

а 240

27/11

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени М. И. КАЛИНИНА

**ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ И РС-АВТОГЕНЕРАТОР
НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ**

Методические указания к лабораторной работе

ЛЕНИНГРАД 1990

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени М.И. КАЛИНИНА

ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ И РС-АВТОГЕНЕРАТОР
НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

Методические указания к лабораторной работе

Ленинград 1990

ВВЕДЕНИЕ

Избирательный (узкополосный) RC-усилитель и RC-автогенератор гармонических колебаний, исследуемый в лабораторной работе, построен на основе усилителя с относительно широкой полосой пропускания охваченного частотно-избирательной обратной связью.

Структурная схема избирательного усилителя приведена на рис. 1. Цепь обратной связи содержит полосовой RC-фильтр с коэффициентом передачи β , зависящим от частоты. Благодаря этому общий коэффициент усиления $K_{\beta} = \dot{U}_2 / \dot{U}_c$ всего устройства также становится функцией частоты. Фазовые соотношения в цепи обратной связи подобраны таким образом, что на одной из частот обратная связь положительна.

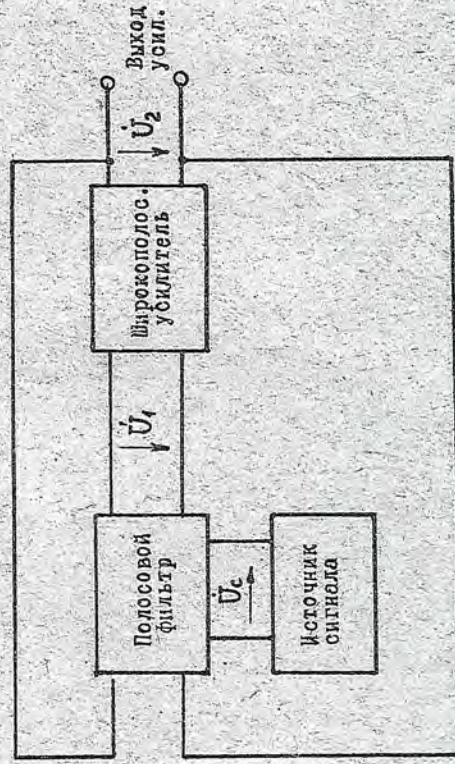


Рис. 1. Структурная схема избирательного усилителя.

Модуль коэффициента усиления $|K_{\beta}|$ максимален на этой частоте и убывает при удалении от нее. Избирательные свойства усилителя зависят от коэффициента усиления K широкополосного усилителя: чем он больше, тем больше максимальное значение $|K_{\beta}|$ и тем уже полоса пропускания. Благодаря обратной связи удается значительно уменьшить полюсу пропускания избирательного усилителя по сравнению с собственной

Избирательный усилитель и RC-автогенератор на основе операционного усилителя: Методические указания к лабораторной работе. / Сост. Б.Н.Новиков, В.А.Розов - Л.: ЛПИ, 1990. - 20 с.

Методические указания содержат описание лабораторной работы, которая входит в цикл, посвященный электронным устройствам с операционными усилителями. Этот цикл работ включен в программу лабораторных практикумов практически всех курсов по радиоэлектронике, читаемых для студентов РФФ, ФТФ, ФМФ, ВЭРТУ, ОФ. Материал, изложенный в методических указаниях, позволяет самостоятельно выполнить лабораторную работу по исследованию процессов в широко используемых современных электронных устройствах.

ПРОГРАММА РАБОТЫ

Лабораторный макет выполнен на типовом операционном усилителе широко применения 153УД5. Напряжение питания ± 15 В. Для сборки исследуемых устройств нужно установить сменные детали в соответствующие гнезда макета. Лабораторная установка укомплектована стандартными измерительными приборами и снабжена краткими инструкциями по их эксплуатации.

Программа работы состоит из трех частей:

- 1) исследование полосового RC-фильтра;
- 2) исследование избирательного усилителя;
- 3) исследование RC-автогенератора.

В первой части работы собирают полосовой RC-фильтр, находят его амплитудно-частотную (АЧХ) и фазочастотную (ФЧХ) характеристики, находят квазирезонансную частоту, коэффициент передачи на ней и полюсу пропускания фильтра.

Во второй части собирают избирательный усилитель, снимают его АЧХ при двух значениях K , находят по АЧХ полюсы пропускания и максимальные значения модуля коэффициента усиления $|K_{\beta}|$.

В третьей части нужно подобрать параметры элементов, при которых выполняются условия самовозбуждения. Используя эти элементы, собирают автогенератор, измеряют амплитуду и частоту установившихся колебаний. Затем снимают амплитудную характеристику усилителя при разомкнутой обратной связи и по ней находят амплитуду установившихся колебаний. В этой части изучают также переходной процесс возникновения колебаний в автогенераторе.

Конкретное задание по выполнению работы и рекомендации по проведению измерений приведены в конце методических указаний. В отчете по работе необходимо привести схемы исследуемых устройств; описать методику измерений; привести результаты расчетов и экспериментальных исследований; объяснить полученные зависимости и причины отличия результатов измерений от теоретических.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ИССЛЕДУЕМЫХ УСТРОЙСТВ

I. Общие соотношения

Коэффициент усиления. Найдем коэффициент усиления избирательного усилителя, структурная схема которого изображена на рис. 1. Предполагаем, что широкополосный усилитель работает в

полосой пропускания полосового фильтра.

При достижении некоторого критического значения K происходит самовозбуждение усилителя и он превращается в автогенератор. Структурную схему автогенератора можно получить, заменив на рис. 1 источник сигнала коротким замыканием.

Избирательные RC-усилители и RC-автогенераторы находят широкое применение в радиоэлектронике в диапазоне частот от единиц герц до единиц мегагерц. Отсутствие в этих устройствах больших индуктивных элементов и использование операционных усилителей делает их компактными и технологичными.

Следует отметить, что для построения избирательных RC-усилителей применяют также способ, основанный на использовании отрицательной обратной связи. В этом случае цепь обратной связи содержит заградительный фильтр, коэффициент передачи которого равен нулю на одной из частот. Коэффициент усиления $|K_{\beta}|$ имеет максимум на этой частоте и убывает при удалении от нее.

линейном режиме, а его входное сопротивление бесконечно велико. В соответствии с принципом суперпозиции для комплексных амплитуд напряжений \dot{U}_c , \dot{U}_1 , \dot{U}_2 можно записать равенство

$$\dot{U}_1 = \gamma \dot{U}_c + \beta \dot{U}_2. \quad (1)$$

Здесь $\gamma = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_c} \Big|_{\dot{U}_2=0}$ — коэффициент передачи напряжения от источника к входу широкополосного усилителя при коротком замыкании на выходе усилителя;

$\beta = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} \Big|_{\dot{U}_c=0}$ — коэффициент обратной связи, вычисляемый при коротком замыкании источника сигнала и совпадающей в рассматриваемом случае с коэффициентом передачи полосового фильтра.

Разделив левую и правую части (1) на \dot{U}_2 , и, учитывая, что $\dot{U}_2/\dot{U}_1 = K$ — коэффициент усиления широкополосного усилителя, а $\dot{U}_2/\dot{U}_c = K\beta$ — коэффициент усиления усилителя с обратной связью, получим:

$$\frac{1}{K} = \frac{\gamma}{K\beta} + \beta,$$

откуда

$$K\beta = \frac{\gamma K}{1 - \beta K}. \quad (2)$$

Коэффициенты K , γ , β в общем случае комплексны и являются функциями частоты. Представим коэффициенты β и K в виде:

$$\beta = |\beta| e^{j\varphi_\beta}, \quad K = |K| e^{j\varphi_K}. \quad (3)$$

Произведение βK , называемое коэффициентом петлевого усиления

$$\varepsilon = \beta K = |\beta||K| e^{j(\varphi_\beta + \varphi_K)} \quad (4)$$

вещественно и полагательно при $\varphi_\beta + \varphi_K = 2\pi n$, $n = 0, \pm 1, \dots$

Равенство (4) определяет частоту ω_0 , на которой обратная связь положительна. На этой частоте, как можно увидеть из (2), $|K\beta|$ мален и в пределе стремится к бесконечности при $\varepsilon(\omega_0) \rightarrow 1$. Условие самовозбуждения автогенератора, следовательно, можно записать в виде

$$\varepsilon(\omega_0) = \beta K = |\beta||K| < 1, \quad (5)$$

то усилитель устойчив. При достижении равенства $\varepsilon(\omega_0) = 1$ происходит самовозбуждение усилителя и он превращается в автогенератор. Условия самовозбуждения автогенератора, следовательно, можно записать в виде

$$\begin{aligned} 1) \quad \varphi_K(\omega_0) + \varphi_\beta(\omega_0) &= 2\pi n, \\ 2) \quad |K| > 1/|\beta(\omega_0)|. \end{aligned} \quad (6)$$

Получив общие соотношения, можно перейти к рассмотрению характеристик устройств, исследуемых в лабораторной работе.

2. Избирательный усилитель

Схема избирательного усилителя

Избирательный RC-усилитель изображен на рис.2. Он состоит из инвертирующего усилительного

каскада на операционном усилителе (OU) и полосового RC-фильтра. Коэффициент усиления инвертирующего усилителя в приближении идеального OU равен

$$K = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = 1 + \frac{R_\beta}{R_c}. \quad (7)$$

Как видно, коэффициент K является вещественным, положительным ($\varphi_K = 0$) и не зависит от частоты.

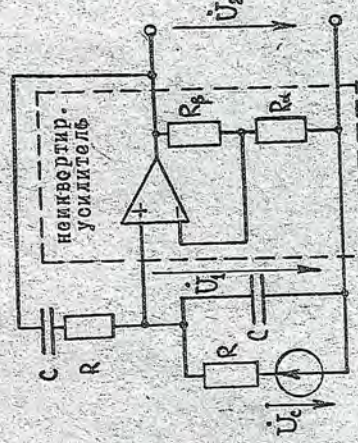


Рис.2. Избирательный RC-усилитель.

Полосового фильтра. Найдем коэффициент передачи β полосового фильтра, изображенного на рис.3. Получим выражение для него. Пусть $Z_1 = R + 1/(j\omega C)$ — комплексное сопротивление по-

следовательно соединенных элементов R и C , $Z_2 = R / (Z_1 + j\omega C)$ - комплексное сопротивление параллельно соединенных элементов R и C . Тогда

$$\beta = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (8)$$

После несложных преобразований получим:

$$\beta = \frac{1}{3 + j\zeta} \quad (9)$$

$$\text{где } \zeta = \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}, \quad \omega_0 = \frac{1}{RC}$$

Модуль и фаза коэффициента передачи имеют вид

$$|\beta| = \frac{1/\sqrt{3}}{\sqrt{1 + (\zeta/3)^2}}, \quad \varphi_\beta = -\arctg(\zeta/3) \quad (10)$$

Графики зависимости $|\beta|$ и φ_β от расстройки ζ приведены на рис. 4.

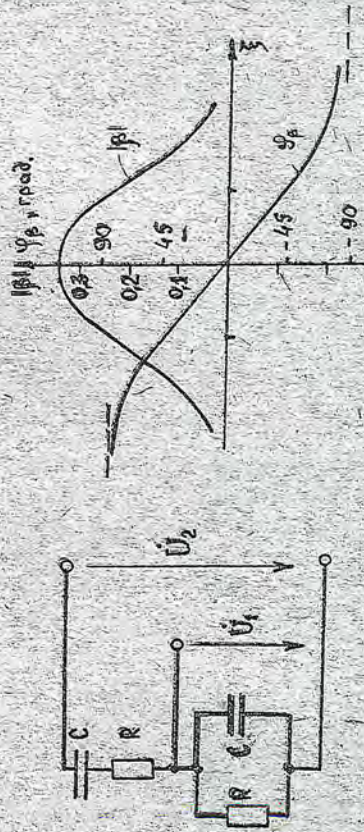


Рис. 3. Полосовой RC-фильтр.

Расстройке $\zeta = 0$ соответствует частота $\omega = \omega_0$. На этой частоте фаза коэффициента передачи $\varphi_\beta = 0$, а модуль $|\beta|$ максимален и равен $\beta_0 = 1/\sqrt{3}$. Частоту $\omega = 1/RC$ называют квазирезонансной. Границы полосы пропускания фильтра, определяемые по уровню $|\beta| =$

$= \beta_0/\sqrt{2}$, соответствуют значениям $\zeta = \pm 3$, что даст следующие значения для граничных частот: $\omega_1 = 0,3 \cdot \omega_0$, $\omega_2 = 3,3 \cdot \omega_0$. Ширина полосы пропускания $\omega_2 - \omega_1 = 3 \omega_0$.

Отметим, что амплитудно-частотная характеристика RC-фильтра подобна резонансной характеристике колебательного контура с добротностью $Q = 1/3$.

Частотные свойства RC-усилителя. Чтобы получить выражение для коэффициента усиления избирательного RC-усилителя требуется найти коэффициент γ . Для этого замкнем выход усилителя в схеме (рис. 2) и преобразуем источник ЭДС $E_c = U_c$ с сопротивлением R в эквивалентный источник тока. Тогда мы придем к схеме, изображенной на рис. 5.

Из нее видно, что

$$\gamma = \frac{1}{U_c} \cdot \frac{U_c}{R} \cdot \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{Z_1 Z_2}{R} \cdot \beta, \quad (10)$$

причем

$$Z_1 = 1 - j \frac{\omega_0}{\omega}$$

Теперь можно получить выражение для K_β , подставляя (8) и (10) в (2):

$$K_\beta = \frac{K}{3-K} \cdot \frac{1 - j \frac{\omega_0}{\omega}}{1 + j \frac{\zeta}{3-K}} \quad (11)$$

При частотах, близких к ω_0 , формулу (11) можно упростить. Запишем ее в виде:

$$K_\beta = \frac{K_0}{1 + j Q_0 \zeta} e^{-j \frac{\zeta^2}{2}}, \quad |K_\beta| = \frac{K_0}{\sqrt{1 + (Q_0 \zeta)^2}} \quad (12)$$

Здесь K_0 - значение $|K_\beta|$ при $\zeta = 0$, Q_0 - эквивалентная добротность усилителя:

$$K_0 = \frac{\sqrt{2} \cdot K}{3-K}, \quad Q_0 = \frac{1}{3-K} \quad (13)$$

Зависимость $|K_\beta|$ от частоты (для усилителя) приведена на рис. 6. Она подобна резонансной кривой колебательного контура с добротностью, равной Q_0 . Как видно из (13), значения K_0 и Q_0 растут при $K \rightarrow 3$. Относительная ширина полосы пропускания по

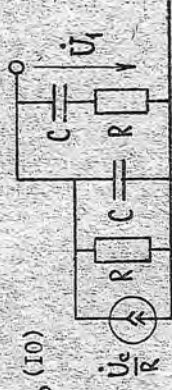


Рис. 5. Эквивалентная схема для нахождения коэффициента

уровню $K_a \sqrt{2}$ равна

$$\frac{\Delta \omega_0}{\omega_0} = \frac{1}{Q_3} \quad (14)$$
 и уменьшается при $K \rightarrow 3$.

Таким образом, включение в цепь обратной связи полосового фильтра, обладающего слабой избирательностью ($Q = 1/3$), позволяет создать усилитель с высокой избирательностью ($Q_3 \gg 1$). Однако при $K \rightarrow 3$ растет чувствительность значений K_0 и Q_3 к изменениям параметров цепи (нестабильность усилителя). Например, при изменении коэффициента усиления K на небольшую величину ΔK ($\Delta K/K \ll 1$), относительные изменения K_0 и Q_3 составляют:

$$\frac{\Delta K_0}{K_0} = \frac{\Delta K}{K} \cdot \frac{3}{3-K}, \quad \frac{\Delta Q_3}{Q_3} = \frac{\Delta K}{K} \cdot \frac{1}{3-K}$$

Подобным образом на K_0 и Q_3 влияют и изменения параметров полосового фильтра.

3. RC-автогенератор.

Самовозбуждение автогенератора. Схема автогенератора приведена на рис. 7. Рассмотрим переходный процесс в автогенераторе. Пусть до $t = 0$ устройство находилось в состоянии покоя, в котором токи и напряжения постоянны. При этом $U_1 = U_2 = 0$. Предположим, что при $t = 0$ в результате внешнего воздействия или внутренних флуктуаций возникли отличные от нуля, но малые напряжения U_1 и U_2 . Составим уравнения:

$$C \frac{dU_1}{dt} + \frac{U_1}{R} = \dot{i},$$

$$\int_C \dot{i} dt + Ri = U_2 - U_1,$$

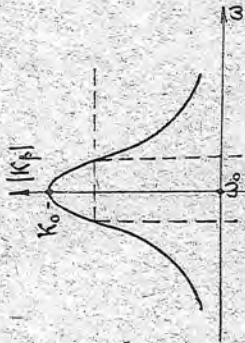


Рис. 6. АЧХ RC-усилителя.

Рис. 7. RC-автогенератор.

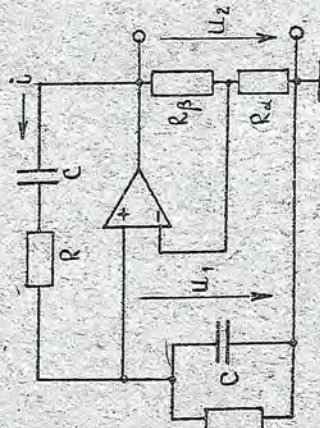


Рис. 7. RC-автогенератор.

$$U_2 = K U_1.$$

Последнее уравнение справедливо при условии, что неинвертирующий усилитель работает в линейном режиме.

Исключая из приведенных уравнений \dot{i} и U_2 приходим к дифференциальному уравнению для U_1 при $t > 0$:

$$U_1'' + 2\delta U_1' + \omega_0^2 U_1 = 0, \quad (15)$$

где $2\delta = (3-K)/(RC)$, $\omega_0 = 1/(RC)$.

Решение уравнения (15) имеет вид

$$U_1 = A e^{-\delta t} \cos(\omega_1 t + \psi), \quad (16)$$

где $\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$; A, ψ — неопределенные постоянные.

При $K < 3$ U_1 убывает с ростом t (рис. 8, а) и состояние покоя устойчиво (при этом условии устойчив рассмотренный ранее RC-усилитель). При $K > 3$ возникшие в результате начального толчка колебания растут с ростом t (рис. 8, б). Состояние покоя в этом случае неустойчиво. Неравенство $K > 3$ есть условие самовозбуждения рассматриваемой схемы. Оно является частным случаем общих условий (6).

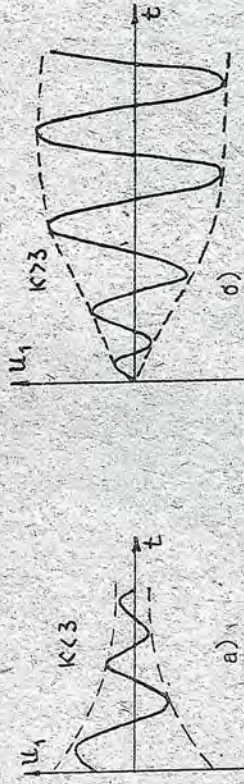


Рис. 8. Переходный процесс в автогенераторе.

В соответствии с (16) амплитуда возникших колебаний растет по экспоненциальному закону. Этот закон сохраняется до тех пор, пока напряжение U_1 остается в пределах линейного участка передаточной характеристики усилителя (рис. 9), далее рост амплитуды замедляется из-за нелинейности усилителя. После окончания переходного процесса устанавливается режим периодических колебаний.

Режим установившихся колебаний. Предположим, что форма колебаний в установившемся режиме близка к синусоидальной: $U_1 = U_1 \cos \omega t$, $U_2 = U_2 \cos(\omega t + \psi)$. Для комплексных амплитуд \dot{U}_1 , \dot{U}_2 можно составить два уравнения (см. рис. 7):

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= \dot{U}_1 K_c(U_1), \\ \dot{U}_1 &= \dot{U}_2 \beta(\omega), \end{aligned} \quad (17)$$

где $K_c(U_1)$ - "средний" коэффициент усиления усилителя, отражающий его нелинейные свойства. Определим его как отношение комплексных амплитуд первых гармоник напряжений \dot{U}_2 и \dot{U}_1 . В общем случае K_c может быть функцией не только амплитуды U_1 , но и частоты ω , однако в рассматриваемом случае K_c в широком диапазоне от частоты практически не зависит. Система (7), кроме тривиального решения $\dot{U}_1 = \dot{U}_2 = 0$, имеет решение, определяемое уравнением

$$K_c(U_1) \beta(\omega) = 1, \quad (18)$$

в котором неизвестными являются амплитуда U_1 и частота ω напряжения U_1 . Уравнение (18) носит название уравнения установившегося или стационарного режима. Представив K_c и β в форме

$$K_c = |K_c| e^{j\varphi_K}, \quad \beta = |\beta| e^{j\varphi_\beta},$$

получим из (18) два уравнения

$$|K_c| + \varphi_\beta = 2\pi n, \quad (19)$$

$$|K_c(U_1)| \cdot |\beta| = 1. \quad (20)$$

Эти уравнения называют, соответственно, уравнениями баланса фаз и баланса амплитуд. Найдем их решение. В рассматриваемом устройстве можно принять $\varphi_K = 0$, поэтому из (19) получаем $\varphi_\beta(\omega) = 0$. Следовательно, (см. (9) и рис. 4) частота колебаний автогенератора

$$\omega_T = \omega_0 = \frac{1}{RC}. \quad (21)$$

Подставляя в (20) значение β на частоте ω_0 , получаем уравнение для нахождения U_1 :

$$K_c(U_1) = \frac{1}{\beta_0} = 3. \quad (22)$$

Для решения этого уравнения нужно знать функцию $K_c(U_1)$. Найти ее можно, например, экспериментально. В этом случае размыкаем цепь обратной связи, на вход усилителя подаем сигнал от внешнего генератора и на частоте $f_0 = \omega_0 / (2\pi)$ снимаем амплитудную характеристику усилителя $U_2 = f(U_1)$, по которой находим $K_c(U_1)$. Примерный вид зависимости $K_c(U_1)$ и графический способ решения уравнения (22) показаны на рис. 11.

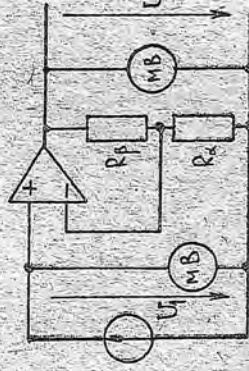


Рис. 10. Схема измерения амплитудной характеристики

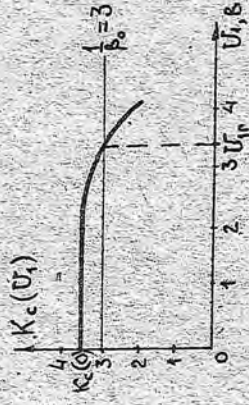


Рис. 11. Графическое решение уравнения баланса амплитуд

Отметим, что условие самовозбуждения автогенератора (6) можно записать в виде: $K_c(0) > 1/\beta_0$, где

$$K_c(0) = \beta_{\text{ит}} \cdot K_c(U_1) = K + 1 + \frac{R_f}{R_k}$$

Улучшение формы установившихся колебаний. Нелинейность усилителя в RC-автогенераторе приводит к искажению формы выходного напряжения. В нем, кроме колебаний с основной частотой ω_0 , присутствуют гармоники с частотами $2\omega_0$, $3\omega_0$ и т.д. Для улучшения формы колебаний в автогенератор вводят элемент с терминерционной нелинейностью (терморезистор). В исследуемом автогенераторе таким элементом является лампочка накаливания,

устанавливаемая вместо резистора R_A . Сопротивление лампочки R_L растет с ростом температуры ее нити, то есть с ростом амплитуды протекающего через нее тока. Вследствие этого средний коэффициент усиления K_c уменьшается с увеличением U_1 и при работе усилителя в линейном режиме, поскольку

$$K_c(U_1) = 1 + R_F / R_A(U_1)$$

Параметры элементов R_F , R_A должны быть подобраны таким образом, чтобы K_c уменьшился до значения $1/\beta_0 = 3$ при амплитуде U_{1r} , соответствующей линейному режиму усилителя. Тогда в установившемся режиме усилитель не будет искажать форму сигнала. Так как сопротивление лампочки R_L при постоянной амплитуде U_1 постоянно, то она не вызовет нелинейных искажений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- Осциллографическим методом снимаем ФЧХ полосового фильтра. Каким будет изображение на экране осциллографа, если частота соответствует:
 - квартизональной частоте;
 - граничной частоте пропускания R_F относительная полоса пропускания RC-усилителя получается равной 5%? Сопротивление $R_A = 1 \text{ кОм}$.
- Почему в RC-усилителе в качестве активного элемента целесообразно использовать операционный усилитель - устройство с очень высоким коэффициентом усиления? Как скажется на стабильности параметров RC-усилителя изменение собственного коэффициента усиления ОУ, например, в 5 раз: от 10^5 до $5 \cdot 10^5$?
- Как определить амплитуду установившихся колебаний, если при разомкнутой цепи обратной связи снята амплитудная характеристика?

На какой частоте нужно снимать амплитудную характеристику?
 5. Почему использование элемента с термоминерционной нелинейностью улучшает форму колебаний? Можно ли улучшить форму колебаний, пользуясь термоминерционным нелинейным сопротивлением. значение которого уменьшается при увеличении амплитуды напряжения на нем?

ЗАДАНИЕ

- Исследуйте поведение полосового фильтра.
 - Соберите на макете полосовой фильтр (рис.14), подберите добрав сопротивлений и емкости таким образом, чтобы резонансная частота $f_0 = 1/(2\pi RC)$ находилась внутри диапазона: $500 \text{ Гц} \pm 2 \text{ кГц}$.

Сборку фильтра производите при выключенном питании усилителя. Подключите к входу фильтра генератор синусоидальных колебаний, милливольтметр и вход "X" осциллографа, а к выходу - милливольтметр и вход канала "Y" осциллографа.

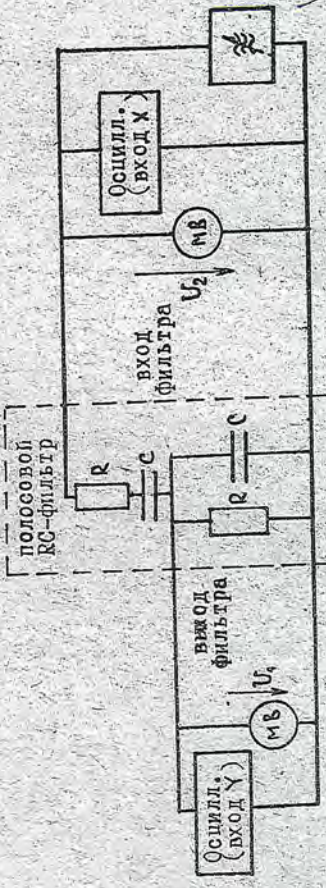


Рис.14. Схема исследования полосового фильтра.

- Снимите амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) и фазочастотную характеристику (ФЧХ), найдите квазирезонансную частоту фильтра, коэффициент передачи на квазирезонансной частоте и полюсу пропускания. Сравните результаты измерений и расчета.

Онятие характеристик производите одновременно, устанавливая различные значения частоты генератора. Амплитуду колебаний на выходе генератора рекомендуется поддерживать постоянной, равной 1 В. Амплитудно-частотную характеристику (зависимость модуля коэффициента передачи β от частоты) снимайте по показаниям милливольтметра ($\beta = U_1 / U_2$). Фазочастотную характеристику снимайте при помощи осциллографа. При подаче напряжения с выхода фильтра на пластины "У", а с входа фильтра на пластины "Х" электронно-лучевой трубки на экране осциллографа должен получиться эллипс (рис.15).

Размеры его регулируются переключателем "УСИЛЕНИЕ" осциллографа и регулировкой уровня выходного напряжения генератора. Установите эллипс в центре экрана. Модуль разности фаз напряжений на входе и выходе фильтра ($|\varphi_2|$) находится, как показано на рис.15, по измерениям отрезков А и В эллипса.

Снятие АЧХ и ФЧХ целесообразно начать с определения квазирезонансной частоты. Ей соответствует нулевое значение фазы $\varphi_\beta = 0$. На этой частоте определите коэффициент передачи β . Измерьте частоту, соответствующие границам полосы пропускания фильтра по уровню $\beta = \beta_0 / \sqrt{2}$. Найдите ширину полосы пропускания. Для построения графиков АЧХ и ФЧХ необходимо измерить модуль коэффициента передачи и его фазу еще при 4-6 значениях частоты внутри полосы и при 2-4 значениях за ее пределами.

2. И с с л е д о в а н и е и з б и р а т е л ь н о г о у с и л и т е л я

2.1. С О Б Е Р И Т Е И З Б И Р А Т Е Л ь Н Ы Й У С И Л И Т Е Л ь (рис.16).

В цепь обратной связи по инвертирующему входу установите резистор $R_\beta = 390 \text{ Ом}$, а резистор R_d выберите так, чтобы коэффициент усиления по неинвертирующему входу ($K = 1 + R_\beta / R_d$) имел значение в пределах 2,7 - 2,9. Вычислите при выбранном R_d коэффициент уси-

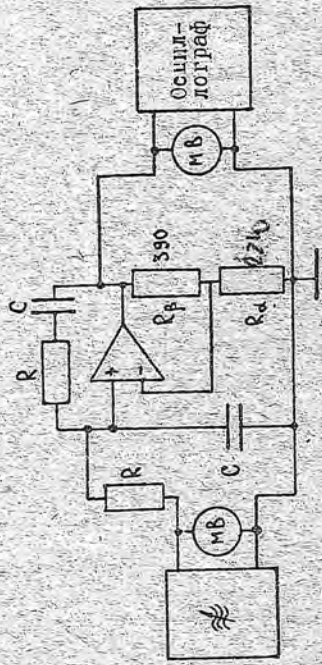


Рис.16. Схема исследования избирательного усилителя. ления на резонансной частоте, полюсу пропускания усилителя.

2.2. ИЗМЕРЬТЕ КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ НА РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЕ И ПОЛосу ПРОПУСКАНИЯ, СНИМИТЕ АЧХ УСИЛИТЕЛЯ. СРАВНИТЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА И ИЗМЕРЕНИЙ.

При проведении измерений необходимо контролировать с помощью осциллографа форму выходного напряжения. Амплитуда входного сигнала должна быть такой, чтобы усилитель работал в линейном режиме и на резонансной частоте выходное напряжение было синусоидальным. Это условие будет выполнено при $U_2 < 3 \text{ В}$.

2.3. ПОВТОРИТЕ ОПЫТ ПРИ ДРУГОМ ЗНАЧЕНИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗИСТОРА R_d . СРАВНИТЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

3. И с с л е д о в а н и е а в т о г е н е р а т о р а г а р м о н и ч е с к и х к о л е б а н и й

3.1. С О Б Е Р И Т Е А В Т О Г Е Н Е Р А Т О Р Г А Р М О Н И Ч Е С К И Х К О Л Е Б А Н И Й (рис.17.)

В цепь обратной связи по инвертирующему входу установите резистор R_β . По графику $R_\beta(U)$, имеющемуся на рабочем месте, убедитесь, что условие самовозбуждения $K = 1 + R_\beta / R_d > 3$ выполняется.

измеренной в предыдущем опыте. Амплитуду входного напряжения увеличивайте до появления на выходе заметных нелинейных искажений.

Постройте снятую характеристику и найдите по ней амплитуду установившихся колебаний. Сопоставьте вычисленное по графику значение амплитуды с измеренным.

3.4. ИЗУЧИТЕ ПРОЦЕСС РАЗВИТИЯ КОЛЕБАНИЙ В АВТОГЕНЕРАТОРЕ ПРИ ЗАМКНИИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ.

Измените параметры элементов полосового фильтра так, чтобы частота генерации составляла единицы или доли герца. Переключатель входа осциллографа поставьте в положение "≈". Установите скорость развертки такой, чтобы луч двигался по экрану несколько секунд. Закрытая и разомкнутая проводником конденсатор фильтра, наблюдайте на экране осциллографа процесс нарастания колебаний в автогенераторе. Запишите осциллограмму переходного процесса.

Вместо резистора R_3 установите резистор с постоянным значением сопротивления R_4 . Изучите процесс развития колебаний в этом случае. Запишите осциллограмму. Сопоставьте результаты двух опытов. Объясните особенности переходных процессов в обоих случаях.

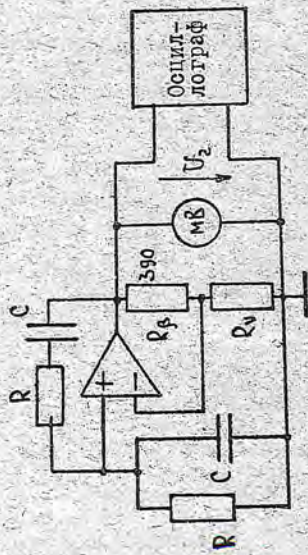


Рис. 17. Автогенератор гармонических колебаний.

3.2. ИССЛЕДУЙТЕ РЕЖИМ УСТАНОВИВШИХСЯ КОЛЕБАНИЙ.

Включите тумблер питания. С помощью осциллографа убедитесь, что на выходе автогенератора присутствуют гармонические колебания. Измерьте их амплитуду и частоту. Запишите осциллограмму напряжения на выходе генератора с указанием масштабов изображения.

3.3. НАЙДИТЕ АМПЛИТУДУ УСТАНОВИВШИХСЯ КОЛЕБАНИЙ ГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.

Разорвите обратную связь и по схеме, изображенной на рис. 18, снимите характеристику $K_c(U_1)$. Частоту генератора, подключенного к входу в этом опыте, следует установить равной частоте генерации,

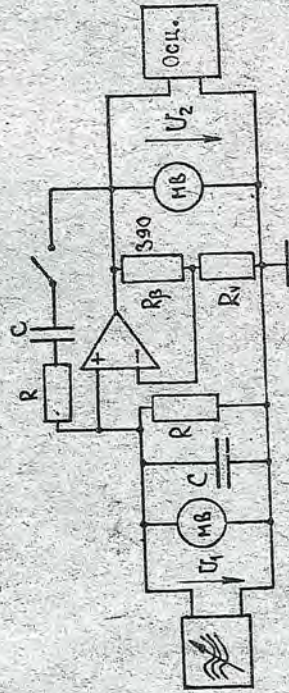


Рис. 18. Схема исследования амплитудной характеристики.

Составители: Юрий Николаевич Новиков, Владимир Александрович Розов

**ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ И РС-АВТОГЕНЕРАТОР НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННОГО
УСИЛИТЕЛЯ**

Методические указания к лабораторной работе

Редактор С. А. Мартынова
Технический редактор А. И. Колодзжная

Подписано к печати 28.04.90 Формат бумаги 60x90 1/16
Бумага тип. № 3. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,25. Уч.-изд. л. 1,25
Тираж 300 Заказ 328. Бесплатно
Издание ЛПИ им. М. И. Калинина, 195251, Ленинград, Политехническая, 29.

Отпечатано на ротационте ЛПИ им. М. И. Калинина.
195251, Ленинград, Политехническая ул., 29

БЕСПЛАТНО