

План курса «Обратная связь в электронике»

Речистов Григорий

16 ноября 2008 г.

1 Введение

Цель курса – ознакомить слушателей с основами теории и примерами практического применения обратной связи в электронике, технике, задачах управления.

После успешной сдачи курса слушатели будут обладать следующими навыками:

1. Давать определение обратной связи в электронике и в системах общего типа.
2. Различать положительную и обратную связь, знать, как влияет каждая из них на поведение системы.
3. Знать четыре типа ООС в электронике и их характерные качества.
4. Иметь представление об условии генерации системы, охваченной ПОС. Знать методы борьбы с нежелательной генерацией.
5. Определять, каким образом необходимо модифицировать некоторую систему с помощью обратной связи для придания ей необходимых качеств.
6. Понимать назначения узлов схемы при выполнении исследовательской работы «Лазерофон».

Целевая аудитория: школьники 10 и 11 классов.

Необходимый уровень знаний: школьный курс «Электричество».

Длительность курса: один цикл.

2 План курса

2.1 День 1

- Определение понятия ОС. Блок-схема усилителя и ОС.
- Широта понятия: **TODO** Найти примеры в литературе, свист из динамиков при поднесении микрофона, прецедент патента на ООС.
- Задачи, описываемые с использованием понятия ОС
 - Расчёт усилительных каскадов

- Расчёт генераторов (проще, чем решать нелинейный дифур)
 - Моделирование социальных явлений
 - Моделирование экономических явлений
 - Кибернетика **TODO** Заботать
 - Биология
 - **TODO** что ещё?
- Пример усилителя на ОУ, охваченного ООС. Выписывание (без доказательств) формулы для коэффициента усиления при низких частотах. Демонстрация (без вывода) ВАХ, обозначение факта расширения полосы усиления.
 - Пример генератора на ОУ, охваченным ПОС. Графики зависимости напряжения от времени в различных точках схемы. Объяснение (на пальцах), почему возникает генерация.

2.2 День 2

Введение понятий для исследуемой схемы

- Коэффициент усиления, метод измерения K .
- Входное сопротивление. Эквивалентная схема входа и измерение r_{in} .
- Выходное сопротивление. Эквивалентная схема выхода и измерение r_{out} .
- Понятие АЧХ, ФЧХ, эти характеристики как составляющие одного $K(\omega) \in \mathbb{C}$. Полоса усиления. Особенности поведения АЧХ и ФЧХ для физически осуществимых схем: характер спада при $\omega \rightarrow \infty$, наклон $\phi(\omega)$ как следствие казуальности.

Теоретический расчёт параметров для схемы из лекции 1 Вывод формул для K , r_{in} , r_{out} , $K(\omega)$, ΔF . Упоминание об уменьшении коэффициента нелинейных искажений при использовании ООС **TODO** Найти доказательство.

Быстрая и сердитая оценка усиления ОУ Большие коэффициенты усиления ОУ и малые входные токи \Rightarrow принцип виртуального замыкания входов, «стремление» ОУ уравнивать потенциалы на входах.

2.3 День 3

Типы ООС Последовательные и параллельные ООС по току и напряжению, критерии определения (исчезновение влияния при коротком замыкании и холостом ходе). Формулы для изменившихся под влиянием связи параметров. Указать на различный характер изменений, вносимых каждым типом связи. Доказательство некоторых из приведённых утверждений.

Примеры схем различных ООС

- Для усилителя-четырёхполосника.
- Для биполярного транзистора с тремя ногами¹. Кратко привести зависимость выходного тока от входного тока, выбор рабочей точки, упомянуть о методах стабилизации рабочей точки с помощью той же обратной связи.

2.4 День 4

Фаза сигнала как комплексный множитель и как «запаздывание» сигнала. Фазовые характеристики $K(\omega)$ и $\beta(\omega)$.

$K \cdot \beta$ – петлевое усиление. Определение типа ОС через характеристики петлевого усиления.

Обращение усиления в бесконечность как признак возникновения генерации. Годограф петлевого усиления. Вывод критерия Найквиста устойчивости усиления². Годограф для однокаскадного, двухкаскадного и трёхкаскадного усилителей, АЧХ, подтверждающие выводы, полученные из анализа годографов.

2.5 День 5

Положительная обратная связь Малые флуктуации в элементах цепи – причина возникновения генерации. Ограниченность применимости выводов предыдущей лекции для модели слабых сигналов. Для сильных сигналов необходимо решать очень сложный дифур или использовать условия баланса фаз и амплитуд:

$$K(U_{stable}) \cdot \beta = 1$$

или эквивалентные

$$|K(U_{stable})| |\beta| = 1$$

$$\arg K + \arg \beta = 2\pi n$$

Выполнение условий баланса фаз и амплитуд не гарантирует условий возникновения генерации, иногда необходимо «подтолкнуть» генератор.

3 Вопросы для зачёта

- Схемы интегратора и дифференциатора на ОУ (скорее ещё один вопрос для объяснения, задача для самостоятельного решения может быть дана только тому, кто понимает, что такое спектр и интегрирование по частям несобственного интеграла)
- Расчёт параметров ОС для получения необходимых характеристик усилителя (выбор вида ОС и расчёт – по формулам из лекции 3)

Определить, на какой частоте будет генерировать цепь (применить критерий Найквиста) **TODO** Подготовить значения K и β .

¹Если успею

²Можно не выводить, но объяснить, что это такое и как он используется для теоретической оценки условий генерации

- Расчёт схемы исходя из принципа виртуального замыкания (инвертирующий сумматор)
- Расчёт параметров усилителя на ОУ в инвертирующем включении.
- Определить, какой тип ООС использован в схеме (использовать признаки типа ОУ из лекции 3)
- Предложить школьнику рассчитать коэффициент усиления триггера Шмидта. Когда у него это не получится, объяснить неприменимость принципов равенства потенциалов на входе для ПОС, объяснить бистабильность схемы, попросить рассчитать напряжения переключения.
- **TODO**

Список литературы

- [1] А.Л. Ларин. Аналоговая электроника. Учебно-методическое пособие МФТИ 2007.