

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П.КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХРЕГЕНЕРАТИВНОГО
ПРИЕМНИКА С АВТОСУПЕРИЗАЦИЕЙ

Методические указания к лабораторной работе

САМАРА 2001

Ц е л ь р а б о т ы: исследование классического сверхрегенератора (СР) с автосуперизацией путем наблюдения эпюр напряжений в характерных точках схемы.

Анализу подлежит:

- влияние на параметры СР режима транзистора по постоянному току;
- зависимость параметров и режима работы от частоты суперизации;
- зависимость формы АЧХ СР от режима работы СР.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Приемники на основе сверхрегенеративного детектора применяются, в силу особенностей их характеристик, в системах дистанционного управления моделями и игрушками, а также в простейших радиотелефонах (авиационные аварийные радиостанции Р855-УМ, радиостанции, используемые в цехах, на стройплощадках, радиостанции - игрушки и т.п.). Для этих устройств характерна работа в условиях большого динамического диапазона входных сигналов и низкие требования к уровню нелинейных искажений. Простота схемной реализации и малый ток потребления делают наиболее желательным в этих условиях использование некогерентного СР с автосуперизацией, работающего в нелинейном режиме.

1.1. Принцип сверхрегенеративного усиления сигналов

Известно, что положительная обратная связь (ПОС) в УРЧ позволяет увеличить эквивалентную добротность контура путём компенсации активных потерь в нём внесением отрицательного сопротивления. Это явление называется умножением добротности и описывается выражением

$$\frac{Q_3}{Q_0} = \frac{d_0}{d_0 - MS\omega_0}, \quad (1.1)$$

где Q_0 - исходная добротность регенерируемого контура; Q_3 - эквивалентная добротность; M - взаимоиндуктивность обратной связи; ω_0 - резонансная частота контура; S - крутизна транзистора (крутизна прямой передачи четырехполосника).

Очевидно, что затухание регенерируемого контура $d_p = d_0 - MS_0$ может быть сделано равным нулю или даже отрицательным путём изменения одной из величин, стоящих в знаменателе правой части выражения (1.1). В классическом СР это делается с помощью крутизны S .

Процессы, происходящие в СР, иллюстрируются рис. 1.1.

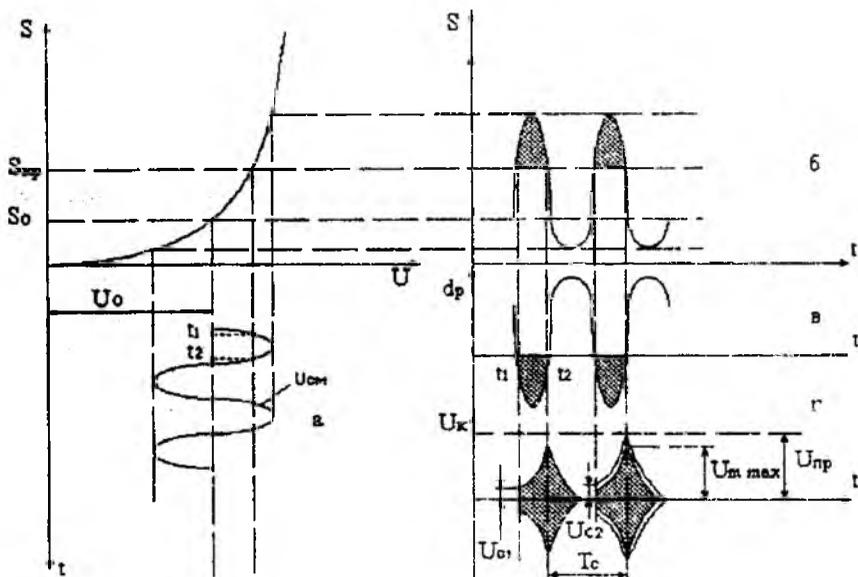


Рис. 1.1

Выбором исходного напряжения смещения на базе транзистора U_0 обеспечивается условие $S_0 < S_{кр}$, где $S_{кр}$ - значение крутизны, при котором затухание в контуре обращается в нуль. Если выбрать S_0 близкой к $S_{кр}$, то можно получить очень большой коэффициент усиления (теоретически). Так и делают в регенеративных усилителях. Однако режим регенеративного усиления очень неустойчив. Чем ближе значение крутизны к величине $S_{кр}$, тем больше вероятность того, что под действием дестабилизирующих факторов это значение будет превышено и усилитель перейдет в режим самовозбуждения.

В итоге удаётся повысить коэффициент усиления не более чем в 5-10 раз.

Чтобы устранить этот недостаток, в СР крутизна S на короткое время t_1-t_2 принудительно делается больше $S_{кр}$ путём подачи на базу транзистора дополнительного напряжения смещения ($u_{см}$), изменяющегося по периодическому закону (рис. 1.1,а). В результате на контуре образуются так называемые “вспышки” высокочастотных колебаний на частоте его настройки в течение времени t_1-t_2 . (рис. 1.1, г). Закон изменения их амплитуды описывается выражением

$$U_m(t) = U_c \exp\left(\frac{t\omega_0 d_0}{2}\right), \quad (1.2)$$

где U_c - амплитуда сигнала, введенного в контур. Напряжение на контуре будет нарастать, поскольку затухание d_p - отрицательно.

В момент времени t_2 затухание контура становится положительным и амплитуда начинает уменьшаться по экспоненциальному закону.

Из формулы (и рис. 1.1, г) очевидно, что максимальная амплитуда “вспышек” $U_{m \max}$ и, как следствие, их длительность будут пропорциональны амплитуде входного сигнала U_c . Если U_c является функцией времени (входной сигнал амплитудно - модулированный), то и огибающая “вспышек” будет повторять закон модуляции. Достаточно протестировать их, например, пиковым детектором, чтобы выделить полезный сигнал. Чтобы не было потерь полезной информации, очевидно, необходимо удовлетворить условиям теоремы Котельникова

$$T_c \leq \frac{1}{2F_b}, \quad (1.3)$$

где T_c - период напряжения суперизации; F_b - наибольшая частота в спектре модулирующего сигнала.

Если амплитуда “вспышек” не достигает в процессе работы СР предельно возможной величины $U_{пр}$, то режим работы усилителя будет линейным, если же достигает, то происходит ограничение амплитуды и режим становится нелинейным. В последнем случае пропорционально входному сигналу будет меняться только длительность высокочастотных “вспышек”.

Если период суперизации выбран таким, что к моменту начала очередной “вспышки” колебания предыдущей успели уменьшиться

до нуля (точнее до уровня собственных шумов), то начальная фаза новой “вспышки” будет определяться фазой прижимасмых колебаний в этот момент. Такой режим называется некогерентным. Если новая “вспышка” начинается как продолжение предыдущей, то разрыва фазы не происходит, что обеспечивает существование когерентного режима.

Формы АЧХ для различных режимов работы приведены на рис. 1.2, где а - некогерентный режим, б, в - когерентный при различных значениях d_p . Когерентный режим используется редко в силу его склонности к самовозбуждению.

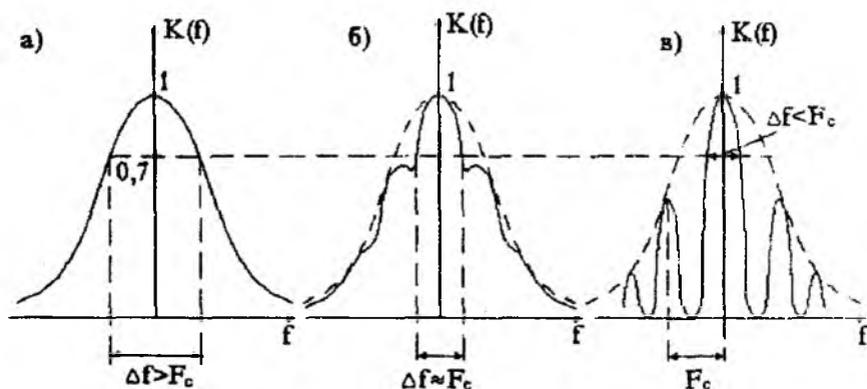


Рис. 1.2

1.2. Коэффициент усиления СР

Для вывода коэффициента усиления в некогерентном режиме воспользуемся рис. 1.3, на котором изображена зависимость амплитуды колебаний на контуре от времени.

Кривая (1) соответствует наличию в её контуре только собственных шумов со средним значением амплитуды $U_{ш}$. При подаче в контур сигнала с амплитудой U_c площадь под кривой возрастает на величину

$$\Delta S = S_2 - S_1 \approx S_2. \quad (1.4)$$

При линейном детектировании “вспышек” приращение постоянной составляющей на выходе СР, обусловленное действием усиливаемого сигнала, будет определяться выражением

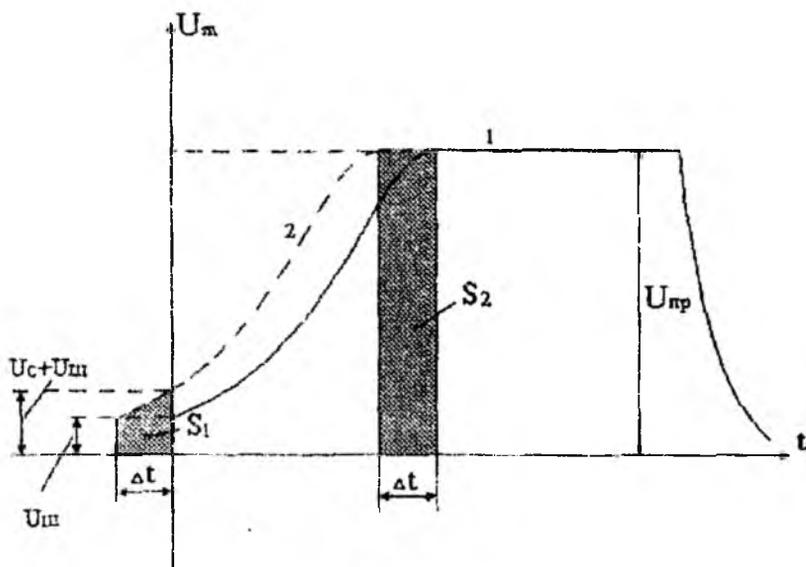


Рис. 13

$$\Delta U = AF_c \Delta S \approx AF_c S_2, \quad (1.5)$$

где A - коэффициент пропорциональности, зависящий от детекторных свойств схемы;

$$S_2 = U_{пр} \cdot \Delta t.$$

Интервал Δt можно найти из выражения (см. рис. 1.3)

$$U_c + U_m = U_m \cdot \exp(\Delta t R_p / 2L), \quad (1.6)$$

где R_p - сопротивление (отрицательное) потерь в контуре при регенерации; L - индуктивность контура.

Прологарифмировав обе части равенства, получим

$$\Delta t = \frac{2L}{R_p} \ln \left(\frac{U_c + U_m}{U_m} \right).$$

После несложных подстановок выражение (1.5) примет вид

$$\Delta U = AF_c U_{пр} \frac{2L}{R_p} \ln \left(1 + \frac{U_c}{U_m} \right).$$

Разделив обе части на величину ЭДС сигнала, вводимого в контур (E_c), получим выражение для коэффициента усиления:

$$K_u = AF_c U_{\text{пр}} \frac{2L}{R_p E_c} \ln \left(1 + \frac{E_c Q_p}{U_{\text{ш}}} \right) \quad (1.7)$$

Выражение (1.7) справедливо для случая усиления импульсных сигналов, когда глубина модуляции равна 100%. В противном случае E_c необходимо умножить на коэффициент глубины модуляции.

Из выражения (1.7) видно, что СР в нелинейном режиме обеспечивает автоматическую регулировку усиления (K зависит от E_c).

Рассуждения, аналогичные вышеописанным, позволяют получить выражение для коэффициента усиления СР, работающего в линейном режиме:

$$K_u = AF_c \Phi, \quad (1.8)$$

$$\text{где } \Phi = \left[\left(\frac{2L}{R_p} + \frac{2L}{R} \right) \exp \left(\frac{R_p T_1}{2L} \right) - \frac{2L}{R_p} - \frac{2L}{R} \exp \left(T_1 \frac{R_p + R}{2L} - T_2 \frac{R}{2L} \right) \right];$$

R - сопротивление потерь контура без регенерации; T_1, T_2 - время нарастания и время спада колебаний в контуре.

Оба коэффициента, как это явствует из выражений (1.7) и (1.8), пропорциональны частоте суперизации F_c . При некогерентном режиме T_c должен обеспечивать время на полное загухание каждой из «вспышек», т.е. должно выполняться условие (см. рис.1.1, г)

$$T_c \geq 2 \dots 3 \tau_x, \quad (1.9)$$

где $\tau_x = \frac{2Q_0}{\omega_0}$ - постоянная времени контура.

Очевидно для этого требуется выполнить условие

$$F_c \leq \frac{f_0}{2Q_0}. \quad (1.10)$$

1.3. Принцип действия СР с автосуперизацией

В практических схемах СР часто генератор вспомогательной частоты F_c , детектор и собственно сверхрегенеративный усилитель совмещают в одном каскаде.

Классическая схема такого устройства изображена на рис. 1.4.

Элементы R_D , R_E обеспечивают требуемый режим каскада по постоянному току. Конденсатор $C_{ос}$ совместно с дросселем $L_{др}$ образуют цепь ПОС для высокочастотных колебаний.

Напряжение обратной связи $U_{ос}$ через малые сопротивления конденсаторов C_3 и $C_{бт1}$ практически полностью прикладывается к участку б-э транзистора.

Элементы R_3 и C_3 являются частотно-задающими для генерации напряжения суперизации пилообразной формы. R_Φ и C_Φ образуют фильтр нижних частот, выделяющий из спектра эмиттерного тока полезный сигнал. C_p предотвращает прохождение на выход схемы постоянной составляющей. Принимаемый сигнал подается непосредственно в контур $L_k C_k$ через малую емкость $C_{св}$.

Принцип действия удобно рассмотреть с использованием графиков напряжений в различных точках схемы, изображенных на рис. 1.5. Пусть в момент времени t_1 напряжение на базе транзистора достигло величины, при которой крутизна принимает значение $S_{кр}$. В контуре (при отсутствии полезного сигнала) начинают нарастать колебания (рис. 1.5, а) в соответствии с законом

$$U_x(t) = U_m \exp(t/\tau_p),$$

$$\text{где } \tau_p = 2Q_0 / \omega_0 = 2r_n / L.$$

Коллекторный ток транзистора увеличивается (рис. 1.5, б), обеспечивая быстрый заряд конденсатора C_3 (рис. 1.5, в). Напряжение обратной связи U_L на дросселе $L_{др}$ (рис. 1.5, г) складывается с нарастающим напряжением конденсатора C_3 . Результирующее напряжение на эмиттере изображено на рис. 1.5, д. Напряжение на участке б-э транзистора будет представлять алгебраическую сумму U_3 и напряжения обратной связи U_L (рис. 1.5, е). На отрезке времени $t_1 \dots t_2$ крутизна транзистора будет превышать значение $S_{кр}$, а значит, будут существовать условия нарастания колебаний в контуре.

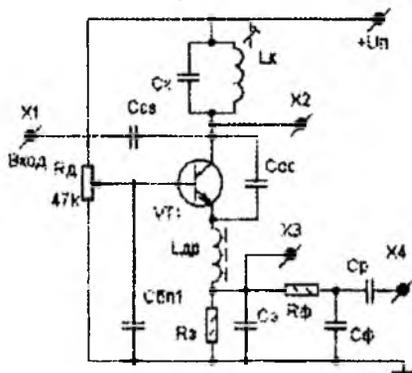


Рис. 1.4

Полезно отметить, что это возможно только при условии, что *крутизна нарастания в/ч напряжения на контуре больше крутизны напряжения суперизации* (см. рис. 1.5, е). Только в этом случае возможно превышение суммарным напряжением $U_{\text{бэ кр}}$ величины $U_{\text{бэ кр}}$. Это накладывает соответствующие условия на степень регенерации контура (величину обратной связи) и постоянную времени цепи $R_3 C_3$.

В момент времени t_2 крутизна становится меньше $S_{\text{кр}}$ и амплитуда колебаний на контуре начинает убывать, уменьшается и коллекторный ток. В момент t_3 транзистор полностью запирается и начинается разряд конденсатора C_3 через резистор R_3 . Колебания в контуре спадают до момента t_4 со скоростью, определяемой собственной постоянной времени контура. *Необходимым условием затухания колебаний на интервале $t_2 \dots t_4$, как это видно из рисунка, является преобладание крутизны спада напряжения на контуре над крутизной уменьшения напряжения суперизации, т.е.*

$$\tau_k < R_3 C_3. \quad (2.11)$$

Детальный анализ рис. 1.5 говорит о том, что если это условие не выполняется на интервале $t_3 \dots t_4$, то в СР установится когерентный режим, а если и на интервале $t_2 \dots t_3$, то усилитель перейдет в режим непрерывной генерации.

В момент t_5 суммарное напряжение на базе транзистора станет равным нулю и далее транзистор начнет открываться. В момент времени t_7 крутизна станет больше $S_{\text{кр}}$ и процессы в СР повторятся.

При поступлении в контур напряжения сигнала U_c условия для самовозбуждения выполняются раньше (момент t_6 на рис. 1.5, е) и колебания на контуре нарастут до большей величины (рис 1.5, а). При наличии амплитудной модуляции момент начала «вспышек» будет колебаться около среднего значения, т.е. «вспышки» будут промодулированы по частоте следования и длительности. Очевидно, что по такому же закону будет меняться постоянная составляющая импульсов коллекторного тока (рис. 1.5, б), а значит и эмиттерного, создавая на резисторе R_3 соответствующее падение напряжения. С помощью ФНЧ, состоящего из $R_{\text{ф}}$ и $C_{\text{ф}}$, и выделяется полезный сигнал.

В заключение необходимо отметить, что характеристики СР существенно зависят от режима транзистора по постоянному току, а значит и от стабильности питающего напряжения.

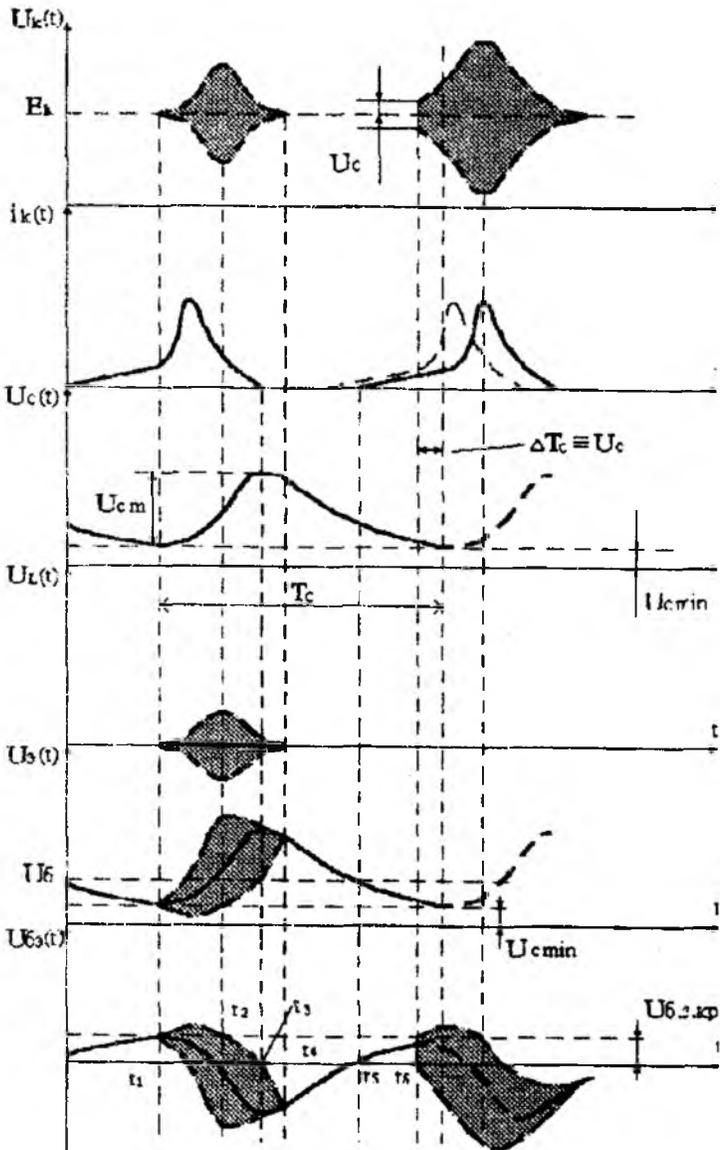


Рис. 1.5

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка состоит из действующего макета сверхрегенеративного приемника и контрольно - измерительных приборов.

Функциональная схема установки изображена на рис. 2.1, где СР - макет сверхрегенератора, ГСС - генератор стандартных сигналов Г4-106, Ч - частотомер ЧЗ-35А, О1 - двухлучевой осциллограф С1-55.

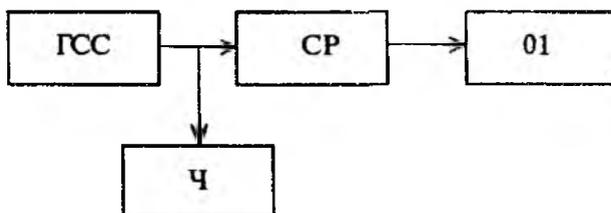


Рис. 2.1

Принципиальная схема исследуемого варианта сверхрегенератора изображена на рис. 1.4 и лицевой панели макета. Элементы схемы имеют следующие номиналы: R_x - 47 кОм; $C_{\text{бл1}}$ - 0,1мкф; $C_{\text{св}}$ - 10пф; R_s - 3,9кОм; C_s - 3300пф; $L_{\text{др}}$ - 200мкГн; C_k - 120пф; R_ϕ - 2,4кОм; C_ϕ - 0,1мкф; $C_{\text{ос}}$ - 100пф.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

3.1. Подготовка к выполнению лабораторной работы

Перед выполнением лабораторной работы необходимо во внеучебное время:

- изучить по рекомендованной литературе и конспекту принципы сверхрегенеративного приема сигналов, основные режимы работы, принцип действия СР с автосуперизацией по принципиальной схеме;

- ознакомиться со всеми разделами настоящих методических указаний;

- подготовить таблицы для записи результатов измерений и миллиметровую бумагу для вычерчивания графиков;
- ознакомиться с перечнем контрольных вопросов для подготовки ответов на них в ходе выполнения работы.

3.2. Порядок непосредственного выполнения работы

3.2.1. Подготовка макета к исследованиям

1) Соберите лабораторную установку согласно рис. 2.1. Включите измерительные приборы и источник питания макета.

2) Подайте на вход приемника высокочастотные колебания частотой $f_c = 14\text{МГц}$, амплитудой 100 мкВ. Соответствующими органами управления на ГС установите режим амплитудной модуляции с глубиной 30%. Частота внутреннего модулирующего напряжения в генераторе установлена 1кГц.

3) Установите оптимальную частоту суперизации, для чего:

а) Подключите осциллограф к гнезду Х3 макета и вращением потенциометра R_d добейтесь появления на экране пилообразного напряжения суперизации.

б) Переключите гнездо Х3 на вход частотомера и с помощью R_d установите частоту суперизации $F_c = 34\text{кГц}$.

3.2.2. Наблюдение эпюры напряжений в характерных точках схемы

1) Подключите первый вход осциллографа к гнезду Х2, а второй - к гнезду Х3 макета СР.

2) С помощью органов управления осциллографа добейтесь устойчивого изображения на экране 3-4 «вспышек» напряжения на контуре. Изменением частоты генератора в небольших пределах настройтесь точно на частоту приемника по максимуму амплитуды «вспышек».

3) Зарисуйте в отчет изображения напряжений U_x и $U_{\text{суп}}$ с сохранением временных соотношений между графиками.

4) Уменьшением длительности развертки осциллографа получите на экране изображение (как можно крупнее) одной «вспышки». Зарисуйте его в отчет с указанием масштаба по оси времени. Пользуясь рисунком, вычислите собственную добротность контура сверхгенератора Q_c .

3.2.3. Измерение чувствительности приемника

1) Установите оптимальную частоту напряжения суперизации, для чего:

- а) установите частоту генератора ГСС равной 14 МГц;
- б) с помощью выходного аттенюатора генератора установите амплитуду сигнала, подаваемого на вход приемника $U_{\text{вх}} = 100$ мкВ;
- в) подключите осциллограф к гнезду Х4 и, наблюдая на экране протектированный сигнал, добейтесь максимума его амплитуды точной настройкой частоты ГСС на частоту приемника;
- г) уточните положение ручки потенциометра R_d , максимизирующее амплитуду выходного сигнала.

2) Плавно уменьшая амплитуду сигнала на выходе ГСС, добейтесь появления «зашумленности» выходного сигнала приемника. Подключите к гнезду Х4 вольтметр и, выключив внутреннюю модуляцию ГСС, измерьте напряжение шумов $U_{\text{ш}}$. Включив режим внутренней модуляции, выходным аттенюатором ГСС установите напряжение сигнала на разъеме Х4 $U_c = 4U_{\text{ш}}$. Заново проконтролируйте напряжение шумов.

Многokратным повторением последних двух измерений добейтесь с помощью выходного аттенюатора ГСС отношения $C/\text{Ш} = 4$ (среднее значение амплитуды выходного сигнала должно примерно в два раза превышать ее среднеквадратичное отклонение). По положению ручек выходного аттенюатора ГСС определите $U_{\text{вх.мин}}$, это и есть чувствительность. Занесите результат измерения в отчет.

3.2.4. Снятие амплитудной характеристики приёмника

1) Проверьте правильность настройки приемника (пп. 1в и 1г предыдущего параграфа).

2) Изменяя величину входного напряжения ГСС в пределах 5-500 мкВ, измеряйте (при наличии шумов - усредняя) амплитуду на выходе приёмника. Результаты измерений занесите в табл. 3.1. При построении зависимости $U_{\text{вых}} = f(U_c)$ для оси абсцисс используйте логарифмический масштаб.

Обратите внимание на то, что при больших значениях входного сигнала выходной практически не изменяется. Происходит лишь улучшение отношения $C/\text{Ш}$.

3) Зарисуйте в отчете эпюру выходного напряжения при $U_{\text{вх}} = 1$ мВ. Поясните причину ухудшения формы сигнала.

Таблица 3.1

$U_{\text{вх}}^*$ мкВ	5	10	11	12	13	14	15	20	100	200	300	400	500
$U_{\text{вых}}^*$ В													

3.2.5. Снятие АЧХ приёмника

1) Установите амплитуду входного сигнала $U_c = 1\text{мВ}$.

2) Изменяя частоту входного сигнала в соответствии с табл. 3.2, измеряйте амплитуду выходного сигнала приемника. Результаты измерений занесите в таблицу. Постройте график зависимости $U_{\text{вых}} = f(U_c)$

Таблица 3.2

$f=f-f_0$, кГц	-150	-100	-50	0	50	100	150
$U_{\text{вых}}^*$ В							

3.2.6. Исследование влияния частоты суперизации на величину коэффициента усиления приемника

1) Установите напряжение на выходе ГСС $U_c = 100\text{мкВ}$.

2) Убедитесь, что приемник настроен на частоту сигнала (пп. 1в и 1г параграфа 3.2.3).

3) Подключите частотомер к гнезду Х3 макета.

4) Изменяя ручкой R_d частоту суперизации в пределах 10...40 кГц, получите данные для заполнения табл.3.3.

5) Постройте график зависимости $U_{\text{вых}} = f(F_c)$.

Таблица 3.3

F_c , кГц	15	17	19	21	23	25	27	29	31
$U_{\text{вых}}^*$ В									

3.2.7. Исследование когерентного режима

Убедитесь, что когерентный режим работы СР является неустойчивым, для чего :

- 1) Подключите осциллограф к гнезду Х2 макета.
- 2) Получите на экране изображение 3...4 «вспышек» напряжения на контуре.
- 3) Подключите частотомер к гнезду Х3 макета.
- 4) Вращением ручки потенциометра R_d увеличивайте частоту суперизации до слияния соседних «вспышек» на экране осциллографа.
- 5) Убедитесь, что после слияния (перехода в когерентный режим) усилитель самовозбуждается, измерьте частоту F_c , при которой происходит переход в режим непрерывных колебаний. Зафиксируйте её в отчете.

4. ОКОНЧАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 1) Выключите источник питания и все измерительные приборы.
- 2) Разберите лабораторную установку и сдайте рабочее место лаборанту.
- 3) Представьте преподавателю черновые записи по результатам работы.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1) Функциональная схема лабораторной установки.
- 2) Принципиальная схема исследуемого варианта сверхрегенератора.
- 3) По каждому пункту исследований таблицы с результатами измерений.
- 4) Графики полученных зависимостей, необходимые расчеты и выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Недостатки регенеративного приема.
- 2) Принцип сверхрегенеративного приема.
- 3) Режимы работы сверхрегенератора.
- 4) Принцип действия СР с автосуперизацией.

5) Чем определяется нижнее и верхнее значения напряжения на базе транзистора, при которых еще существует напряжение суперизации? (Механизм возникновения и условия существования генерации вспомогательных колебаний)?

6) Как повлияет на форму «вспышек» увеличение Q_p и Q_o ?

7) Каково должно быть в схеме соотношение крутизны нарастания напряжений U_k , $U_{суп}$ и почему?

8) Какие существуют ограничения на величину F_c и почему?

9) Чему равно собственное сопротивление потерь в контуре макета?

10) В каком режиме (линейном или нелинейном) работает СР с автосуперизацией и почему?

11) Пояснить причину «дрожания» «вспышек» на экране осциллографа.

12) Каково назначение дросселя $L_{др}$ в схеме СР?

Список рекомендуемой литературы

1. Белкин Н.И. Сверхрегенераторы. -М.: Радио и связь, 1983.
2. Сифоров В.И. Радиоприемные устройства. -М.: Воениздат, 1954.

Составитель *Днищенко Владимир Александрович*

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХРЕГЕНЕРАТИВНОГО
ПРИЕМНИКА С АВТОСУПЕРИЗАЦИЕЙ**

Методические указания к лабораторной работе

Редактор Т. К. К р е т и н и н а
Техн. редактор Г. А. У с а ч е в а
Корректор Т. И. Щ е л о к о в а

Компьютерная верстка Т. Е. П о л о в н е в а

Лицензия ЛР № 020301 от 30.12.96 г.

Подписано в печать 12.02.2001 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага газетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,93. Усл. кр.-отт. 1,05. Уч.-изд.л.1,0.

Тираж 100 экз. Заказ 37. Арт. С - 32/2001.

Самарский государственный аэрокосмический
университет им. академика С. П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

ИПО Самарского государственного
аэрокосмического университета
443001 Самара, ул. Молодогвардейская, 151.