

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ЧАСТОТЫ ГЕТЕРОДИНА В ПРИЕМНИКЕ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Е. И. ФИАЛКО

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

Одним из вопросов, решаемых при проектировании радиоприемных устройств, является выбор частоты гетеродина f_2 .

Рассмотрим частный вопрос — как изменяется уровень помех, обусловленных космическими помехами, в зависимости от выбора f_2 ($f_2 > f_c$ или $f_2 < f_c$) в приемниках радиолокационных станций, предназначенных для метеорных наблюдений.

Как известно, радиолокационные наблюдения метеоров производятся главным образом в диапазоне волн $\lambda = 4 \div 10$ м. В этом диапазоне уровень помех определяется в основном космическими помехами, интенсивность которых $\sim \lambda^m$, где $2 < m < 3$ [1, 2].

В супергетеродинном приемнике космические помехи проходят как по основному, так и по зеркальному каналам. Чтобы уменьшить мощность космических помех, проходящих по зеркальному каналу, выгодно, чтобы частота зеркальной помехи была выше частоты принимаемого сигнала и $f_2 > f_c$ (рис. 1).

Рассмотрим зависимость уровня космических помех от параметров высокочастотной части приемника.

Представим интенсивность космических помех (отнесенную к единице частоты) на входе приемника в виде:

$$P_n = \frac{a}{f^m}, \quad (1)$$

где a и m — константы.

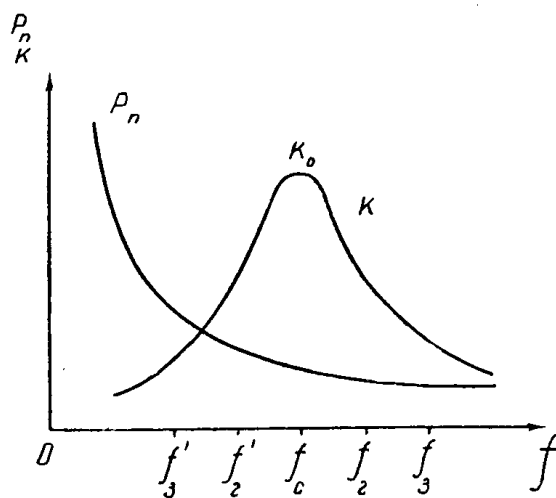


Рис. 1. К выбору частоты гетеродина. P_n — спектральная плотность космических помех; f — частота; K — коэффициент усиления УВЧ; f_c — частота сигнала; f_2 — частота гетеродина; f_3 — частота зеркальной помехи.

Коэффициент усиления высокочастотного тракта приемника равен

$$K = K_0 \left[1 + \left(\frac{2\Delta f}{\Delta F_1} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}(n+1)}, \quad (2)$$

где $K_0 = K_{01} \cdot K_{02} \dots K_{0n}$ — резонансный коэффициент усиления высокочастотного тракта (УВЧ), состоящего из n идентичных каскадов; K_{01}, \dots, K_{0n} — резонансные коэффициенты усиления каждого из каскадов, входящих в высокочастотный тракт; $\Delta f = f - f_0$ — расстройка; f_0 — резонансная частота; ΔF_1 — полоса пропускания одного каскада УВЧ (предполагаем, что все каскады, входящие в УВЧ, и входная цепь имеют одинаковые полосы пропускания).

Мощность помех, проходящих по основному каналу, на выходе УВЧ будет равна (в случае $f_c = f_0$) $P_0 = P_n(f_c) \cdot G_0 \cdot \Delta F_{ш}$, где $\Delta F_{ш}$ — эффективная полоса пропускания шумов приемника; $G_0 \sim K_0^2$ — коэффициент усиления по мощности.

Мощность помех на выходе УВЧ, прошедших по зеркальному каналу, равна $P_3 = P_n(f_3) \cdot G_1 \cdot \Delta F'_{ш}$, где $G_1 \sim K_1^2(f_3)$.

Строго говоря, $\Delta F'_{ш} \neq \Delta F_{ш}$, но в случае, когда полоса пропускания усилителя промежуточной частоты значительно меньше, чем полоса пропускания УВЧ, $\Delta F'_{ш} \approx \Delta F_{ш}$.

Суммарная мощность помех, прошедших как по основному, так и по зеркальному каналам, равна

$$P_{\Sigma} = P_0 + P_3 = P_0 \left\{ 1 + \frac{P_n(f_3)}{P_n(f_c)} \cdot \left(\frac{K_1}{K_0} \right)^2 \right\}.$$

Относительное увеличение уровня помех за счет зеркального канала оценится отношением

$$\frac{P_{\Sigma}}{P_0} = 1 + \frac{P_n(f_3)}{P_n(f_c)} \cdot \left(\frac{K_1}{K_0} \right)^2$$

и с учетом (1) и (2)
$$\frac{P_{\Sigma}}{P_0} = 1 + \left(\frac{f_c}{f_3} \right)^m \cdot \left\{ 1 + \left[\frac{2(f_3 - f_c)}{\Delta F_1} \right]^2 \right\}^{-(n+1)}.$$

Так как разность между частотой зеркальной помехи и частотой сигнала равна удвоенному значению промежуточной частоты, то

$$\frac{P_{\Sigma}}{P_0} = 1 + \left(\frac{f_c}{f_3} \right)^m \cdot \left[1 + \left(4 \frac{f_{np}}{\Delta F_1} \right)^2 \right]^{-(n+1)}.$$

В случае $f_c > f_3$ ($f_3 = f_c + 2f_{np}$)

$$\frac{P_{\Sigma}'}{P_0} = 1 + \left(1 + 2 \frac{f_{np}}{f_c} \right)^{-m} \cdot \left[1 + \left(4 \cdot \frac{f_{np}}{\Delta F_1} \right)^2 \right]^{-(n+1)}. \quad (3)$$

В случае $f_c < f_3$ ($f_3 = f_c - 2f_{np}$)

$$\frac{P_{\Sigma}''}{P_0} = 1 + \left(1 - 2 \frac{f_{np}}{f_c} \right)^{-m} \cdot \left[1 + \left(4 \cdot \frac{f_{np}}{\Delta F_1} \right)^2 \right]^{-(n+1)}. \quad (4)$$

Из рассмотрения (3) и (4) следует ряд выводов. Совершенно

очевидно, что $\frac{P_{\Sigma}''}{P_o} > \frac{P_{\Sigma}'}{P_o}$. Очевидно также, что с увеличением промежуточной частоты (при неизменных f_c , ΔF_1 и n) $\frac{P_{\Sigma}'}{P_o}$ уменьшается.

При высокой избирательности высокочастотного тракта и невысокой промежуточной частоте космические помехи, проходящие по зеркальному каналу, практически не увеличивают общего уровня помех.

Действительно, при $\frac{f_{np}}{f_c} \ll 1$ и $\frac{f_{np}}{\Delta F_1} \gg 1$ (3) и (4) принимают вид

$$\frac{P_{\Sigma}'}{P_o} \approx 1 + \alpha_1 \quad \text{и} \quad \frac{P_{\Sigma}''}{P_o} \approx 1 + \alpha_2,$$

где

$$\alpha_1 \approx \left(1 - 2 \cdot m \cdot \frac{f_{np}}{f_c} \right) \cdot \left(4 \cdot \frac{f_{np}}{\Delta F_1} \right)^{-2(n+1)} \ll 1$$

и

$$\alpha_2 \approx \left(1 + 2 \cdot m \cdot \frac{f_{np}}{f_c} \right) \cdot \left(4 \cdot \frac{f_{np}}{\Delta F_1} \right)^{-2(n+1)} \ll 1.$$

Рассмотрим случай низкой избирательности УВЧ при использовании сравнительно высокой промежуточной частоты.

Если, например, УВЧ состоит из одного каскада и входной цепи, избирательностью которой можно пренебречь, формулы (3) и (4) примут вид (для $m \approx 2,3$ [3]):

$$\frac{P_{\Sigma}'}{P_o} \approx 1 + \left(1 + 2 \frac{f_{np}}{f_c} \right)^{-2,3} \left[1 + \left(4 \frac{f_{np}}{\Delta F_1} \right)^2 \right]^{-1} \quad (5)$$

и

$$\frac{P_{\Sigma}''}{P_o} \approx 1 + \left(1 - 2 \frac{f_{np}}{f_c} \right)^{-2,3} \left[1 + \left(4 \frac{f_{np}}{\Delta F_1} \right)^2 \right]^{-1}. \quad (6)$$

Как нетрудно показать, увеличение уровня помех при $f_2 > f_c$ будет совершенно незначительным. Действительно, даже при $f_{np} < f_c$ и

$$\Delta F_1 \approx f_{np} \frac{P_{\Sigma}'}{P_o} \approx 1,06.$$

На рис. 2 дана графическая зависимость $\frac{P_{\Sigma}''}{P_o}$ от $\frac{f_{np}}{\Delta F_1}$ при различных значениях $\frac{f_{np}}{f_c}$, соответствующая выбору $f_2 < f_c$.

Как следует из рис. 2, при $\frac{f_{np}}{\Delta F_1} \geq 5$ и $\frac{f_{np}}{f_c} \leq 0,4$ увеличение уровня помех за счет зеркального канала является незначительным.

Таким образом, в этом случае несущественно, выбрана ли частота гетеродина большей или меньшей, чем частота сигнала.

В случае же широкополосного УВЧ и относительно высокой f_{np} неправильный выбор f_2 ($f_2 < f_c$) может привести к значительному повышению уровня помех за счет зеркального канала. Например, при

$\frac{f_{np}}{f_c} \approx 0.45$ и $\frac{f_{np}}{\Delta F_1} \approx 5$ уровень помех возрастает приблизительно в 1,5 раза.

На рис. 3 построены кривые, ограничивающие области, в которых $\frac{P_{\Sigma}''}{P_0} \leq 1,1$ (область I, расположенная выше кривой 1) и $\frac{P_{\Sigma}''}{P_0} \geq 1,5$ (область II, расположенная ниже кривой II).

Таким образом, в приемниках с низкой избирательностью УВЧ и сравнительно высокой промежуточной частотой сле-

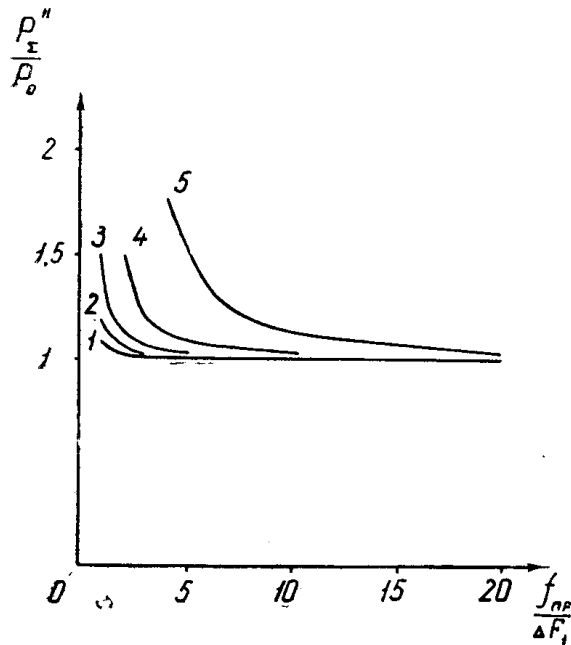


Рис. 2. Зависимость $\frac{P_{\Sigma}''}{P_0}$ от $f_{np} \Delta F_1$.

- 1 — кривая, соответствующая значению $\frac{f_{np}}{f_c} = 0,05$;
- 2 — кривая, соответствующая значению — „ — 0,2;
- 3 — кривая, соответствующая значению — „ — 0,3;
- 4 — кривая, соответствующая значению — „ — 0,4;
- 5 — кривая, соответствующая значению — „ — 0,45

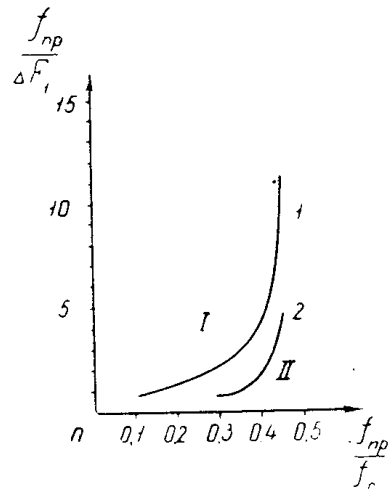


Рис. 3. К понижению чувствительности при неудачном выборе f_2 . 1 — кривая, соответствующая значению $\frac{P_{\Sigma}''}{P_0} = 1,1$;

2 — кривая, соответствующая значению $\frac{P_{\Sigma}''}{P_0} = 1,5$.

дует выбирать частоту гетеродина большей, чем частота принимаемого сигнала; неправильный выбор частоты гетеродина ($f_2 < f_c$) может привести к заметному повышению уровня помех. При рассмотрении отдельных частных случаев следует, воспользовавшись формулами (3) и (4), сравнить $\frac{P_{\Sigma}'}{P_0}$ и $\frac{P_{\Sigma}''}{P_0}$ и, в зависимости от различия этих величин, выбрать f_2 , принимая при этом во внимание факторы, обычно учитываемые при проектировании приемных устройств.

Выводы

1. Неправильный выбор частоты гетеродина ($f_2 < f_c$) может привести к существенному увеличению порогового сигнала вследствие повышения удельного веса космических помех, проходящих по зеркальному каналу. Это может иметь место в случае приемников с низкой избирательностью высокочастотного тракта при сравнительно высокой промежуточной частоте.

2. В случае же высокой избирательности высокочастотного тракта и сравнительно невысокой промежуточной частоты, как в случае $f_2 > f_c$, так и в случае $f_2 < f_c$, уровень помех, обусловленных каналом зеркальной частоты, весьма мал по сравнению с уровнем помех, обусловленных основным каналом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Под редакцией Б. Ф. Высоцкого, Максимальная дальность радиолокационной станции, Советское радио, 1947.
 2. Шкловский И. С., О природе радиоизлучения Галактики, *Астрономический журнал*, **29**, вып. 4, 1952.
 3. H. V. Cottony, J. R. Jöhler. Cosmic Radio Noise Intensities in the VHF Band, *Proc. I. R. E.*, **40**, No. 9. 1952.
-