

**Балтийская государственная академия
рыбопромыслового флота**

Кафедра СРТС

Прием и обработка сигналов

Лекция № 6

Коэффициент шума РПУ

1. Общие положения

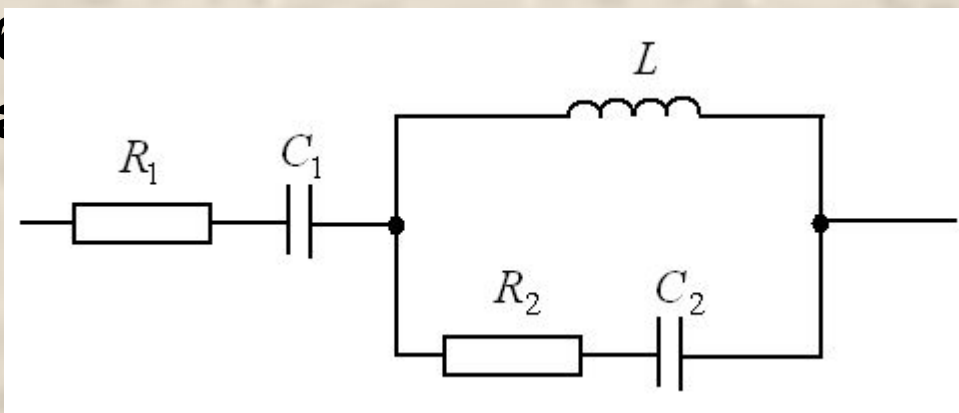
Основные источники шумов в РПУ:

- **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,

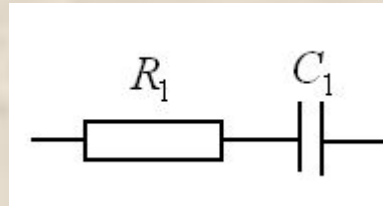


рольным) параметрам
Физический эквивалент открытой антенны НЧ-ВЧ с параметрами

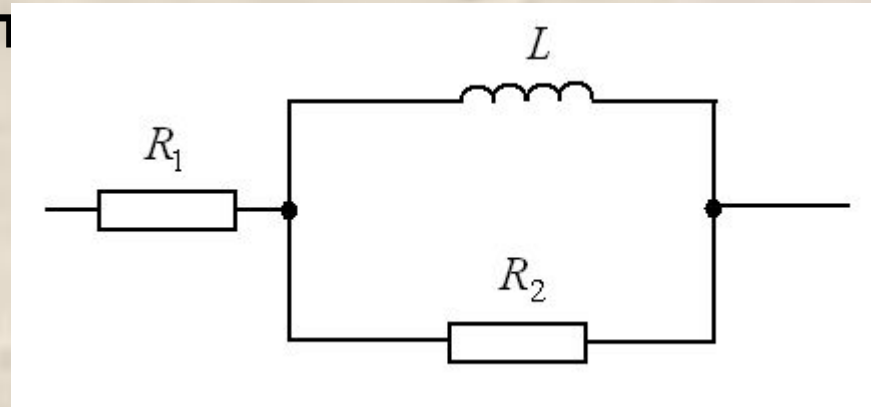
$$M_{к\ 20} R \quad 2 \text{ Ом}, 20$$

$$\omega L = 400$$

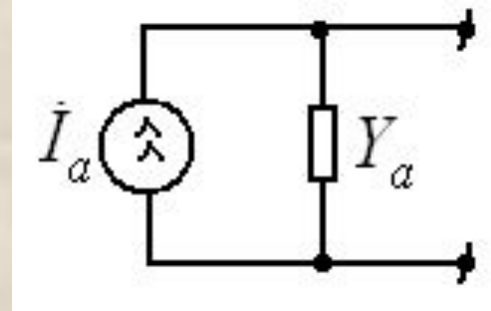
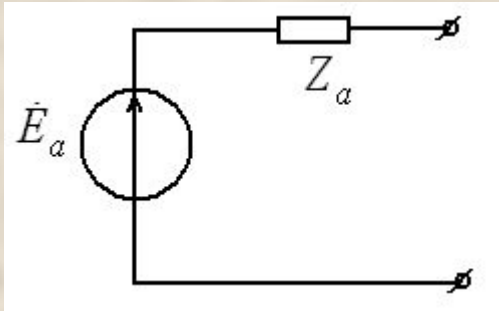
На низких и средних частотах сопротивление индуктивности мало и эквивалентная схема может быть упрощена



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

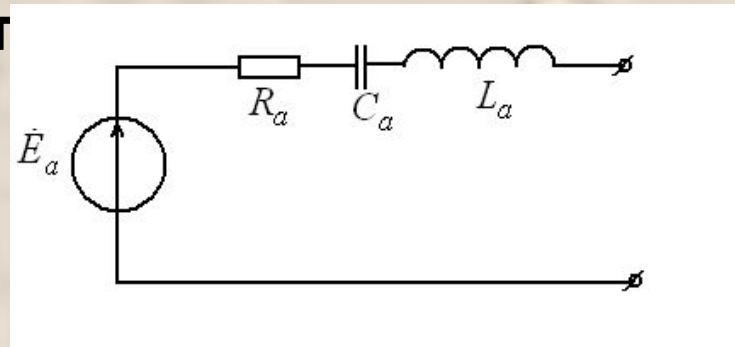


$$\dot{I}_a = \dot{E}_a Y_a = \frac{\dot{E}_a}{Z_a}; \quad Z_a = R_a + jX_a; \quad Y_a = G_a + jB_a;$$

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

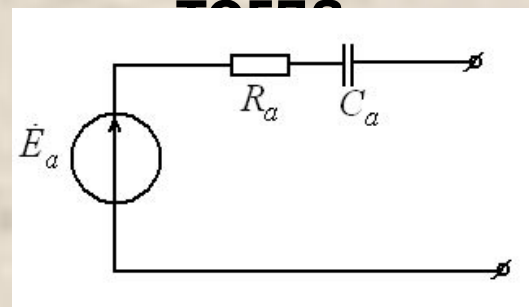
Определение 3: Эквивалентом антенны называется линейный двухполюсник, сопротивление которого равно выходному сопротивлению антенны.

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 .

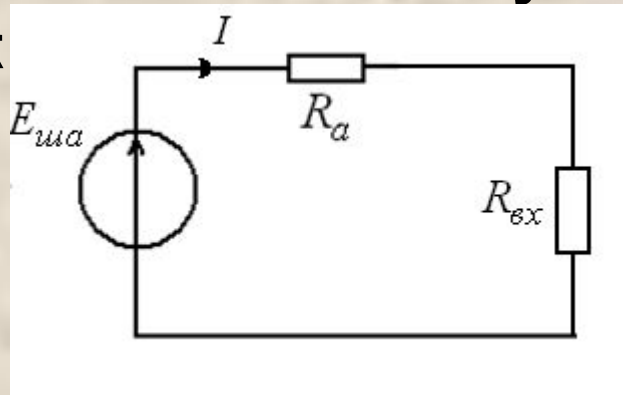
Если R_a равно сопротивлению фидера, то ее соединяют с ним непосредственно. В других случаях используют специальные согласующие устройства.

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



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

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

Δf - полоса частот, в которой производится измерение мощности шума.

Найдем шумовую мощность, поступающую на вход приемника:

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

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

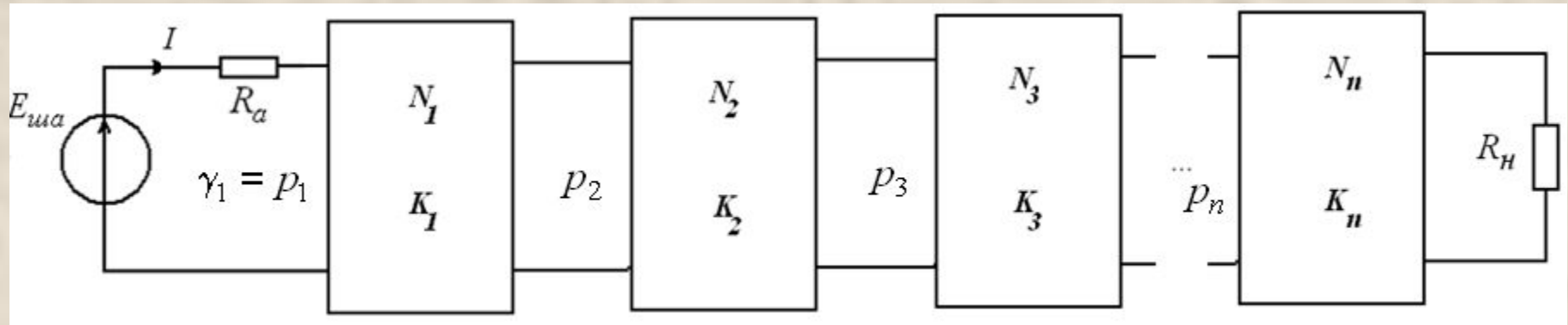
$$\gamma = 1$$

$$\gamma < 1$$

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

$$q = \frac{P_{св\ых}}{k \cdot T \cdot \Delta f \cdot N_{np}} = \frac{P_{св\ых}}{k \cdot T \cdot \Delta f \cdot N_{np}} \cdot \frac{1}{k \cdot T \cdot \Delta f \cdot N_{np}} \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \cdot N_{np}$$

$$a_0 = \dots \cdot \Delta \cdot n_p$$

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.**