



ПРОФ. РУДЕНКО В.Н., СИС ГУСЕВ А.В.

Радиофизика

Дисклеймер

Черновая версия: возможно большое количество различного рода ошибок!

Содержание

Место курса. История радиофизики.	4
1 Линейные радиотехнические цепи.	5
1.1 Условие квазистационарности.	5
1.2 Линейные элементы цепей.	5
1.3 Источники энергии.	6
1.4 Уравнения простейших линейных цепей.	6
1.5 Метод комплексных амплитуд (МКА).	6
1.6 Расчет цепей методом комплексных амплитуд.	6
1.7 Метод преобразования Лапласа. Расчёт переходных режимов.	6
1.8 Последовательный колебательный контур.	6
1.9 Параллельный колебательный контур.	6
1.10 Осциллятор в радиофизике.	6
1.11 Метод ММА — в гармоническом приближении.	6
1.12 Линейные четырёхполюсники.	6
1.13 Связанные колебательные контуры.	6
2 Сигналы и спектры.	7
2.1 Спектр непериодического сигнала.	7
2.2 Спектр периодического сигнала.	7
2.3 Спектр периодической последовательности видео- и радиоимпульсов.	7
2.4 Свойства спектров. Спектральный анализ линейных систем.	7
2.5 Конечные аппроксимации сигналов и спектров.	7
2.6 Оцифровка аналоговых сигналов. Теорема Котельникова.	7
2.7 Дискретное преобразование Фурье. Ошибка оцифровки.	7
3 Флуктуации в радиофизике.	8
3.1 Случайные процессы /Методы описания. Понятие плотности вероятности.	8
3.2 Свойства корреляционной функции стационарного процесса.	8
3.3 Теорема Винера–Хинчина.	8
3.4 Типы шумов в радиоэлектронных цепях. Их спектральные плотности.	8
3.5 Прохождение случайных сигналов через линейные цепи.	8
3.6 Броуновский осциллятор.	8
4 Нелинейные цепи.	9
4.1 Нелинейные элементы радиочепей.	9
4.2 Аппроксимация нелинейных характеристик.	9
4.3 Воздействие узкополосного сигнала на нелинейную цепь.	9
4.4 Воздействие бигармонического сигнала.	9
4.5 Детектирование амплитудно-модулированного сигнала.	9
4.6 Резонанс в нелинейном контуре.	9
4.7 Преобразование частоты сигнала.	9
5 Цепи с переменными параметрами.	10
5.1 Принцип параметрического возбуждения осциллятора.	10
5.2 Математическая теория параметрического осциллятора.	10
5.3 Эквивалентная схема параметрического контура.	10
5.4 Параметрические цепи в радиотехнике.	10
5.5 Соотношения Мэнли-Роу.	10
5.6 Вырожденный параметрический усилитель.	10
5.7 Шумы параметрических усилителей.	10

6	Усиление электромагнитных сигналов.	11
6.1	Усилитель как активный четырёхполюсник.	11
6.2	Измерение усиления в децибелах.	11
6.3	Типы управляющих элементов.	11
6.4	Элементарные усилительные ячейки на биполярном транзисторе.	11
6.5	Типы усилителей: широкополосные, резонансные, полосовые.	11
6.6	Согласование каскадов; усилитель – повторитель (катодный, эмиттерный).	11
6.7	Шумы усилителей. Шумовая температура, шум-фактор.	11
6.8	Оптимизация каскадов по мощности и по отношению сигнал/шум.	11
7	Генерация электромагнитных сигналов.	12
7.1	Усилители с отрицательной обратной связью.	12
7.2	Положительная обратная связь, условия самовозбуждения.	12
7.3	LC-генератор гармонических колебаний.	12
7.4	Импульсные генераторы, мултивибратор.	12
7.5	RC-генераторы гармонических колебаний, генератор Вина.	12
7.6	Мягкий и жесткий режимы генерации.	12
7.7	Ширина линии генерации.	12
8	Выделение сигнала из шума.	13
9	Цепи с распределёнными параметрами.	14
9.1	Понятие распределённых радиофизических систем.	14
9.2	Двухпроводные линии, коаксиальные кабели, волноводы.	14
9.3	Формулы погонных параметров.	14
9.4	Телеграфные уравнения длинных линий, волновое уравнение.	14
9.5	Линия с отражениями, режимы работы.	14
9.6	Длинная линия как четырёхполюсник, z-параметры.	14
9.7	Линия с комплексной нагрузкой, входное сопротивление.	14
9.8	Волны в длинной линии, вынужденные колебания и резонансы.	14
9.9	Телеграфные уравнения для волновода.	14
9.10	Дисперсионное уравнение, фазовая и групповая скорости.	14
10	Антенны.	15
10.1	Физические принципы излучения и приема ЭМ волн.	15
10.2	Дипольная и рамочная антенны.	15
10.3	Влияние земли и несимметричный вибратор.	15
10.4	Понятия сопротивления излучения и эффективной площади.	15
10.5	Мультидипольные решетки. Диаграмма направленности.	15
10.6	Зеркальные антенны (параболоиды).	15
10.7	Большие антенны радиоастрономии (РАТАН-600, Аресибо, АКЦ Пуццино).	15
10.8	Общая схема радиосвязи.	15

Введение

Место курса. История радиофизики.

Роль радиофизики в развитии астрономии.

1 Линейные радиотехнические цепи.

1.1 Условие квазистационарности.

В общем случае электрические сигналы, проходя по цепям, изменяются во времени:

$$i = i(t), \quad u = u(t), \quad \Phi = \Phi(t) \text{ и т.д.}$$

В окружающем пространстве имеется электромагнитное поле в виде электромагнитной волны, возникающей при переменных токах, зарядах и др. Волны несут информацию об "изменениях" в соседних точках цепи, что описывается функциями вида

$$f = f\left(t - \frac{x}{v}\right),$$

где v — скорость электромагнитной волны в данной среде, x — пространственная координата. Пусть τ_0 — характерное время изменения сигнала. Тогда, если $x \ll v\tau_0$ ($0 \leq x \leq L$), во всех точках приближенно можно считать функцию $f(t, x)$ одинаковой, т.е. независимой в данный момент t от координаты x :

$$f(t, x) \Big|_{x=0} \simeq f(t, x) \Big|_{x=vt} \simeq f(t).$$

Другими словами, мы пренебрегаем эффектами запаздывания. Если L — характерный размер цепи, тогда требуется:

$$x_{max} = L \ll v\tau_0 = \lambda \quad (\text{для гармонического сигнала: } \tau_0 = \frac{2\pi}{\omega})$$

и "условие квазистационарности":

$$\boxed{L \ll \lambda} \quad \text{или} \quad \frac{\tau}{\tau_0} \ll 1,$$

где τ — время передачи информации.

Цепи, удовлетворяющие этому условию, называются сосредоточенными цепями. Пример: $\nu = 50$ Гц, $\lambda = c/\nu \simeq 6 \cdot 10^3$ км. Любая более короткая линия может считаться "сосредоточенной". Это, конечно, следствие низкой частоты.

1.2 Линейные элементы цепей.

Общим свойством простых сосредоточенных цепей является "линейность" т.е. подчинение принципу суперпозиции: реакция цепи на суммарный сигнал равна сумме реакций на каждый из сигналов в отдельности. Элементами таких цепей будут: сопротивление (резисторы), емкость (конденсаторы), индуктивность (катушки).

1. Сопротивление R .

Также вводится понятие проводимости $G = \frac{1}{R}$. Размерности $R = [\text{Ом}]$, $G = [\text{Ом}^{-1}]$. Связь тока, напряжения и сопротивления (закон Ома): $i = \frac{U}{R} = GU$. $P = Ui$ — мощность. $\Delta W_R = \int_0^t U i dt$ — энергия, выделяемая на резисторе за время от 0 до t .

По отношению к реальным сопротивлениям — это идеализация. Предполагается, что нет зависимостей $R(i)$ или $R(U)$ (в ином случае можно говорить о локальных R и G в окрестности точки $i = \text{const}$, их называют "дифференциальными" характеристиками: $R_\partial = \left. \frac{dU}{di} \right|_{i=0}$, $G_\partial = R_\partial^{-1}$). На практике зависимость

$R(i)$ может возникнуть, благодаря температурной вариации сопротивления $R(T)$: рост тока сопровождается нагревом и изменением R . Обычно на резисторе указывается предельно допустимая мощность, ниже которой "линейность" с заданной точностью гарантируется.

2. Ёмкость C .

Заряд $q = CU_C$. "Ток смещения": $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_C}{dt}$. Энергия, выделяемая за время от 0 до t : $W_C = \frac{1}{C} \int_0^t i dt$.

Вариация энергии: $\Delta W_C = W_C(t) - W(0) = \frac{C}{2} [U_C^2(t) - U_C^2(0)]$.

Здесь также предполагается $C = \text{const}$, т.е. нет зависимости $C(U)$. Примеры, когда это не выполняется: конденсатор с сегнетоэлектриком, рп-переход и др. Если $C = C(U)$, то при $U = U_0 = \text{const}$ вводят $C_\partial = \frac{dC}{dU}$.

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon(0)}{1 + \left(\frac{\varepsilon(0)}{4\pi}\right)^2 BE^2} - \text{постоянная материала, где } B = \text{const}, E - \text{электрическое поле. Тогда, } C_U = \frac{C(0)}{1 + bU^2}.$$

В линейных системах эти эффекты опускаются.

3. Индуктивность L .

Магнитный поток $\Phi = Li$. Напряжение $U = \frac{d\Phi}{dt} = L \frac{di}{dt}$. Выделяемая энергия на элементе $W_L = \frac{1}{2} Li^2$. Вариация энергии $\Delta W_L = \frac{L}{2} [i^2(t) - i^2(0)]$.

Для этого элемента также возможно $L = L(i)$. Например, для катушки с сердечником $\mu = \mu(i) \Rightarrow L_{\partial} = \frac{d\Phi}{di}$.

1.3 Источники энергии.

Это тоже элементы радиотехнических цепей: постоянные (батареи, аккумуляторы), переменные (генераторы). Эквивалентная схема источника должна содержать его внутреннее сопротивление.

Здесь известны два предельных случая ("две абстракции" или "идеализации"):

1. Генератор тока (идеальный источник тока). Внутреннее сопротивление велико по сравнению с сопротивлением внешней цепи (нагрузки): $R_i \gg R (G_i \rightarrow 0)$. Тогда, $i = \frac{U}{R_i + R} \simeq \frac{U}{R_i} = \text{const}$ — т.е. ток не зависит от R ! (источник снабжает нагрузку фиксированным током).
2. Генератор напряжения (идеальный источник напряжения). Внутреннее сопротивление мало по сравнению с сопротивлением внешней цепи: $R_i \ll R (R_i \rightarrow 0)$. Тогда, $i \simeq \frac{U}{R}$ или $U \simeq iR = U_0$ (напряжение, создаваемое во внешней цепи не зависит от нагрузки).

Реальные источники только приближенно могут быть отнесены к одному из этих генераторов.

1.4 Уравнения простейших линейных цепей.

1.5 Метод комплексных амплитуд (МКА).

1.6 Расчет цепей методом комплексных амплитуд.

1.7 Метод преобразования Лапласа. Расчёт переходных режимов.

1.8 Последовательный колебательный контур.

1.9 Параллельный колебательный контур.

1.10 Осциллятор в радиофизике.

1.11 Метод ММА — в гармоническом приближении.

1.12 Линейные четырёхполюсники.

1.13 Связанные колебательные контуры.

2 Сигналы и спектры.

2.1 Спектр непериодического сигнала.

2.2 Спектр периодического сигнала.

2.3 Спектр периодической последовательности видео- и радиоимпульсов.

2.4 Свойства спектров. Спектральный анализ линейных систем.

2.5 Конечные аппроксимации сигналов и спектров.

2.6 Оцифровка аналоговых сигналов. Теорема Котельникова.

2.7 Дискретное преобразование Фурье. Ошибка оцифровки.

3 Флуктуации в радиофизике.

- 3.1 Случайные процессы /Методы описания. Понятие плотности вероятности.**
- 3.2 Свойства корреляционной функции стационарного процесса.**
- 3.3 Теорема Винера–Хинчина.**
- 3.4 Типы шумов в радиоэлектронных цепях. Их спектральные плотности.**
- 3.5 Прохождение случайных сигналов через линейные цепи.**
- 3.6 Броуновский осциллятор.**

4 Нелинейные цепи.

- 4.1 Нелинейные элементы радиочепей.
- 4.2 Аппроксимация нелинейных характеристик.
- 4.3 Воздействие узкополосного сигнала на нелинейную цепь.
- 4.4 Воздействие бигармонического сигнала.
- 4.5 Детектирование амплитудно-модулированного сигнала.
- 4.6 Резонанс в нелинейном контуре.
- 4.7 Преобразование частоты сигнала.

5 Цепи с переменными параметрами.

- 5.1 Принцип параметрического возбуждения осциллятора.
- 5.2 Математическая теория параметрического осциллятора.
- 5.3 Эквивалентная схема параметрического контура.
- 5.4 Параметрические цепи в радиотехнике.
- 5.5 Соотношения Мэнли-Роу.
- 5.6 Вырожденный параметрический усилитель.
- 5.7 Шумы параметрических усилителей.

6 Усиление электромагнитных сигналов.

6.1 Усилитель как активный четырёхполюсник.

6.2 Измерение усиления в децибелах.

6.3 Типы управляющих элементов.

6.4 Элементарные усилительные ячейки на биполярном транзисторе.

6.5 Типы усилителей: широкополосные, резонансные, полосовые.

6.6 Согласование каскадов; усилитель – повторитель (катодный, эмиттерный).

6.7 Шумы усилителей. Шумовая температура, шум-фактор.

6.8 Оптимизация каскадов по мощности и по отношению сигнал/шум.

7 Генерация электромагнитных сигналов.

- 7.1 Усилители с отрицательной обратной связью.**
- 7.2 Положительная обратная связь, условия самовозбуждения.**
- 7.3 LC-генератор гармонических колебаний.**
- 7.4 Импульсные генераторы, мультивибратор.**
- 7.5 RC-генераторы гармонических колебаний, генератор Вина.**
- 7.6 Мягкий и жесткий режимы генерации.**
- 7.7 Ширина линии генерации.**

8 Выделение сигнала из шума.

9 Цепи с распределёнными параметрами.

- 9.1 Понятие распределённых радиофизических систем.
- 9.2 Двухпроводные линии, коаксиальные кабели, волноводы.
- 9.3 Формулы погонных параметров.
- 9.4 Телеграфные уравнения длинных линий, волновое уравнение.
- 9.5 Линия с отражениями, режимы работы.
- 9.6 Длинная линия как четырёхполюсник, z -параметры.
- 9.7 Линия с комплексной нагрузкой, входное сопротивление.
- 9.8 Волны в длинной линии, вынужденные колебания и резонансы.
- 9.9 Телеграфные уравнения для волновода.
- 9.10 Дисперсионное уравнение, фазовая и групповая скорости.

10 Антенны.

- 10.1 Физические принципы изучения и приема ЭМ волн.
- 10.2 Дипольная и рамочная антенны.
- 10.3 Влияние земли и несимметричный вибратор.
- 10.4 Понятия сопротивления излучения и эффективной площади.
- 10.5 Мультидипольные решетки. Диаграмма направленности.
- 10.6 Зеркальные антенны (параболоиды).
- 10.7 Большие антенны радиоастрономии (РАТАН-600, Аресибо, АКЦ Пуццино).
- 10.8 Общая схема радиосвязи.

Приложение

тут что-то важное