

**Балтийская государственная академия  
рыбопромыслового флота**

**Кафедра СРТС**

**Прием и обработка сигналов**

**Лекция № 6**

**Коэффициент шума РПУ**

# 1. Общие положения

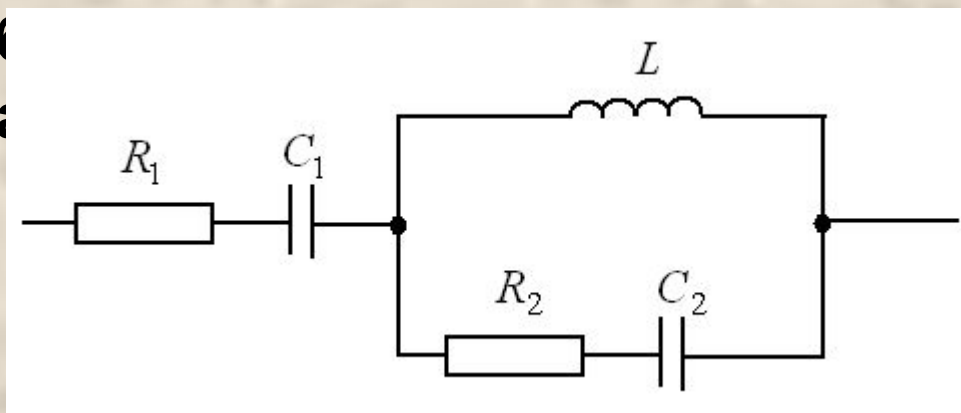
## Основные источники шумов в РПУ:

- **тепловые шумы резистивности**, возникающие вследствие хаотического движения электрически заряженных частиц проводящего вещества;
- **шумы параллельного контура**, причиной которых служит комплексный характер сопротивления (проводимости) контура, зависящий от частоты настройки;
- **шумы электронных ламп**, возникающие вследствие непостоянства эмиссии катода, а также обусловленные входным сопротивлением лампы;
- **шумы транзисторов**, возникающие вследствие тепловых шумов распределенных активных сопротивлений базы и коллектора, флуктуаций эмиттерного и коллекторного токов (дробовые шумы), а также перераспределением токов между

**Определение 1: Коэффициентом шума приемника** называется отношение полной мощности шума на выходе додетекторного тракта к части этой мощности, которую создает включенный на вход приемника эквивалент антенны.

$$N_{пр} = \frac{P_{ш\ вых}}{P_{ш\ вых0}}$$

**Определение 2: Эквивалент антенны** - это двухполюсник с усредненными параметрами антенны,

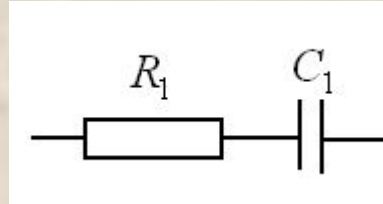


рольным) параметрам  
**Физический эквивалент открытой антенны НЧ-ВЧ с параметрами**

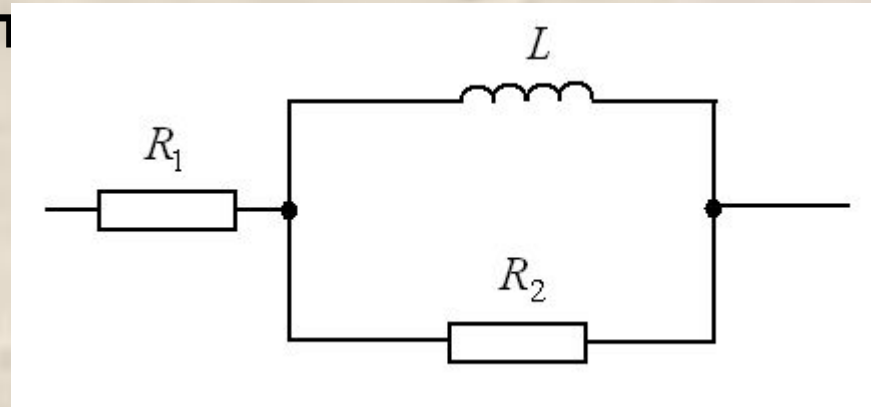
$$M_{к\ 20} R \quad 2 \Theta_{\lambda} 20$$

$$\Theta_{\lambda} = 400$$

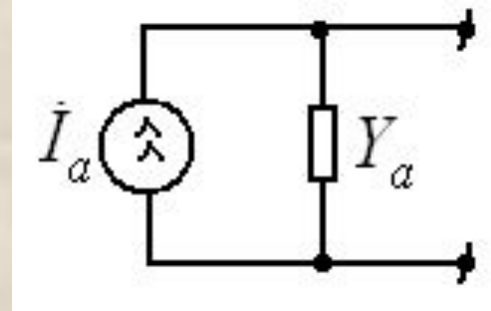
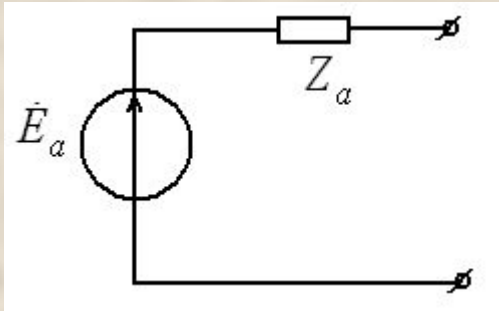
На низких и средних частотах сопротивление индуктивности мало и эквивалентная схема может быть упрощена



На высоких частотах сопротивления конденсаторов малы и эквивалентная схема упрощена к виду:



Приемную антенну можно представить в виде генератора ЭДС  $\dot{E}_a$  или генератора тока  $\dot{I}_a$

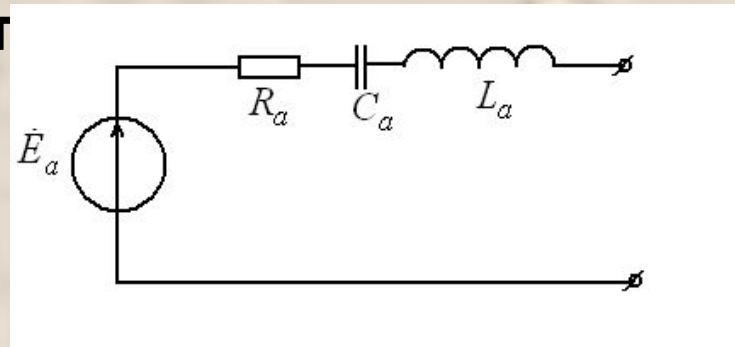


$$\dot{I}_a = \dot{E}_a Y_a = \frac{\dot{E}_a}{Z_a}; \quad Z_a = R_a + jX_a; \quad Y_a = G_a + jB_a;$$

$$G_a = \frac{R_a}{R_a^2 + X_a^2}; \quad B_a = -\frac{X_a}{R_a^2 + X_a^2}$$

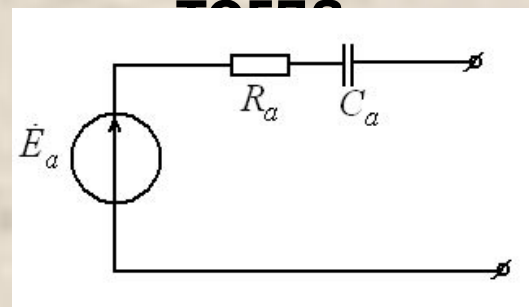
**Определение 3:** Эквивалентом антенны называется линейный двухполюсник, сопротивление которого равно выходному сопротивлению антенны.

Сопротивление ненастроенной антенны,  $Z_a$  зависит от частоты сложным образом. Если ее размеры невелики по сравнению с длиной волны, то эквивалент антенны может быть



$$\omega L_a \ll \frac{1}{\omega C_a}$$

В диапазоне НЧ (СЧ)



В диапазоне ВЧ  $Z_a$  имеет сложный характер (как индуктивный, так и емкостный).

В диапазоне ОВЧ (более коротких волнах) используют антенны, настроенные на среднюю частоту диапазона, где антенна обладает активным сопротивлением  $R_a$ .

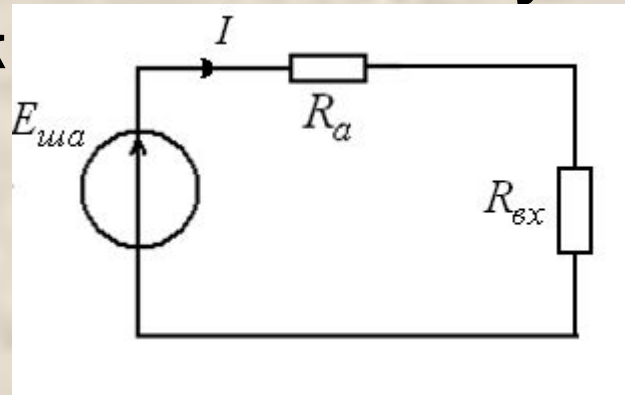
Если  $R_a$  равно сопротивлению фидера, то ее соединяют с ним непосредственно. В других случаях используют специальные согласующие устройства.

**Реальная чувствительность** (ограниченная внутренними шумами) зависит от коэффициента усиления  $K$ , уровня собственных шумов, приведенных ко входу антенны, и требуемого порогового превышения заданного уровня сигнала над шумами.

Определение 4: **Коэффициентом шума** приемника называется величина, которая показывает, во сколько раз отношение сигнал/шум на входе приемника больше отношения сигнал/шум на его выходе.

## Определение шумовой мощности, поступающей на вход приемника от антенны

В частотных диапазонах, где важную роль играет коэффициент шума, используются настроенные антенны, т.е. антенны, сопротивление которых носит резистивный характер. Поэтому эквивалентом антенны является резистор – источник теплового шума. Эквивалентная схема шумящего резистора, подключенного к приемнику, имеет следующий вид



$$I = \frac{E_{ша}}{R_{вх} + R_a}; \quad P = I^2 \cdot R_{вх}; \quad P = \frac{E_{ша}^2}{(R_{вх} + R_a)^2} \cdot R_{вх};$$

$$\overline{E_{ша}^2} = 4k \cdot T \cdot \Delta f \cdot R_a, \quad k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}; \quad T = 290 \text{ К}$$



$\Delta f$  - полоса частот, в которой производится измерение мощности шума.

Найдем шумовую мощность, поступающую на вход приемника:

$$P_{ш} = \frac{L_{шa}}{(R_{ax} + R_a)^2} \cdot R_{ax} = \frac{4k \cdot T \cdot \Delta f \cdot R_{ax}}{(R_{ax} + R_a)^2} \cdot R_{ax} = k \cdot T \cdot \Delta f \frac{4R_a R_{ax}}{(R_{ax} + R_a)^2} = k \cdot T \cdot \Delta f \cdot \gamma,$$

где  $\gamma = \frac{4R_a R_{ax}}{(R_{ax} + R_a)^2}$  - коэффициент согласования на входе приемника.

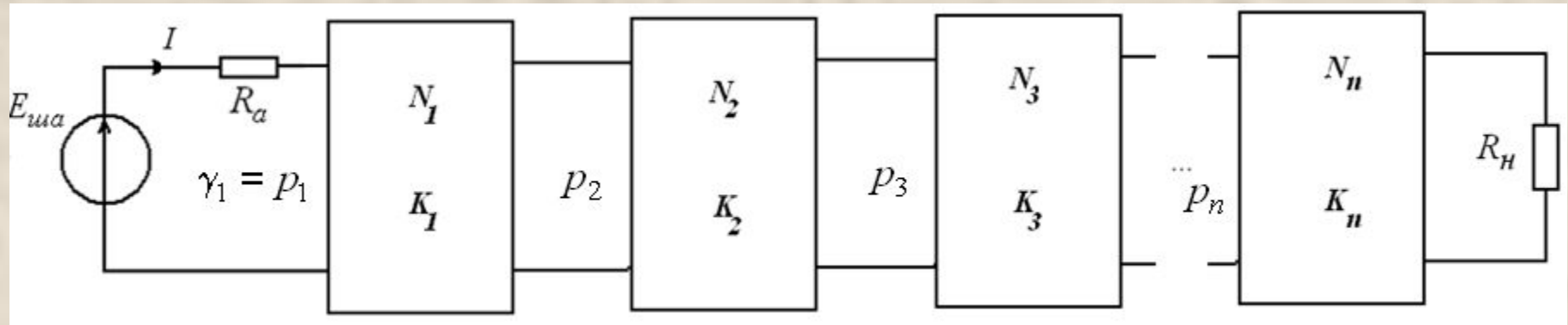
$$\gamma = 1$$

$$\gamma < 1$$

В режиме согласования , в режиме рассогласования .

Связь коэффициента шума приемника с параметрами его отдельных каскадов

Додетекторный тракт приемника в виде каскадного соединения включенных шумящих



По определению  $N_{пр} = \frac{P_{ш\text{вых}}}{P_{ш\text{вых}0}}$

$$P_{ш\text{вых}0} = kT \Delta f \gamma_1 K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n$$

$$P_{ш\text{вых}} = P_{ш\text{вых}0} + \Delta P_{ш1} K_2 \cdot \dots \cdot K_n + \Delta P_{ш2} K_3 \cdot \dots \cdot K_n + \dots + \Delta P_{шn} K_n$$

где  $\Delta P_{шn}$  - мощность шумов, генерируемая  $n$ -ым каскадом.

Для оценки мощности шума генерируемая  $n$ -ым каскадом, воспользуемся определением коэффициента шума  $n$ -ого каскада  $N_n = \frac{P_{ш\text{вых}n}}{P_{ш\text{вых}0n}}$ ,  $P_{ш\text{вых}0n} = P_n \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \cdot K_n$

**Мощность шума, генерируемая  $n$ -ым каскадом, равна**

$$\Delta P_{шн} = P_{швых\ n} - P_{швых0\ n} = p_n \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \cdot K_n (N_n - 1)$$

**Тогда**

$$\begin{aligned} P_{швых} &= P_{швых0} + p_1 \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \cdot (N_1 - 1) K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n + \\ &+ p_2 \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \cdot (N_2 - 1) K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n + \dots + \\ &+ p_n \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \cdot (N_n - 1) K_n \end{aligned}$$

**Окончательно имеем для коэффициента шума**

**приемника:**

$$\begin{aligned} N_{пр} &= \frac{P_{швых}}{P_{швых0}} = 1 + (N_1 - 1) + \frac{p_2 \cdot (N_2 - 1) K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n}{p_1 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n} + \\ &\dots + \frac{p_n \cdot (N_n - 1) K_n^2}{p_1 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n} = N_1 + \frac{p_2 \cdot (N_2 - 1)}{p_1 \cdot K_1} + \frac{p_n \cdot (N_n - 1)}{p_1 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_{n-1}} \end{aligned}$$

На основании последнего соотношения можно сделать следующие выводы:

1. Основной вклад в коэффициент шума вносят его первые каскады.
2. Влияние последующих каскадов тем меньше, чем больше коэффициент усиления предшествующих каскадов.

$$P_{швых} = k \cdot T \cdot \Delta f \cdot p_1 \cdot K \cdot N_{np}$$

**Шумовая температура приемника**

Полная шумовая мощность на выходе приемника равна

$$N_{np} = 1$$

Такую же мощность можно получить на выходе идеального нешумящего приемника с коэффициентом шума  $N_{np}$ , если повысить температуру эквивалента антенны на некоторую величину  $T_{np}$ :

$$T \cdot N_{np} = T + T_{np} \Rightarrow N_{np} = \left(1 + \frac{T_{np}}{T}\right) \Rightarrow N_{np} = 1 + \frac{T_{np}}{T}$$

**Шумовой температурой** приемника называется величина эквивалентного повышения шумовой температуры эквивалента антенны, при котором выходная шумовая мощность нешумящего идеального приемника равна выходной шумовой мощности реального приемника.

### Связь коэффициента шума и чувствительности

Определим количественную меру чувствительности приемника, задавшись отношением сигнал/шум на выходе додетекторного тракта:

Входящие в последнее соотношение мощности сигнала и шума определяются следующим образом

$$Q = \frac{P_{св\ых} - P_{ш\ых}}{k \cdot T \cdot \Delta f \cdot N_{np}} \cdot a_0 \cdot P_1 \cdot K, \quad a_0 = \dots \cdot \Delta \cdot n_p$$

Теперь

Таким образом, **количественная мера чувствительности по мощности прямо пропорциональна коэффициенту шума.**

**Чувствительность**, определенная при отношении сигнал / шум на выходе додетекторного тракта, равном единице ( $q = 1$ ), называется **пороговой**. Она равна 
$$I_{a0} = k \cdot I_{\Delta f} \cdot N_{np}$$

### **Способы повышения чувствительности приемника:**

- 1. Снижение коэффициента шума за счет применения малошумящих входных каскадов с высоким коэффициентом усиления по мощности.**
- 2. Сужение полосы пропускания приемников.**
- 3. Применение помехоустойчивых демодуляторов, которые работают при малых отношениях сигнал / шум.**