

# Текст выступления

## Слайд 1

Добрый день, уважаемые коллеги. Меня зовут Миронов Алексей. Сегодня я буду рассказывать про оценку полосы захвата для систем фазовой автоподстройки частоты третьего порядка.

## Слайд 2

Для начала разберем что такое система фазовой автоподстройки частоты и принцип ее работы. Система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) — система с обратной связью, подстраивающая частоту сигнала генератора, управляемого напряжением (ГУН) под частоту опорного сигнала.

На слайде представлена схема ФАПЧ. Опорный сигнал вместе с сигналом с генератора, управляемого напряжением (ГУН) поступает в фазовый детектор. Фазовый детектор сравнивает частоты сигналов и на выходе получается сигнал следующего вида:  $\sin(\omega_e t)$ . Здесь синус называется характеристикой фазового детектора. Далее выходной сигнал фазового детектора поступает на вход фильтра нижних частот, который является линейным блоком и может быть описан передаточной функцией  $W(s)$ . Выход фильтра поступает на вход генератора, управляемого напряжением, и происходит подстройка частоты ГУН.

Системы фазовой автоподстройки частоты широко применяются в различных системах, таких как телекоммуникационное оборудование, навигационное оборудование (GPS, ГЛОНАСС, Галилео). Также системы ФАПЧ применяются в компьютерах. Системы фазовой автоподстройки частоты нашли широкое применение и в военной индустрии. Например, военными был разработан метод попеременной смены частоты сигнала для того, чтобы сигнал было сложнее заглушить. Для реализации такого метода также применяется система фазовой автоподстройки частоты.

### Слайд 3

На слайде представлена система дифференциальных уравнений описывающих ФАПЧ.  $A$  — постоянная матрица  $n \times n$ ,  $B$  и  $C$  постоянные  $n$  — мерные векторы,  $D$  — константа,  $x(t)$  —  $n$ -мерный вектор состояний системы,  $K_{vco}$  — коэффициент передачи. Параметр  $\gamma$  определяется следующим образом. Где  $\omega_e^{free} = \omega_{ref} - \omega_{vco}^{free}$  — разность частоты опорного сигнала и частоты свободных колебаний ГУН.

### Слайд 4

Введём определение полосы захвата. Полоса захвата — максимальная разность по модулю частот опорного сигнала и ГУН  $|\omega_p|$  такая, что система дифференциальных уравнений ФАПЧ глобально асимптотически устойчива для всех  $0 \leq |\omega_e^{free}| < |\omega_p|$ .

Задача: оценить полосы захвата для передаточных функций фильтров, представленных на слайде.

### Слайд 5

В 1992 году Ленов Г. А., Райтман Ф., Смирнова В. Б. доказали теорему, приведенную на слайде. Пусть пара  $(A, B)$  вполне управляема, все собственные значения матрицы  $A$  имеют отрицательные вещественные части и существуют числа  $\varepsilon > 0$ ,  $\delta > 0$ ,  $\tau \geq 0$ , и  $\varkappa$ , такие что имеют место неравенства. Тогда система, представленная на слайде глобально асимптотически устойчива.

### Слайд 6

Для получения оценок полосы захвата необходимо выбрать  $\varepsilon$ ,  $\delta$ ,  $\varkappa$ ,  $\tau$ , удовлетворяющие первому условию теоремы так, чтобы максимизировать  $\nu$ . Из соотношений, приведенных на слайде, получим максимальный  $\omega_e^{free}$ , при котором система глобально асимптотически устойчива.

### Слайд 7

Для первой передаточной функции была найдена оценка полосы захвата. На слайде представлены два графика: слева — численная оценка  $\nu^2$ , полученная в MATLAB при помощи функции `fmincon`, справа — график функции  $\nu^2$  построенной по аналитической оценки.

Для второй передаточной функции была найдена оценка полосы захвата. На слайде представлен график зависимости  $\nu^2$  от  $\tau_{p1}$  и  $\tau_{z1}$ . Красным цветом представлена численная оценка  $\nu^2$  согласно 1 и 2 условиям теоремы в MATLAB с помощью функции `fmincon`. Синим цветом представлен график  $\nu^2$ , полученный из второго условия теоремы при справедливости первого условия теоремы. Из графика видно, что аналитическую оценку можно улучшить поскольку график аналитической оценки  $\nu^2$  расположен ниже численной.

### Слайд 8

Рассмотрим третью передаточную функцию. Система ФАПЧ с фильтром описываемым такой передаточной функцией исследовалась Леоновым Г. А. и Кузнецовым Н. В. Для нее был восстановлен вывод оценки после захвата.