

Расчет радиочастотных преобразователей (приемник, передатчик)

$$X_C = \frac{1}{\omega * C}$$

$$X_L = \omega * L$$

$$\omega = 2 * \pi * f$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} - \text{резонансная частота}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} - \text{волновое сопротивление}$$

$$Q = \frac{1}{\omega_0 * R * C} - \text{добротность}$$

$$G = 1/Q - \text{затухание}$$

При резонансе энергия не исчезает, а перетекает с катушки на конденсатор, справедливо следующее выражение:

$$W_{L0} = W_{C0} = W_0$$

$$W_L = L * I^2 * (\cos \omega_0 t)^2 = W_{L0} * (\cos \omega_0 t)^2$$

$$W_C = C * U_C^2 * (\sin \omega_0 t)^2 = W_{C0} * (\sin \omega_0 t)^2$$

$$L * I^2 = C * U_C^2 = W_0$$

1. Детектор простой без гетеродина.

$u = A_1 * \cos \omega_1 t$ – входной сигнал из антенны.

$u_0 = \frac{T * A_1^2}{2 * S}$ – выходной сигнал, сигнал на нагрузке наушников.

$S = 1/R_i$ - коэффициент, крутизна вольтамперной характеристики детектора, где R_i - внутреннее сопротивление детектора.

T – коэффициент кривизна вольтамперной характеристики детектора.

A_1 – амплитуда входного сигнала.

ω_1 – частота входного сигнала или резонансная частота входного контура антенны.

$R_H = R_1$ – сопротивление нагрузки (наушников) выбирается равное внутреннему сопротивлению детектора.

Расчет детектора Д2 приведен в таблице 1, $S = 1 \frac{\text{mA}}{\text{B}}$, $T = 6 \frac{\text{mA}}{\text{B}^2}$.

Таблица 1.

A_1	100 мВ	30 мВ	10 мВ	3 мВ	1 мВ
u_0	30 мВ	3 мВ	300 мкВ	30 мкВ	3 мкВ

2. Детектор простой с гетеродином.

$u = A_1 * \cos \omega_1 t + A_2 * \cos \omega_2 t$ – входной сигнал из антенны.

A_2 – амплитуда гетеродина.

ω_2 – частота гетеродина.

$u_0 = \frac{T}{2*S} * A_1^2 + \frac{T}{2*S} * A_2^2 + \frac{T}{S} * A_1 * A_2 * \cos(\omega_1 - \omega_2)t$ – выходной сигнал

$\frac{u_0}{A_1} = \frac{T}{S} * A_2 \approx 1$ – коэффициент передачи сигналов биений через детектор.

3. Гетеродинный приемник с балансным или двойным (кольцевым) смесителем.

Идеальный смеситель осуществляет операцию перемножения входного и гетеродинного сигналов.

$\Omega = \omega_1 - \omega_2$ – низкая звуковая частота биений.

$u_0 = u_1 * u_2 = \frac{1}{2} * A_1 * A_2 * \cos \Omega t$ – выходной сигнал смесителя.

Параметры приемника

Формулы для расчета динамического диапазона по перекрестным D_2 и интермодуляционным D_3 помехам.

$$D_2(\text{дБ}) = \frac{1}{2} (H_1(\text{дБ}) - U_{\text{ш}}(\text{дБ}))$$

$$D_3(\text{дБ}) = \frac{2}{3} (H_2(\text{дБ}) - U_{\text{ш}}(\text{дБ}))$$

$U_{\text{вых } 1} = f(U_{\text{вх}})$ - характеристика полезного сигнала прямо пропорциональна входному напряжению.

$U_{\text{вых } 2} = f(U_{\text{вх}}^2)$ – характеристика сигнала перекрестных помех прямо пропорционально квадрату входного напряжения и зависит от нелинейных элементов смесителя.

$U_{\text{вых } 3} = f(U_{\text{вх}}^3)$ – характеристика сигнала интерференционных помех прямо пропорционально кубу входного напряжения и зависит от нелинейных элементов смесителя.

$K_{\text{АМ}}$ – коэффициент подавления амплитудного сигнала равен расстоянию между характеристиками при заданном уровне полезного сигнала, если уменьшать уровень полезного и неполезного (помех) сигнала, то этот коэффициент увеличивается.

$U_{\text{ш}}$ – уровень напряжения собственных шумов приемника, или минимальный уровень полезного и неполезного сигнала при котором $K_{\text{АМ}} = K_{\text{АМ макс}}$, или нижний уровень динамического диапазона.

При увеличении чувствительности смесителя увеличивается селективность приемника.

Реальная селективность или многосигнальная – это способность приемника выделять слабый полезный сигнал в присутствии мощных мешающих сигналов, лежащих вне полосы пропускания приемника.

Статическая селективность или односигнальная – это ослабление сигнала при расстройке приемника относительно его частоты

H_1 – уровень напряжения или точка пересечения функций $U_{\text{вых } 1} = f()$ и $U_{\text{вых } 2} = f()$

H_2 – уровень напряжения или точка пересечения функций $U_{\text{вых } 1} = f()$ и $U_{\text{вых } 3} = f()$

Чувствительность приемника

$\frac{U_c}{U_{\text{ш}}}$ – чувствительность приемника.

$P_{\text{ш}} = k * T_0 * (F - 1) * B$ – мощность собственного шума приемника приведенная ко входу, Вт.

B – полоса пропускания приемника, Гц.

F – коэффициент шума входного сигнала идеального приемника.

$$T_0 = 290 \text{ K}, k = 1.38 * 10^{-23} \text{ Дж/К}$$

$$U_{\text{ш}} = \sqrt{P_{\text{шЭ}} * R_{\text{вх}}}$$

$P_{\text{шЭ}} = k * T_0 * F * B$ – полная мощность шума приведенная ко входу.

$R_{\text{вх}} = 75 \text{ Ом}$ – сопротивление антенны и коаксиального кабеля.

$$P_{\text{пер}} = \frac{U_{\text{пер вых}}^2}{R_{\text{вх}}} \text{ – полная выходная мощность в антенне передатчика.}$$

$U_{\text{пер вых}}$ – выходное постоянное напряжение передатчика, измеренное с помощью обычного вольтметра подключенного к антенне передатчика через высокочастотный диод Д311 и нагрузочного резистора 75 Ом, параллельно вольтметру включен конденсатор 2200...4700 пф.

Таблица 2. Для $R_{\text{вх}} = 75 \text{ Ом}$, $B = 3 \text{ кГц}$

Диапазон, м	160	80	40	20	14	10
$U_{\text{ш}}$, мкВ	2,5	1,6	1	0,3	0,2	0,15

Примечание. При наличии неблагоприятных условий или промышленных помех значение $U_{\text{ш}}$ из таблицы 2 нужно умножить на 4.

Расчет катушек индуктивности с магнитным сердечником

$$L = \mu * \mu_0 * N^2 * \frac{S}{l}$$

μ – магнитная проницаемость сердечника.

$$\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7} \text{ Г/М}$$

N^2 – число витков.

S – сечение провода.

l – длина намотки или длина окружности тора.

Для кольцевого ферритового сердечника, D – наружный диаметр, d – внутренний диаметр, h – высота сердечника рассчитывают следующую l и s .

$$l = \frac{\pi}{2} * (D + d)$$

$$s = \frac{h}{2} * (D - d)$$

Расчет по упрощенной формуле.

$$N = k * \sqrt{L(\text{мГ})}$$

Таблица 3

Типоразмер	K16x8x4			K10x6x4		
	μ	3000	2000	1000	2000	1000
k	21	26	37	31	44	70

Для пересчета фильтра на другое сопротивление нагрузки R, сделать следующее

$$C_1 = \frac{C}{m}, L_1 = L * m$$

$$m = \frac{R_{\text{новое}}}{R_{\text{старое}}} \text{ при } R_{\text{новое}} > R_{\text{старое}}$$

$$m = \frac{R_{\text{старое}}}{R_{\text{новое}}} \text{ при } R_{\text{новое}} < R_{\text{старое}}$$

Расчет катушек индуктивности без сердечника (пустые)

$$L = \frac{0,001 * D * N^2}{\frac{l}{D} + 0,44}$$

D – диаметр намотки, мм (диаметр катушки + диаметр провода x 2)

N – число витков, мм

l – длина намотки, мм

L – индуктивность, мкГ

Расчет конденсатора связывающего ФНЧ и УЗЧ

$$C = \frac{1}{2 * \pi * f_H * R}$$

$f_H = 300 \dots 400$ Гц – нижняя граница звукового диапазона.

R – входное сопротивление УЗЧ.

Расчет П-образного фильтра НЧ

Представляет собой катушку на концах, которой подключаются по одному конденсатору, второй конец обоих конденсаторов подключается к общему проводу.

$$C = C_1 = C_2 = \frac{1}{2 * \pi * f_c * R}$$

$$L_1 = \frac{R}{\pi * f_c}$$

$$K_y \approx 1$$

Здесь f_c - частота среза, R – входное сопротивление следующего каскада, если R отсутствует или нужно изменить, то нужно на выходе фильтра поставить резистор и вычислить все формулы заново.

Расчет Г-образного полосового фильтра входных цепей приемника и усилителя мощности передатчика

Г-образный фильтр представляет собой последовательно включенный L_1 и C_1 и параллельно выходу включают, соединив последовательно, L_2 и C_2 . При этом возможны варианты, когда один из L или C будет отсутствовать.

$Q = f_0 / \Delta f$ – добротность контура.

f_0 – средняя частота диапазона.

Δf – полоса пропускания равна ширине выбранного диапазона с запасом 20%.

$$L_1 = \frac{R * Q}{2 * \pi * f_0}$$

$$L_2 = \frac{R}{2 * \pi * f_0 * Q}$$

$$C_1 = \frac{1}{2 * \pi * f_0 * R * Q}$$

$$C_2 = \frac{Q}{2 * \pi * f_0 * R}$$

$$K_y \approx 1$$

Здесь $R = 75 \text{ Ом}$ или 50 Ом – характеристическое сопротивление равное волновому сопротивлению фидерной антенны подключенной через коаксиальный кабель, одинаково для всех диапазонов. Если используется нестандартная антенна со своим сопротивлением, то принять соответствующее сопротивление. Сопротивление R для фильтра, подключенного между транзисторными каскадами, равно входному сопротивлению транзисторного каскада идущего за фильтром.

$\rho = \omega * L = \frac{1}{\omega * C}$ – характеристическое сопротивление фильтра.

Если сопротивление приемника УРЧ $R_{\text{вх УРЧ}} \neq R$, то можно сделать отвод от катушки L_2 со стороны общего провода (заземление), который подключается к входу УРЧ, а выход фильтра отсоединяется от входа УРЧ и никуда не подсоединяется. Отвод рассчитывается по формулам.

$$k = \sqrt{\frac{R_{\text{вх УРЧ}}}{R}}$$

$$k = \frac{N_1}{N}$$

$$N_1 = k * N$$

Здесь, N – общее число витков катушки, N_1 - отвод катушки, равный числу витков катушки отсчитанный от конца, подключенного к общему проводу (заземлению).

Аналогичное согласование сопротивлений происходит и для других каскадов со своим $R_{\text{вх}}$.

Каждый собранный фильтр, включенный в каскад с транзистором в общей схеме, проверяется на самовозбуждение волномером. Волномер представляет собой параллельно включенная катушка с переменным конденсатором $100 \dots 200 \text{ пф}$ в резонанс, последовательно с резонансным контуром включен точечный диод, а другой конец диода подключается к обычному вольтметру. При работе с волномером питание задающего генератора отключается. Проверять самовозбуждение нужно на всех диапазонах, меняя соответствующие катушки индуктивности волномера.

Для повышения селективности два Г-образных фильтра можно включать последовательно, только таким образом, чтобы образовывалась, либо Т-образная цепочка, либо П-образная цепочка. Аналогично можно включить три и более Г-образных фильтров.

Расчет П-образного полосового фильтра входных цепей приемника и усилителя мощности передатчика

П-образный фильтр представляет собой последовательно включенных $L = 2 * L_1$ и $C = C_1/2$, параллельно входу включаются параллельно соединенные L_2 и C_2 , и параллельно выходу – аналогично L_2 и C_2 .

Расчет ведется аналогично формулам Г-образного фильтра.

Согласование входных сопротивлений рассчитывается аналогично Г-образному фильтру.

Если длина антенны меньше в два раза, то и сопротивление антенны уменьшится в два раза $R_1 = R/2$, тогда сделать аналогичный отвод в катушке со стороны антенны, подключенный к антенне, расчет проводится аналогично Г-образному фильтру.

Внимание, при согласовании сопротивлений с обеих сторон фильтра (входа и выхода) число витков N_1 будет разное