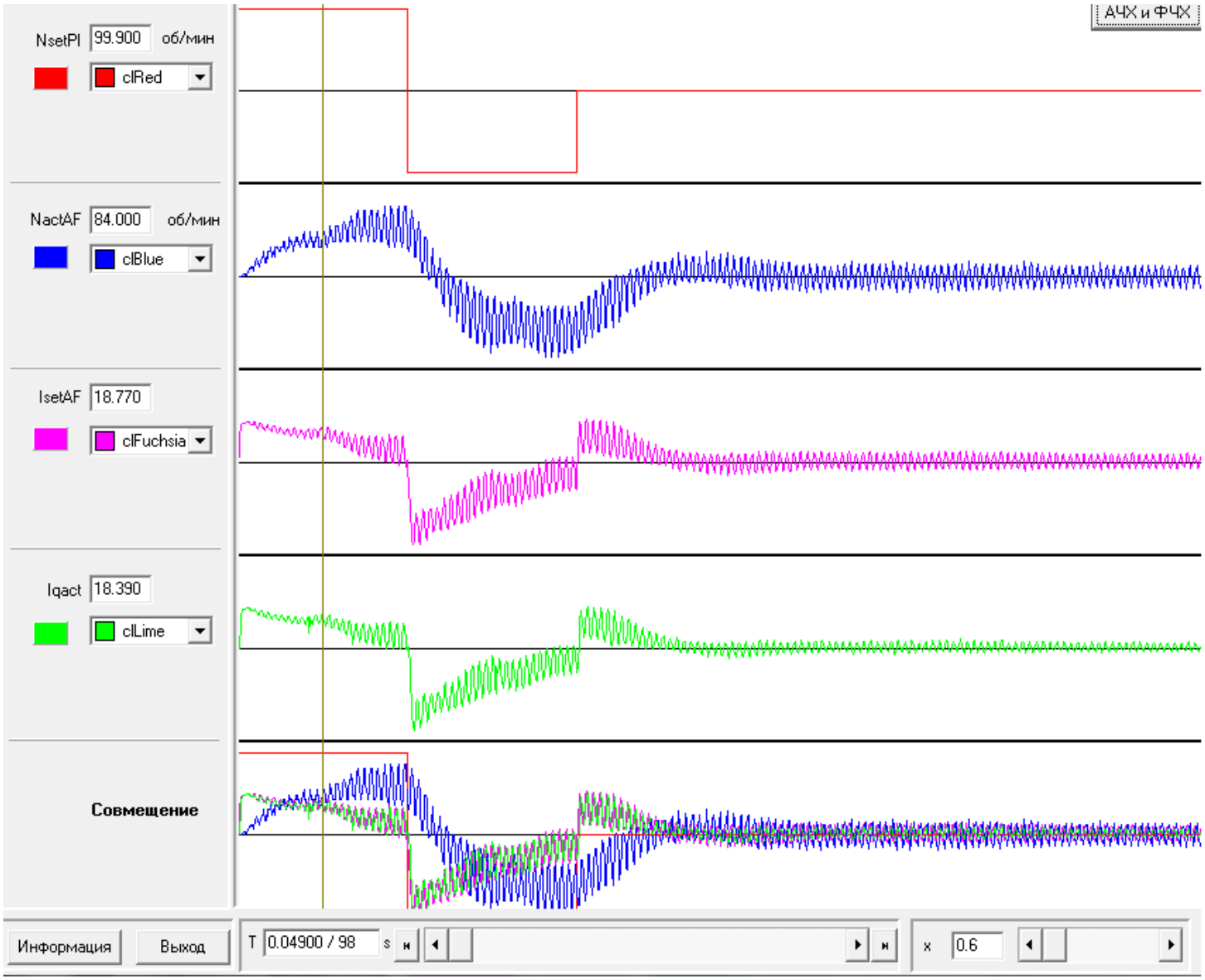

Рисунок 2.3.2 Ступенчатое задание скорости скорости при $k_p = 150\ s^{-1}$

2.3.3 Внедрение токового фильтра для ликвидации резонанса (тест проводился на станке 2622)

Установить параметры регулятора скорости :

$k_p = 150\ s^{-1} \quad k_i = 30ms \quad k_{pd} = 100\%$.

Установить параметры 1-го токового фильтра (выбираем полосно-задерживающий фильтр) :

- $\boldsymbol{f_d}$ – собственная частота фильтра (параметр ***p321***)
- $\boldsymbol{q}$ – добротность фильтра (***p322***)

$f_d = 246\ Hz\ ,\ q = 2$

Повторяем предыдущий тест 2.3.1.

Результат настройки :

- контролировать отсутствие ограничения тока Iqact
- корректируя $\boldsymbol{f_d}$, добиться отсутствия резонанса. Изменяя $\boldsymbol{q}$ **,** сделать наиболее плавную (без выбросов) характеристику АЧХ в районе частоты фильтра (рис.2.3.3).

Полоса пропускания регулятора скорости равна 9 Гц.

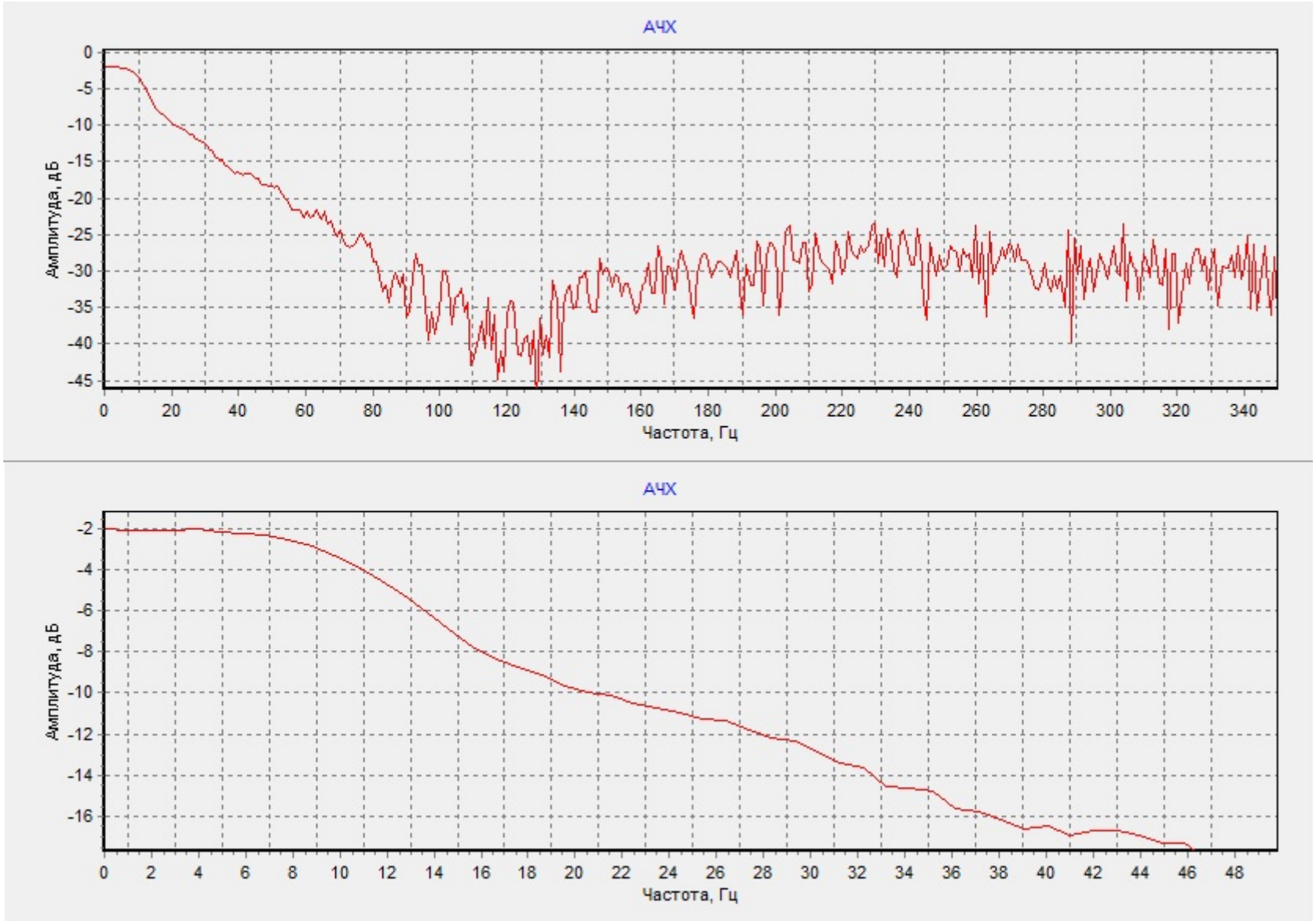

Рисунок 2.3.3 АЧХ регулятора скорости при $k_p = 150\ s^{-1}$ и 1-го полосно-задерживающего фильтра

2.3.4 Увеличения полосы пропускания регулятора скорости (тест проводился на станке 2622)

Возможно увеличить пропорциональную и уменьшить интегральную составляющие :

$$k_p = 400\ s^{-1} \quad k_i = 20ms$$

Повторяем предыдущий тест , результат на рис.2.3.4.

Результат настройки :

- контролировать отсутствие ограничения тока Iqact
- отсутствие резонанса.
- определить частоту, на которой ФЧХ становиться равной -180 градусов (80 Гц). Необходимо, чтобы на частотах , выше этой, АЧХ не превышала уровень – 10дБ. Полоса пропускания Fbw=27 Гц
- на частотах в полосе пропускания добиться отсутствия подъема АЧХ более 2-3 дБ
- Получаем полоса пропускания Fbw=27 Гц

Таким образом, полоса пропускания регулятора скорости увеличена с 9 до 27 Гц при отсутствии резонанса.

2.4 Окончательная АЧХ и ФЧХ регулятора тока с токовым фильтром (тест проводился на станке 2622)

Данный тест проводился для сравнения с тестом п.2.2.1, который проводился на стенде, а ,также, для визуализации работы токового фильтра. В общем случае, его можно не проводить.

Установленные параметры регулятора тока :

$$k_p = 18\frac{A}{V} \quad k_i = 5ms$$

Контролируемые данные :

- заданное значение тока на входе регулятора тока IqsetAF , А
- актуальное значение тока Iqact , А

Заданное воздействие :

- наброс заданного тока в виде Чирп-сигнала Iqset , А
- частота 0-1000 Гц
- амплитуда – 10А

Время измерения :

- зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 512 мсек) период съема данных 0,25 ms

Результат настройки :

- после преобразования Фурье контролируемых данных получаем АЧХ и ФЧХ (рис.2.3.5). Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем : полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ Fbw=550 Гц
и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-130˚=50˚.

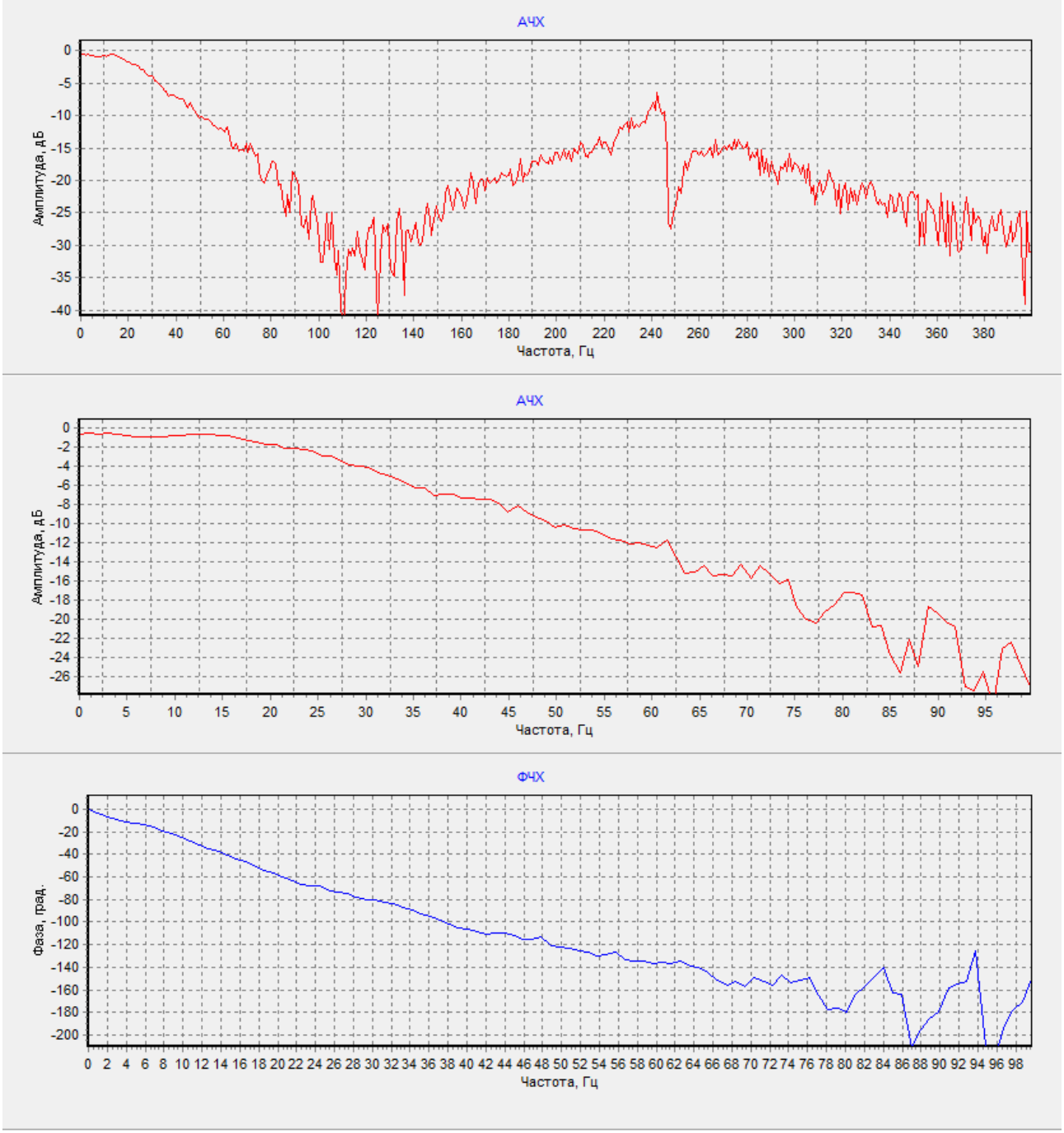

Рисунок 2.3.4 АЧХ регулятора скорости при $k_p = 400\ s^{-1}$ и 1-го полосно-задерживающего фильтра

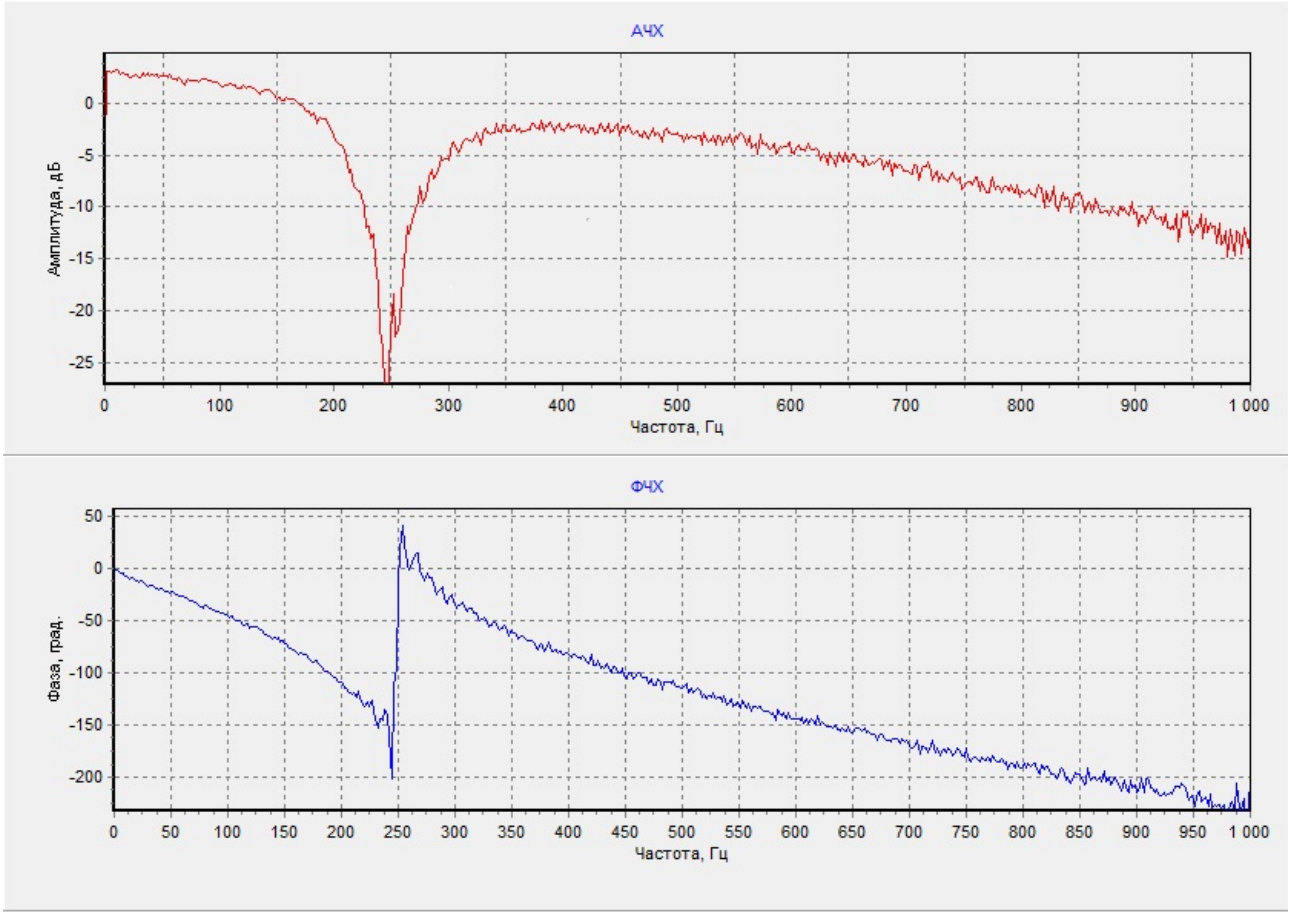

Рисунок 2.4 АЧХ и ФЧХ регулятора тока при $k_p = 18\frac{A}{V}$ $k_i = 5ms$ и 1-го полосно-задерживающего фильтра

3. Выводы

Полосно-задерживающие токовые фильтры вполне успешно справляются с ярко выраженными резонансами в механике станков в диапазоне частот от 100 до 500-600 Гц.

Алгоритм настройки фильтров предельно прост и не требует длительного времени настройки. Сначала определяем наличие резонанса (или отсутствие). Затем по АЧХ регулятора скорости находим частоту резонанса (их может быть несколько). Включаем полосно-задерживающий токовый фильтр и настраиваем его на частоту резонанса. Убеждаемся, что резонанс побежден. Начинаем увеличивать пропорциональную составляющую регулятора тока до тех пор , пока не будут соблюдены два условия : АЧХ регулятора скорости в полосе пропускания не поднимается выше 2-3дб и , второе, АЧХ не превышает уровень – 10дБ на частотах выше той, на которой ФЧХ стала равна -180град.

На закономерный вопрос, почему приходится уничтожать резонанс на частоте 200-300 Гц и более при частоте пропускания контура скорости 30-100 Гц, нужно отметить следующее : снятая АЧХ регулятора скорости в п.2.3 – это АЧХ регулятора скорости **и механической нагрузки.** Полоса пропускания контура скорости значительно выше 30 Гц ! Чтобы ее получить, необходимо уменьшить момент инерции (ЭД и нагрузки) до 0. Для инженерных расчетов вполне достаточно оценить АЧХ регулятора скорости без нагрузки, только с ЭД, а это уже составляет 100-200 Гц. К тому же это по уровню -3дБ, более высокие частоты тоже пропускаются, и тут становится важным подъем АЧХ на резонансной частоте, о чем и говорит тест в п.2.3.1.