

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: $R_\partial = \frac{dU}{di} \Big|_{i=0}$, $G_\partial = R_\partial^{-1}$). 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 $C_\partial = \frac{dq}{dU}$.

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

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.