

5 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЬНОГО ТРАКТА»

5.1 Основные теоретические сведения

Нелинейные искажения связаны с появлением в спектре полезного сигнала на выходе РПрУ новых составляющих, которые отсутствуют на его входе и обусловлены исключительно наличием нелинейных участков на вольт – амперных характеристиках АЭ. При этом в дополнение к ограничению уровня полезных сигналов внутренними шумами в области слабых сигналов появляется новый пороговый уровень в области сильных сигналов. Для обеих областей характерно нарушение линейной зависимости выходного сигнала от величины входного воздействия (рисунок 5.1).

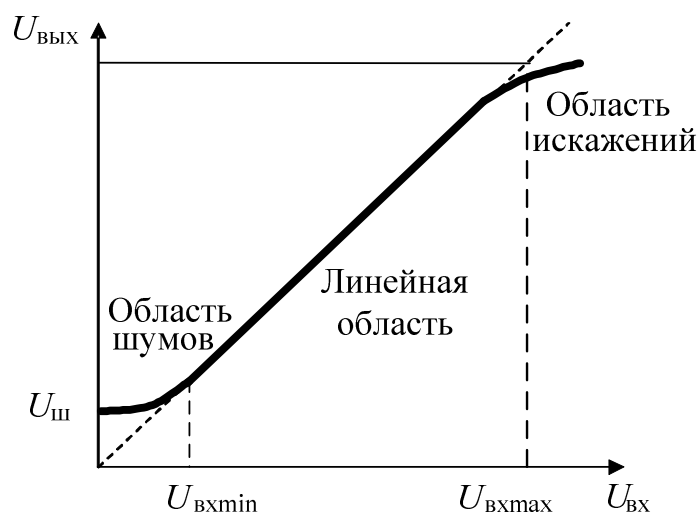


Рисунок 5.1 – Амплитудная характеристика АЭ

Нелинейные искажения связаны с проявлением различных нелинейных эффектов. Различают два вида нелинейных эффектов – «грубые» (связаны с явлением отсечки при больших уровнях сигналов) и «тонкие» (обусловлены нелинейностью передаточной характеристики в малосигнальной области). К «грубым» относятся: эффекты сжатия, блокирования, перекрёстная модуляция, к «тонким» – эффект интермодуляции и гармонические искажения.

Оценка нелинейных свойств АЭ, основанная на определении области уровней сигнала, в пределах которой АЭ считается линейным, называется ДД. Фактически ДД определяет протяжённость линейного участка амплитудной характеристики АЭ между областями слабого и сильного сигналов, в пределах которого НИ можно пренебречь.

Под количественной оценкой ДД РПрУ подразумевают отношение граничных уровней входных воздействий, в пределах которых обеспечивается допустимая потеря информации, содержащейся в полезном сигнале, т. е. это отношение максимального уровня входного сигнала $U_{\text{ВХmax}}$, при котором нелиней-

ные искажения ещё равны допустимому значению, к его минимальному уровню $U_{\text{вхmin}}$, при котором отношение сигнал/шум на выходе тракта равно заданной величине. Часто минимальный уровень сигнала принимается равным уровню внутренних шумов тракта $U_{\text{ш}}$, т. е. отношение сигнал/шум полагается равным единице. Величина $U_{\text{вхmax}}$ для одного и того же устройства может меняться в зависимости от метода оценки нелинейных свойств АЭ и вида нелинейного эффекта.

Максимальный уровень сигнала часто называют пороговым, в связи с чем в зависимости от используемого нелинейного критерия различают порог блокирования, порог интермодуляции n -го порядка и т. д. В качестве минимального уровня в РПРУ часто принимают уровень реальной чувствительности E_p . Различают динамические диапазоны по блокированию, интермодуляции 2-го и 3-го порядков, перекрёстным искажениям и т. д.

Для описания оператора вида $y = f(x)$ в приёмно-усилительной технике используется степенной ряд:

$$y = Y_0 + K_1x + K_2x^2 + K_3x^3 + \dots + K_ix^i, \quad (5.1)$$

где K_i – коэффициенты ряда;

x и y – входной и выходной сигналы, соответственно: $x = U_{\text{вх}}$, $y = U_{\text{вых}}$ или $y = I_{\text{вых}}$.

На практике используется разновидность разложения (5.1) в виде ряда Тейлора, для которого коэффициенты ряда определяются следующим образом:

$$K_1 = f'(x_0), K_2 = f''(x_0)/2!, K_3 = f'''(x_0)/3!, K_i = f^{(i)}(x_0)/i!,$$

где x_0 – точка функции (5.1), относительно которой осуществляется разложение.

Существуют различные критерии оценки нелинейных свойств усилительных устройств.

К односигнальным, т. е. определяемым при односигнальном входном воздействии, критериям относятся коэффициенты гармоник K_r и сжатия (расширения) $K_{\text{сж}}$.

Подставим в (5.1) $U_{\text{вх}} = U_{\text{мс}} \cos \omega_c t$, при этом будем учитывать только квадратичный и кубичный члены ряда:

$$\begin{aligned} U_{\text{вых}} &= Y_0 + K_1 U_{\text{мс}} \cos \omega_c t + K_2 (U_{\text{мс}} \cos \omega_c t)^2 + K_3 (U_{\text{мс}} \cos \omega_c t)^3 = \\ &= K_1 U_{\text{мс}} \cos \omega_c t + \frac{K_2 U_{\text{мс}}^2}{2} [1 + \cos(2\omega_c t)] + \frac{K_3 U_{\text{мс}}^3}{2} \cos \omega_c t [1 + \cos(2\omega_c t)] = \\ &= \left(Y_0 + \frac{K_2 U_{\text{мс}}^2}{2} \right) + \left(K_1 U_{\text{мс}} + \frac{3}{4} K_3 U_{\text{мс}}^3 \right) \cos \omega_c t + \frac{K_2 U_{\text{мс}}^2}{2} \cos(2\omega_c t) + \frac{K_3 U_{\text{мс}}^3}{4} \cos(3\omega_c t) = \\ &= (Y_0 + \Delta Y_0) + (K_1 U_{\text{мс}} + U_{\text{сж}}) + U_{2f} + U_{3f}. \end{aligned} \quad (5.2)$$

Наличие нелинейных членов ряда вызывает изменение уровня постоянной составляющей ΔY_0 , уровня полезного сигнала $U_{\text{сж}}$ и появление новых составляющих с частотами, кратными частоте полезного сигнала U_{2f} и U_{3f} .

Коэффициент искажений любого вида оцениваются по следующей общей

формуле:

$$K_{иск} = \frac{U_{иск}}{U_{с.вых}},$$

где $U_{иск}$ – амплитуда составляющей искажений соответствующего вида;

$U_{с.вых} = K_1 U_{мс}$ – амплитуда составляющей полезного сигнала (первая гармоника) на выходе, присутствующая в виде линейного члена степенного ряда.

Гармонические искажения могут оценивать с помощью общего коэффициента гармоник для всех новых составляющих, появившихся в спектре выходного сигнала:

$$K_{г} = \frac{\sqrt{U_{2f}^2 + U_{3f}^2 + \dots + U_{nf}^2}}{U_{fc}}, \quad (5.3)$$

а также с помощью частных коэффициентов гармоник, учитывающих появление конкретных гармонических составляющих сигнала, например второй и третьей:

$$K_{г2} = \frac{U_{2f}}{U_{fc}}; \quad (5.4)$$

$$K_{г3} = \frac{U_{3f}}{U_{fc}}. \quad (5.5)$$

Из (5.2) для коэффициентов второй и третьей гармоник в соответствии с (5.4) и (5.5) можно записать

$$K_{г2} = \frac{1}{2} \frac{K_2}{K_1} U_{мс}; \quad (5.6)$$

$$K_{г3} = \frac{1}{4} \frac{K_3}{K_1} U_{мс}^2. \quad (5.7)$$

Коэффициент сжатия (компрессии) или расширения – отношение составляющей $U_{сж}$, появляющейся в выходном сигнале на частоте полезного сигнала, к амплитуде полезного сигнала. Этот эффект проявляется в изменении коэффициента передачи под воздействием самого сигнала $U_{мс}$ за счёт нелинейности передаточной характеристики в сторону увеличения при $K_3 > 0$ или в сторону уменьшения при $K_3 < 0$. Из (5.2) получим для коэффициента сжатия

$$K_{сж} = \frac{U_{сж}}{K_1 U_{мс}} = \frac{3K_3 U_{мс}^3}{4K_1 U_{мс}} = \frac{3K_3 U_{мс}^2}{4K_1}. \quad (5.8)$$

К двухсигнальным, т. е. определяемым при бигармоническом входном тестовом сигнале, относятся:

- коэффициенты интермодуляции различных порядков (например, 2-го K_{11} и 3-го K_{21} порядков);
- коэффициент перекрёстных искажений $K_{пер}$;
- коэффициент блокирования $K_{бл}$.

Эффект интермодуляции проявляется в появлении в выходном спектре комбинационных колебаний, отсутствующих на входе, при многосигнальном входном воздействии. Коэффициент интермодуляции – это отношение амплитуды комбинационных колебаний U_{mn} в выходном сигнале с частотами вида $mf_1 \pm nf_2$ при двухсигнальном входном воздействии $U_{вх} = U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos \omega_2 t$ (рисунок 5.2) к амплитуде полезного сигнала в отсутствие интермодуляционных помех:

$$K_{mn} = \frac{U_{mn}}{K_1 U_{мс}}. \quad (5.9)$$

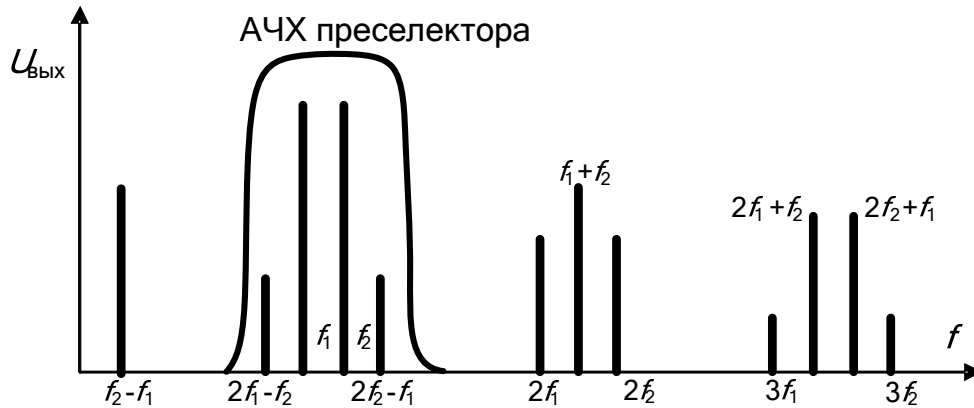


Рисунок 5.2 – Составляющие выходного спектра при двухтоновом воздействии

Под порядком продукта интермодуляции понимают абсолютное значение суммы коэффициентов m и n :

$$i = |m| + |n|. \quad (5.10)$$

Различают коэффициенты интермодуляции 2-го и 3-го порядков, для которых, соответственно, $U_{mn} = U_{11} = K_2 U_{вх}^2$ ($m = 1, n = 1$) и $U_{mn} = U_{21} = K_3 U_{вх}^3$ ($m = 2, n = 1$):

$$K_{11} = \frac{K_2 U_{вх}^2}{K_1 U_{мс}} = \frac{U_{11}}{K_1 U_{мс}}, \quad (5.11)$$

$$K_{21} = \frac{K_3 U_{вх}^3}{K_1 U_{мс}} = \frac{U_{21}}{K_1 U_{мс}}. \quad (5.12)$$

Формирование комбинационных составляющих U_{11} и U_{21} происходит следующим образом.

Подставим в (5.1) $U_{вх} = U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos \omega_2 t$, при этом будем учитывать только квадратичный и кубичный члены ряда:

$$\begin{aligned} K_2 U_{вх}^2 &= K_2 (U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos \omega_2 t)^2 = \\ &= K_2 (U_1^2 \cos^2 \omega_1 t + U_2^2 \cos^2 \omega_2 t + 2U_1 U_2 \cos \omega_1 t \cdot \cos \omega_2 t), \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$K_3 U_{\text{вх}}^3 = K_3 (U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos \omega_2 t)^3 = K_3 (U_1^3 \cos^3 \omega_1 t + U_2^3 \cos^3 \omega_2 t + 3U_1^2 \cos^2 \omega_1 t \cdot U_2 \cos \omega_2 t + 3U_1 \cos \omega_1 t \cdot U_2^2 \cos^2 \omega_2 t). \quad (5.14)$$

Преобразуя произведения тригонометрических функций в суммы и учитывая, что $\cos^2 \omega t = (1 + \cos 2\omega t)/2$, можно записать для комбинационных составляющих:

$$K_2 U_{\text{вх}}^2 \rightarrow U_{11} = K_2 U_1 U_2 \cos(\omega_1 \pm \omega_2)t, \quad (5.15)$$

$$K_3 U_{\text{вх}}^3 \rightarrow U_{21} = \frac{3}{4} K_3 [U_1^2 U_2 \cos(2\omega_1 \pm \omega_2)t + U_1 U_2^2 \cos(\omega_1 \pm 2\omega_2)t]. \quad (5.16)$$

При выполнении равенства $U_1 = U_2 = U_{mc}$, что справедливо для широкополосных устройств, получим для коэффициентов интермодуляции 2-го и 3-го порядков соответственно

$$K_{11} = \frac{U_{11}}{K_1 U_{mc}} = \frac{K_2}{K_1} U_{mc}, \quad (5.17)$$

$$K_{21} = \frac{U_{21}}{K_1 U_{mc}} = \frac{3K_3}{4K_1} U_{mc}^2. \quad (5.18)$$

Коэффициент блокирования – это отношение составляющей $U_{\text{бл}}$, появляющейся в выходном сигнале на частоте полезного сигнала при наличии помехи, к амплитуде полезного сигнала при отсутствии помехи. Этот эффект проявляется в изменении коэффициента передачи полезного сигнала под воздействием мешающего сигнала помехи за счёт нелинейности передаточной характеристики. Составляющая $U_{\text{бл}}$ также формируется в кубичном члене ряда (5.1) при $U_{\text{вх}} = U_c + U_{\text{п}} = U_{mc} \cos \omega_c t + U_{мп} \cos \omega_{\text{п}} t$. Из четвёртого слагаемого в скобках (5.14) получим

$$\begin{aligned} K_3 U_{\text{вх}}^3 &\rightarrow U_{\text{бл}} = 3K_3 U_{mc} \cos \omega_c t \cdot U_{мп}^2 \cos^2 \omega_{\text{п}} t = \\ &= 3K_3 U_{mc} U_{мп}^2 \cos \omega_c t \cdot (1/2) \cdot (1 + \cos 2\omega_{\text{п}} t) \equiv \frac{3}{2} K_3 U_{mc} U_{мп}^2 \cos \omega_c t. \end{aligned}$$

На основании этого выражения для коэффициента блокирования запишем

$$K_{\text{бл}} = \frac{U_{\text{бл}}}{K_1 U_{mc}} = \frac{3K_3 U_{mc} U_{мп}^2}{2K_1 U_{mc}} = \frac{3K_3 U_{мп}^2}{2K_1}. \quad (5.19)$$

Характерной особенностью коэффициента блокирования является его независимость от амплитуды полезного сигнала. Следует обратить внимание на отличие коэффициента блокирования, который является многосигнальным параметром, от коэффициента сжатия, который является односигнальным параметром.

Явление переноса модуляции помехи на несущую полезного сигнала называется перекрёстной модуляцией, а искажения такого вида – перекрёстными искажениями. Составляющая $U_{\text{пер}}$ также формируется в кубичном члене ряда (5.1). При наличии АМ полезного сигнала и помехи с глубинами модуляции соответственно m_c и $m_{\text{п}}$

$$U_{\text{вх}} = U_{mc} [1 + m_c \cos \Omega_c t] \cos \omega_c t + U_{мп} [1 + m_{\text{п}} \cos \Omega_{\text{п}} t] \cos \omega_{\text{п}} t.$$

Из четвёртого слагаемого в скобках (5.14) для сигнала искажений получим

$$\begin{aligned} K_3 U_{\text{вх}}^3 \rightarrow U_{\text{пер}} &= 3K_3 U_{mc} [1 + m_c \cos \Omega_c t] \cos \omega_c t \cdot U_{mn}^2 [1 + m_{\Pi} \cos \Omega_{\Pi} t]^2 \cos^2 \omega_{\Pi} t = \\ &= 3K_3 U_{mc} \cos \omega_c t \cdot U_{mn}^2 [1 + 2m_{\Pi} \cos \Omega_{\Pi} t + m_{\Pi}^2 \cos^2 \Omega_{\Pi} t] \cdot (1/2) \cdot (1 + \cos 2\omega_{\Pi} t) \equiv \\ &\equiv \frac{3}{2} K_3 U_{mc} (1 + 2m_{\Pi} \cos \Omega_{\Pi} t) U_{mn}^2 \cos \omega_c t \equiv 3K_3 m_{\Pi} U_{mc} U_{mn}^2 \cos \Omega_{\Pi} t. \end{aligned}$$

Составляющая полезного сигнала в этом случае равна

$$K_1 U_{mc} \rightarrow K_1 U_{mc} [1 + m_c \cos \Omega_c t] \cos \omega_c t \equiv K_1 U_{mc} m_c \cos \Omega_c t.$$

В результате для коэффициента перекрёстных искажений можно записать

$$K_{\text{пер}} = \frac{U_{\text{пер}}}{K_1 U_{mc}} = \frac{3K_3 m_{\Pi} U_{mc} U_{mn}^2}{K_1 m_c U_{mc}} = \frac{3K_3 m_{\Pi} U_{mn}^2}{K_1 m_c}. \quad (5.20)$$

Рассмотренные нелинейные эффекты определяют многосигнальную (эффективную) избирательность РПрУ при наличии нескольких сигналов на входе (обычно достаточно двух). Из-за нелинейности характеристик усилительных элементов в этом случае начинают проявляться нелинейные эффекты: интермодуляция, перекрёстная модуляция, блокирование и т. д. Количественная оценка эффективной избирательности определяется как степень подавления помехи при расстройке и заданной величине коэффициента нелинейных искажений конкретного вида. Например: эффективная избирательность по интермодуляции определяется при заданном коэффициенте интермодуляции соответствующего порядка, эффективная избирательность по блокированию определяется при заданном коэффициенте блокирования, эффективная избирательность по перекрёстным искажениям определяется при заданном коэффициенте перекрёстных искажений и т. д.

В точке приёма, как правило, складывается сложная электромагнитная обстановка. Выражается это в присутствии на входе РПрУ группового сигнала, состоящего из большого числа интенсивных колебаний с различными амплитудами и частотами. В результате проявления нелинейных эффектов реальная характеристика частотной избирательности оказывается значительно хуже. Кроме областей с ослабленной линейной избирательностью она дополняется областями с ослабленной нелинейной избирательностью (рисунок 5.3).

Появляются так называемые побочные каналы приёма – это дополнительные линейные и нелинейные каналы с частотами, отличными от частоты основного канала, появляющиеся за счёт неидеальности характеристик усилительно – преобразовательного тракта супергетеродинного приёмника.

Так как

$$f_{\text{ПЧ}} = |mf_c \pm nf_r|,$$

то частоты побочных каналов можно рассчитать по формуле

$$f_c = f_{\text{ПК}} = \frac{|f_{\text{ПЧ}} \pm nf_r|}{m}.$$

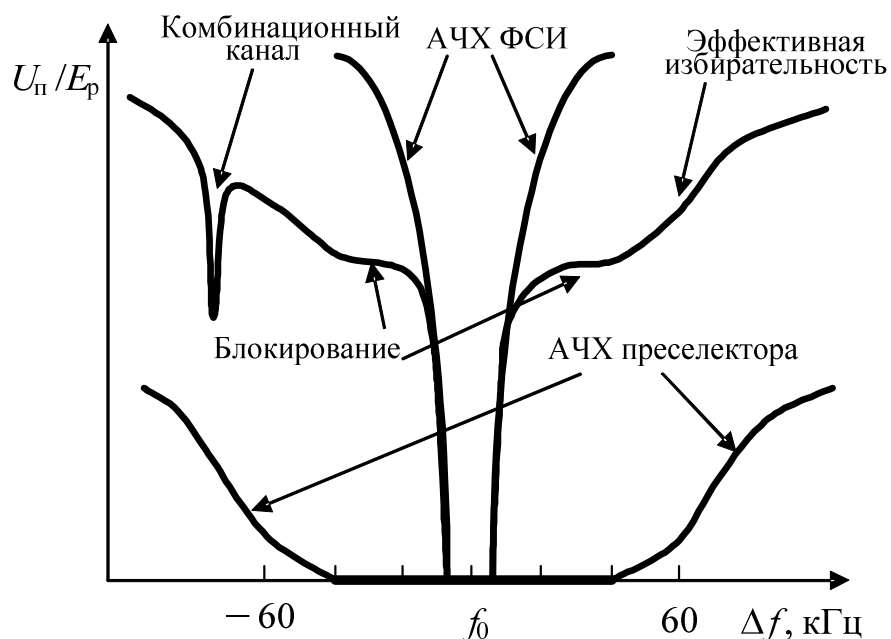


Рисунок 5.3 – Характеристика двухсигнальной избирательности РПрУ

ЗК, или симметричный канал – это дополнительный линейный канал с частотой, отличной от частоты полезного сигнала, появляющийся при $m = n = 1$ за счёт особенностей работы ПрЧ супергетеродинного приёмника. Нелинейные каналы проявляются при $m > 1$, т. е. за счёт нелинейной обработки входных сигналов.

ПК – это побочный канал с частотой, равной ПЧ, появляющийся за счёт неидеальности работы смесителя супергетеродинного приёмника (появляется при $n = 0$ и $m = 1$).

Таким образом, при многосигнальном входном воздействии нелинейное поражение РПрУ может происходить при попадании комбинационных составляющих на частоты зеркального, прямого или основного каналов.

Повышение линейности или расширение динамического диапазона АЭ способствует решению проблемы ЭМС радиоэлектронной аппаратуры.

5.2 Описание лабораторного модуля

Модуль содержит (рисунок 5.4): резистивный сумматор ($R1, R2$), ВЦ $L1, L2, C5, R3$, апериодический каскад на транзисторе $VT3$ с ПКФ $ZQ1$, широкополосный каскад на ОУ $DA1$, диодный АД с удвоением напряжения ($C18, VD1, VD2, C19, R24$), усилительный тракт на основе структуры с прямой связью.

В состав структуры с прямой связью входят: канал сигнала ($VT1, VT2$) и канал ошибки ($VT4, VT5$). Подбор условий настройки обеспечивается потенциометром $R17$ и конденсаторами $C7-C9$. Вся необходимая коммутация узлов и режимов работы модуля производится с помощью герконовых реле $K1 - K17$.

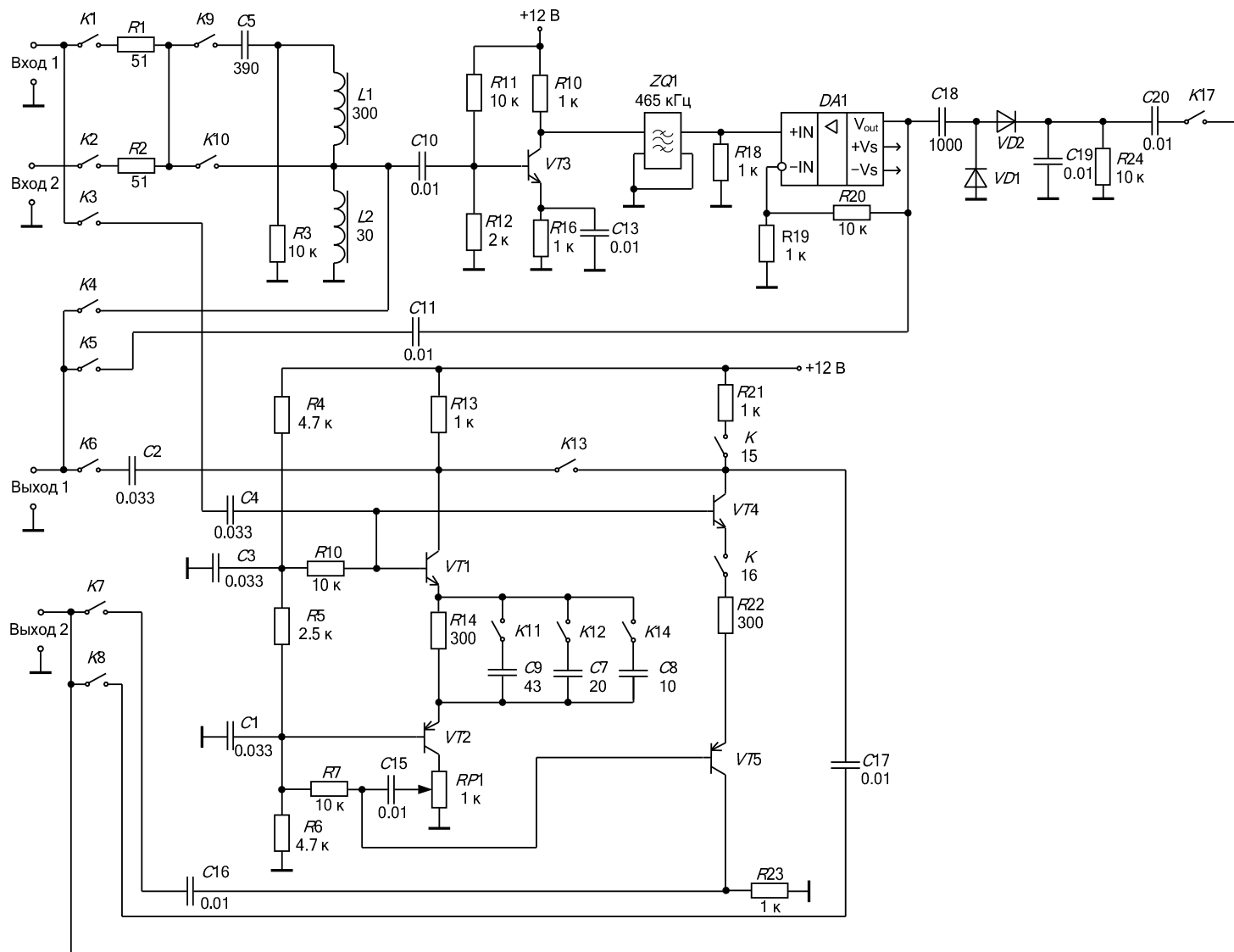


Рисунок 5.4 – Принципиальная схема модуля

5.3 Порядок проведения лабораторной работы

5.3.1 Измерение односигнальной избирательности тракта

Установить на выходе ГС1 $U_{ГС1} = 1$ мВ, ГС2 выключить. Положения реле привести в соответствии с таблицей 5.1. К разъёму «Вход 1» подключить ГС. К разъёму «Выход 1» подключить милливольтметр.

Таблица 5.1 – Положения реле

K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17
вкл	выкл	выкл	вкл	выкл	выкл	выкл	выкл	вкл	выкл	выкл	выкл	выкл	выкл	выкл	выкл	выкл

Подстроить ГС1 по максимальному показанию милливольтметра на выходе ВЦ. Установить уровень входного сигнала $U_{вхf_0}$ на частоте резонанса, при котором уровень выходного сигнала составит $U_{вых} = 10$ мВ. Определить частоту настройки f_0 и полосу пропускания ВЦ.

Измерить односигнальную избирательность ВЦ. Для этого изменяя частоту ГС1 в диапазоне от 300 до 675 кГц и увеличивая уровень входного сигнала $U_{вхf}$ на частоте помехи для получения на выходе уровня $U_{вых} = 10$ мВ, рассчитать коэффициент избирательности по формуле

$$S = 20 \lg(U_{вхf} / U_{вхf_0}).$$

Внести результат измерения в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Характеристика односигнальной избирательности ВЦ

	Расстройка относительно f_0 , кГц													
	-150	-100	-70	-50	-20	-10	0	10	20	50	100	150	225	
$U_{вхf}$, мВ														
S , дБ							0							

Установить положения реле K4 – «выкл», K5 – «вкл». Подстроить ГС1 по максимальному показанию милливольтметра на выходе тракта с ПКФ, изменяя уровень $U_{ГС1}$ установить уровень выходного сигнала макета $U_{выхf_0} = 1000$ мВ, определить центральную частоту настройки f_0 , полосу пропускания.

Измерить односигнальную избирательность тракта с ПКФ. Для этого изменяя частоту ГС1 в диапазоне от 300 до 675 кГц измерить значение $U_{выхf}$ при постоянном значении $U_{ГС1}$ и рассчитать коэффициент избирательности по формуле

$$S = 20 \lg(U_{выхf_0} / U_{выхf}).$$

Внести результат измерения в таблицу 5.3.

По данным таблиц 5.2 и 5.3 построить графики односигнальной избирательности ВЦ и усилительного тракта с ПКФ в логарифмическом масштабе, совместив их на одной диаграмме.

Таблица 5.3 – Характеристика односигнальной избирательности тракта с ПКФ

	Расстройка относительно f_0 , кГц												
	-22,5	-15	-10	-5	-2	-1	0	1	2	5	10	15	22,5
$U_{\text{вых}f_0}$ мВ							1000						
S , дБ							0						

5.3.2 Измерение интермодуляционных искажений

Установить положения реле в соответствии с таблицей 5.4. К разъёму «Вход 1» подключить ГС1. К разъёму «Вход 2» подключить ГС2. К разъёмам «Выход 1» и «Выход 2» подключить милливольтметры.

Таблица 5.4 – Положения реле

K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17
ВКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ

Установить частоты сигналов помех на ГС1 $f_{п1} = 1000 + f_0$ кГц, на ГС2 $f_{п2} = 1000$ кГц, выходной уровень обоих генераторов $U_{\text{вх.п}} = 0,01$ В. Подстроить частоту генератора ГС1 по максимальному уровню выходного сигнала $U_{\text{вых.им2}}$ на частоте, совпадающей с частотой настройки тракта $f_{\text{им2}} = f_{п2} - f_{п1} = f_0$ и обусловленной проявлением во входном каскаде эффекта интермодуляции 2-го порядка.

Выключить ГС2, настроить ГС1 на частоту f_0 , подстроить частоту ГС1 по максимуму выходного напряжения и, регулируя уровень сигнала ГС1, добиться на выходе тракта напряжения, равного $U_{\text{вых.им2}}$. По показаниям аттенюатора ГС1 определить уровень входного сигнала $U_{\text{вх.с}}$.

Рассчитать коэффициент интермодуляции 2-го порядка по формуле

$$K_{\text{им2}} = 20 \lg \left(\frac{U_{\text{вх.с}}}{U_{\text{вх.п}}} \right), \text{ дБ.}$$

Установить частоты сигналов помех на ГС1 $f_{п1} = 1550$ кГц, на ГС2 $f_{п2} = 1000$ кГц, выходной уровень обоих генераторов – $U_{\text{вх.п}} = 0,01$ В. Подстроить частоту генератора ГС1 по максимальному уровню выходного сигнала $U_{\text{вых.им3}}$ на частоте, совпадающей с частотой настройки тракта $f_{\text{им3}} = 2f_{п2} - f_{п1} = f_0$ и обусловленной проявлением во входном каскаде эффекта интермодуляции 3-го порядка.

Выключить ГС2, настроить ГС1 на частоту f_0 , подстроить частоту ГС1 по максимуму выходного напряжения и, регулируя уровень сигнала ГС1, добиться на выходе тракта напряжения, равного $U_{\text{вых.им3}}$. По показаниям аттенюатора ГС1 определить уровень входного сигнала $U_{\text{вх.с}}$.

Рассчитать коэффициент интермодуляции 3-го порядка по формуле

$$K_{\text{им}3} = 20 \lg \left(\frac{U_{\text{вх.с}}}{U_{\text{вх.п}}} \right), \text{ дБ.}$$

Результаты измерений записать в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 – Интермодуляционные искажения

Параметр	Интермодуляция 2-го порядка	Интермодуляция 3-го порядка
$U_{\text{вх.п}}, \text{ мВ}$		
$U_{\text{вх.с}}, \text{ мВ}$		
$K_{\text{им}2}$		–
$K_{\text{им}3}$	–	

5.3.3 Измерение двухсигнальной избирательности тракта по блокированию

Установить положения реле в соответствии с таблицей 5.6.

Таблица 5.6 – Положения реле

K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17
вкл	вкл	выкл	выкл	вкл	выкл	выкл	выкл	вкл	выкл	выкл	выкл	выкл	выкл	выкл	выкл	вкл

Установить частоту полезного сигнала на ГС1 f_0 . Подстроить частоту генератора ГС1 по максимальному показанию милливольтметра на выходе тракта «Выход 1», установить выходной уровень генератора (входного полезного сигнала) $U_{\text{вх}f_0} = 20 \text{ мВ}$. Измерить уровень выходного сигнала $U_{\text{вых}f_0}$ на выходе.

Включить ГС2, установить уровень блокирующей помехи $U_{\text{вх}f_{\text{п}}} = 20 \text{ мВ}$ и частоту помехи $f_{\text{п}} = 300 \text{ кГц}$. Увеличить уровень сигнала помехи на выходе генератора ГС2 до значения, при котором уровень выходного полезного сигнала уменьшится до значения $U_{\text{вых}f_{\text{п}}} = 0,9 U_{\text{вых}f_0}$ ($K_{\text{бл}} = 10\%$). Результат внести в таблицу 5.7. Повторить измерения для частот $f_{\text{п}}$, указанных в таблице. Рассчитать коэффициент избирательности по блокированию по формуле

$$S = 20 \lg \left(\frac{U_{\text{вх}f_{\text{п}}}}{U_{\text{вх}f_0}} \right).$$

Таблица 5.7 – Двухсигнальная избирательность тракта с ПКФ по блокированию

	Частота блокирующей помехи $f_{\text{п}}, \text{ кГц}$															
	300	315	330	350	370	390	410	430	470	495	520	550	580	610	640	675
$U_{\text{вх}f_{\text{п}}}, \text{ мВ}$																
$S, \text{ дБ}$																

Сравнить результаты измерения по таблицам 5.3 и 5.7.

5.3.4 Измерение перекрёстных искажений

Установить положения реле в соответствии с таблицей 5.6. Установить частоту полезного сигнала на ГС1 f_0 , частоту модуляции 1000 Гц и глубину модуляции 30 %, $U_{вхf_0} = 20$ мВ. Подстроить частоту генератора ГС1 по максимальному показанию милливольтметра на выходе высокочастотного тракта «Выход 1». Изменяя уровень входного сигнала $U_{вхf_0}$ установить на выходе тракта уровень высокочастотного сигнала примерно $U_{выхf_0} = 2$ В. Измерить уровень низкочастотного полезного сигнала на выходе детектора $U_{вых.нч}$ «Выход 2».

Включить генератор помехи, установить частоту помехи 1,5 МГц, выключить модуляцию полезного сигнала и включить модуляцию помехи, установив частоту модуляции 1000 Гц и глубину 30 %. Уровень $U_{вх.п}$ мешающего сигнала изменить до получения на выходе уровня низкочастотного напряжения, обусловленного переносом модуляции с помехи на сигнал, на 20 дБ меньше уровня полезного сигнала $U_{вых.нч}$, что соответствует коэффициенту перекрёстной модуляции $K_{пер} = 10$ %.

Чтобы убедиться в том, что сигнал вызван перекрёстными искажениями, необходимо отключить несущую полезного сигнала, уменьшая выходной уровень генератора ГС1. Сигнал помехи на выходе детектора должен значительно уменьшиться. Необходимо проверить влияние генератора ГС2 на значение $U_{выхf_0}$. Для этого выключить модуляцию генератора ГС2 и включить модуляцию генератора ГС1. Если из-за ГС2 уровень $U_{вых.нч}$ изменился, что может быть обусловлено эффектом блокирования, то аттенуатором ГС1 добиться получения прежнего значения $U_{вых.нч}$. После чего измерение повторить.

Результат внести в таблицу 5.8.

Таблица 5.8 – Перекрёстные искажения

Параметр	Значение
$U_{вх.f_0}$, мВ	
$U_{выхf_0}$, В	2
$U_{вых.нч}$, мВ	
$U_{вх.п}$, мВ	
$K_{пер}$, %	10

5.3.5 Исследование Z-структуры

Установить положения реле в соответствии с таблицей 5.9. Установить частоту полезного сигнала на ГС $f_0 = 100$ кГц, $U_{вх} = 500$ мВ.

Таблица 5.9 – Положения реле

K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17
ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ

Измерить уровень выходного сигнала $U_{вых}$ и коэффициент гармоник с отключённым каналом ошибки («Выход 1»).

С помощью осциллографа наблюдать осциллограмму сигнала ошибки («Выход 2»). Вращая потенциометр $RP1$, добиться максимально возможной компенсации основной гармоники на резисторе нагрузки канала ошибки $R21$ и формирования в канале ошибки сигнала искажений $U_{\text{ош}}$.

Постепенно увеличивая ёмкость фазосдвигающего конденсатора ($C11$, $C12$, $C14$ в различных комбинациях) переключением положений реле $K11$, $K12$, $K14$ в состояние «вкл», добиться более точной компенсации первой гармоники сигнала. При необходимости повторить манипуляции с потенциометром $R17$.

Установить положения реле $K7$ – «вкл», $K8$ – «выкл», $K13$ – «вкл», $K15$ – «выкл». Измерить уровень выходного сигнала $U_{\text{вых}}$ и коэффициент гармоник с включённым каналом ошибки («Выход 1»). Переводя реле $R16$ в состояние «выкл», убедиться в увеличении уровня искажений. Результат измерений внести в таблицу 5.10.

Таблица 5.10 – Характеристики структуры с прямой связью

Параметр	$f_0 = 100$ кГц		$f_0 = 1000$ кГц	
	Канал ошибки выключен	Канал ошибки включён	Канал ошибки выключен	Канал ошибки включён
$U_{\text{вых}}$, мВ				
$U_{\text{ош}}$, мВ				
$C_{\text{опт}}$, пФ				
K_{Γ} , %				

Исследовать частотные свойства Z -структуры. Для этого установить частоту ГС $f_0 = 1000$ кГц, $U_{\text{вх}} = 500$ мВ и повторить измерения. Результат измерений внести в таблицу 5.10.

5.4 Дополнительные указания

Отчёт по лабораторной работе должен содержать схему стенда, таблицы с результатами измерений, расчёт коэффициентов интермодуляции 2-го и 3-го порядка по данным таблицы 5.5, расчёт коэффициента перекрёстных искажений по данным таблицы 5.8, графики снятых зависимостей по данным таблиц 5.2, 5.3, 5.7, выводы о полученных в ходе выполнения работы результатах.

5.5 Контрольные вопросы

1. Чем объясняется появление НИ в ВЧ трактах радиоприёмников? Как они проявляются?
2. Какой метод положен в основу анализа НИ в ВЧ трактах?
3. Объяснить механизм возникновения явления блокирования.
4. Как возникает перекрёстная модуляция?
5. Как возникает интермодуляция?
6. Чем определяется величина НИ в ВЧ-трактах радиоприёмников?

7. Какие практические меры позволяют уменьшать НИ?
8. В чём отличие эффективной избирательности от односигнальной?