

Ижевский Государственный технический университет

В.В. Хворенков, Т.Ю. Трефилова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ “РС – ГЕНЕРАТОР”
ПО КУРСУ “РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ”**

Для студентов 3 курса специальности 200700

Ижевск 2004

УДК 621.373.115

Авторы: Хворенков Владимир Викторович, доктор технических наук, профессор
Трефилова Татьяна Юрьевна, старший преподаватель.

В.В. Хворенков, Т.Ю. Трефилова. Методические указания к лабораторной работе
"LC - генератор " по курсу "Радиотехнические цепи и сигналы" для студентов 3 курса
специальности 200700.- Ижевск: Изд-во ИжГТУ.- 2004.

Методическое пособие предназначено для студентов 3 курса специальности
"Радиотехника"

© В.В. Хворенков, Т.Ю. Трефилова, 2004

© Корректор *Неклюдов П.В. Демин Д.Л.*

© Издательство ИжГТУ, 2004. ЛР № 020885 от 24.05.99

42069, Ижевск, Студенческая, 7

1. ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ.

1.1 Подготовка к работе.

1. В процессе подготовки к работе в лаборатории следует:
 - а) ознакомиться с описанием работы и подготовиться к ответам на контрольные вопросы.
 - б) на основании описания работы составить необходимые схемы.
 - в) выполнить предусмотренные описанием предварительные расчёты и построить графики рассчитанных кривых.
 - г) ознакомиться с применяемой в работе измерительной аппаратурой.
2. Перед выполнением работы каждый студент обязан представить преподавателю заготовленную форму отчета, содержащую:
 - а) необходимые расчёты и относящиеся к ним графики.

1.2 Выполнение работ в лаборатории.

3. Лабораторные работы выполняются в часы, предусмотренные расписанием, бригадами в составе до трёх человек. Продолжительность каждой работы 4 часа.
4. Выполнение каждой работы предшествует проверка подготовленности студента. Проверка производится преподавателем и начале каждого занятия и следующем порядке:
 - а) студент предъявляет оформленный отчёт по предыдущей работе и все материалы подготовки к предстоящей работы согласно п.2.
 - б) если предъявленный материал найден преподавателем удовлетворительным, то студент получает контрольные вопросы,
 - в) при удовлетворительных ответах на контрольные вопросы студент допускается к выполнению работы.
5. В целях сокращения времени, затрачиваемого на обработку экспериментального материала, а также для более отчётливого физического представления зависимостей, которые необходимо получить в лаборатории в виде графиков, рекомендуется следующий порядок снятия графиков.

Прежде всего, без каких-либо записей, при соблюдении всех требований, относящихся к данному эксперименту, производится опыт. В процессе опыта уясняется общий характер зависимости, оценивается её соответствие ожидаемой из теоретических предположений или расчётов, заключаются участки с наиболее выраженной нелинейной зависимостью и участки линейные.

Для снятия кривой опыт повторяется. Снятые точки (обозначаются крестиками, кружочками и т. п.) заносятся непосредственно в отчет на листы миллиметровки или клетчатой бумаги, а также сводятся и таблицы. Наибольшее число точек следует снимать на нелинейных участках кривой, линейные участки достаточно определить тремя точками.

Если следуемые зависимости подвергались поверочному теоретическому расчёту, то точки, полученные из опыта, наносятся на тот же график. Каждый график снабжается надписями и номерами. На графике указываются величины, которые и эксперименте не меняются, но существенны для характеристики условий эксперимента.
6. Расчёты, связанные с обработкой экспериментальных данных, выполняются в лаборатории в процессе работы.
7. Работа считается законченной после проверки и утверждения преподавателем.
8. По окончании работы студент должен выключить все приборы, отключить установку от электрической сети и сдать её дежурному лаборанту.

1.3 Составление отчёта.

9. Отчет по работе составляется индивидуально на стандартных листах писчей бумаги размером 210x297мм составлением полей шириной 4 см и подписывается.

10. Титульный лист отчёта оформляется по образцу (см. приложение1).

11. Графики вычерчиваются на листах миллиметровки или клетчатой бумаги и вклеиваются в отчёт. На каждом графике должны строиться только те кривые, которые предусмотрены соответствующим пунктом описания. Совмещение графиков не допускается.

12. Расчёту отдельных величин должно предшествовать краткое объяснение и буквенное изображение формул.

13. Отчёт должен содержать краткие выводы о проделанной работе. Выводы могут содержать толкование полученных результатов с точки зрения теории, объяснение причин отклонения результатов эксперимента от теоретических предположений, оценку погрешности при измерениях и т.п. Выводы не должны являться простым пересказом соответствующих глав курса.

1.4 Сдача отчёта.

14. Отчёт по предыдущей работе принимается преподавателем в начале следующего лабораторного занятия.

15. Сдача зачёта производится каждым студентом в отдельности и сопровождается ответами на вопросы преподавателя.

16. Семестровый зачёт по лаборатории определяется на основании отдельных зачётов по выполненным работам.

17. Студент, не сдавший отчёта по предыдущей работе, к следующей работе не допускается.

18. Сданные по лабораторным работам отчёты студентам не возвращаются.

2. RC – ГЕНЕРАТОР

2.1 Цель работы:

изучение условия самовозбуждения RC-генератора.

2.2 Приборы требуемые для выполнения лабораторной работы:

Осциллограф С1-68, генератор ГЗ-102 либо ГЗ-106

2.3 Теоретическая часть

Для генерирования низкочастотных гармонических колебаний широко применяются генераторы типа RC. Это усилитель на сопротивлениях с избирательной цепью положительной обратной связи. В качестве цепей положительной обратной связи используются различные варианты RC-фильтров. Частота генерируемых колебаний определяется, в первом приближении, цепью обратной связи.

RC – генераторы в области низких и инфранизких частот оказываются более эффективными и удобными в эксплуатации, нежели генераторы типа LC, поскольку на частотах ниже 15...20 кГц колебательный контур LC генератора получается слишком громоздким, трудно перестраиваемым и обладает плохой избирательностью.

Существенным достоинством RC-генератора является также широкий диапазон настройки. Диапазон частот можно также варьировать изменением сопротивления настройки.

В работе изучаются две схемы транзисторных RC- генераторов:

генератор с трехзвенным Г-образным фильтром верхних частот (рис.1);

генератор с двойным Т-образным мостом (рис.2).

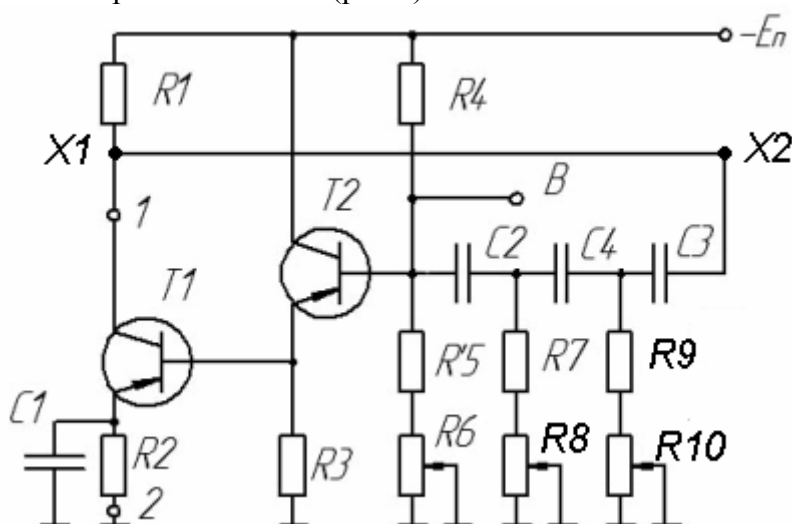


Рис.1.

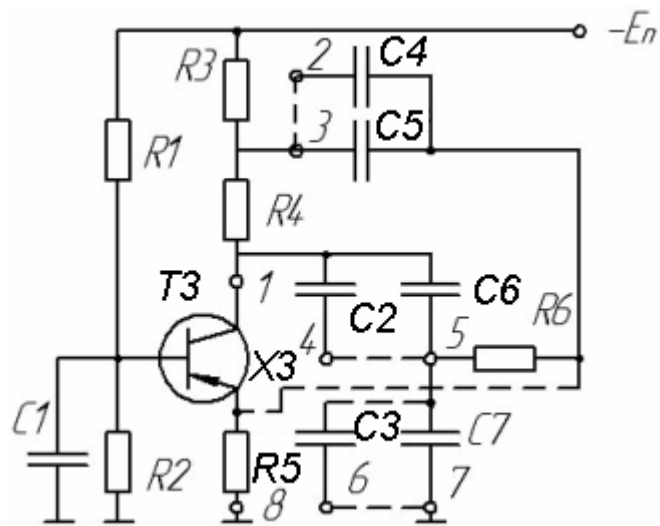


Рис. 2

Условия самовозбуждения автогенератора

Вопрос о возможности возникновения автоколебаний в данной схеме имеет в радиотехнике весьма широкое значение. Вопрос этот ставится как вопрос об устойчивости в том смысле, что схема устойчива, если в нормальном для нее режиме автоколебания в ней не возникают, и наоборот. Речь здесь идет об устойчивости уже существующих автоколебаний.

Общий вопрос об устойчивости системы с обратной связью решается на основании некоторых критериев устойчивости. Приведем критерий устойчивости – критерий Найквиста.

Представим автогенератор в виде блок-схемы (рис.3)

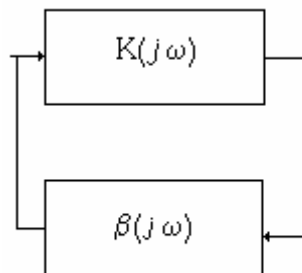


Рис.3.

Здесь усилитель с коэффициентом передачи напряжения $K(j\omega)=U_2/U_1$.

Выход и вход усилителя соединены цепью обратной связи с коэффициентом передачи напряжения $\beta(j\omega)=U_3/U_2$.

Если в такой замкнутой системе существуют установившиеся гармонические колебания, то должно выполняться условие:

$$K_1 = K(j\omega) \cdot \beta(j\omega) = 1 \quad (1)$$

которое эквивалентно двум следующим условиям:

$$|K_1| = 1, \quad (2)$$

$$\varphi = 0 \quad (3)$$

где (2) – условие баланса амплитуд; (3) – условие баланса фаз. В установившемся режиме оба эти равенства выполняются одновременно.

Разорвем цепь обратной связи и воспроизведем тот режим, который имелся в замкнутой системе. Для этого на вход подадим переменное напряжение от постоянного источника, а выход нагрузим на сопротивление, равное входному сопротивлению усилителя (рис. 4).

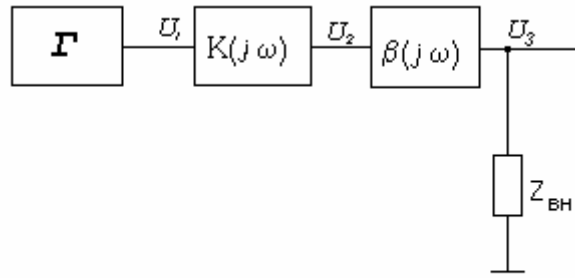


Рис. 4

Предположим, что частота плавно изменяется от 0 до ∞ . Для каждого значения частоты можно определить комплексное отношение:

$$K(j\omega) = U_3/U_1 \quad (4)$$

Будем строить K_1 как вектор на комплексной плоскости и следить за траекторией конца этого вектора при изменении частоты (рис. 5).

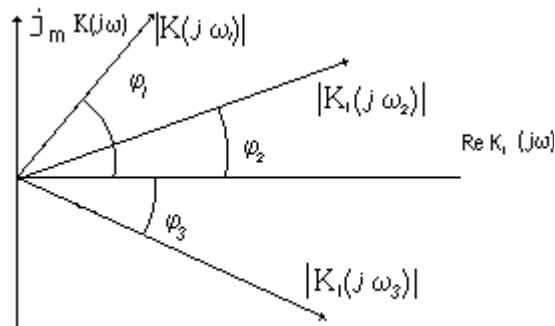


Рис.5.

Эту траекторию называют амплитудно-фазовой характеристикой системы. Во многих случаях коэффициент передачи при $\omega=0$ и при $\omega=\infty$ равен нулю. В этих случаях амплитудно-фазовая характеристика образует замкнутый контур: точки начала и конца обхода контура совпадают с началом координат. Каждая точка амплитудно-фазовой характеристики отвечает определенному значению частоты.

Если установившиеся колебания возможны, то амплитудно-фазовая характеристика, согласно (2) и (3), проходит через точку с полярными координатами $|K_1|=1$ и $\varphi=0$, то есть точку, отвечающую балансу фаз и амплитуд. Если при $\varphi=0$ $|K_1|<1$, то это означает, что колебания в системе могут быть только затухающими. Если же при $\varphi=0$ $|K_1|>1$, то это значит, что колебания не только возникают, но и будут нарастать. Отсюда и следует критерий Найквиста: замкнутая система будет неустойчивой, то есть в ней возникнут автоколебания, когда амплитудно-фазовая характеристика разомкнутой системы охватывает точку с координатами 1,0 (рис. 6)

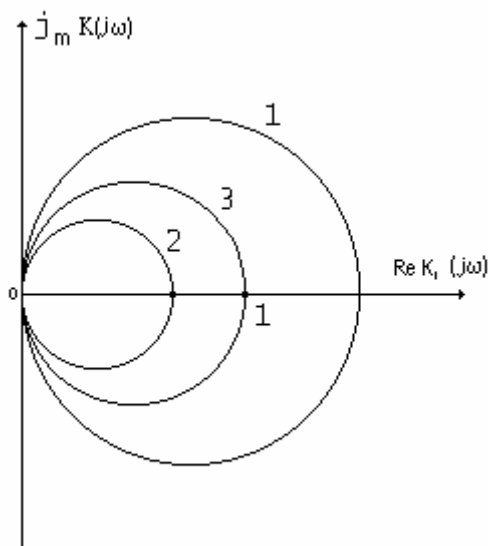


рис.6.

Амплитудно-фазовая характеристика может быть снята экспериментально по схеме на рис.4, либо вычислена, если схема и параметры системы известны.

Для линейной системы коэффициент передачи напряжения не зависит от амплитуды. При таких условиях $|K| > 1$ при $\varphi = 0$ означает неограниченное нарастание амплитуды автоколебаний, так как установившийся режим с неизменной амплитудой может быть только при $|K| = 1$. В действительности всякая система нелинейна, и поэтому по мере увеличения амплитуды коэффициент передачи убывает. Контур амплитудно-фазовой характеристики при этом стягивается, и если первоначально точка 1,0 была охвачена этим контуром, то рано или поздно контур пройдет через точку 1,0. Амплитуда, при которой это произойдет, и есть установившееся значение амплитуды. Следовательно, если речь идет об устойчивости системы в состоянии покоя, то амплитудно-фазовая характеристика должна сниматься экспериментально при малых амплитудах входного напряжения.

2.4 Генератор с трехзвенным Г-образным фильтром верхних частот

Генератор (рис.1) собран на двух транзисторах Т1 и Т2. Поскольку нагрузочное сопротивление $R1$ транзистора Т1, включенного по схеме с общим эмиттером, много меньше входного сопротивления четырехполюсника обратной связи, транзистор Т1 работает как усилитель на сопротивлениях и, следовательно, поворачивает фазу колебаний на 180° . Для уменьшения затухания четырехполюсника обратной связи служит эмиттерный повторитель, выполненный на транзисторе Т2, осуществляющий функции согласования. Для баланса фаз четырехполюсник обратной связи должен обеспечивать дополнительный сдвиг фазы на 180° . Поэтому число Г-образных звеньев в цепи обратной связи должно быть не менее трех (каждое звено дает сдвиг по фазе меньше 90°).

Найдем коэффициент передачи напряжения четырехполюсника обратной связи. (рис. 7)

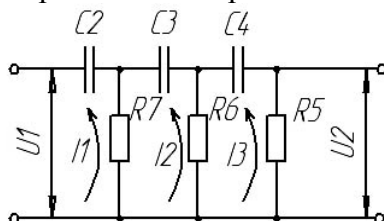


Рис.7.

Придерживаясь обозначений рис. 7, составим систему уравнений:

$$(R_5 + \frac{1}{jC_2\omega})I_1 - I_2R_5 = U_1$$

$$(R_5 + R_6 + \frac{1}{jC_3\omega})I_2 - I_1R_5 - I_3R_6 = 0$$

$$(R_6 + R_7 + \frac{1}{jC_4\omega})I_3 - I_2R_6 = 0$$

Решая эту систему, найдем ток I_3 :

$$(R_5 = R_6 = R_7 = R, C_2 = C_3 = C_4 = C)$$

$$I_3 = \frac{U_1}{R + \frac{6}{jC\omega} - \frac{5}{\omega^2 C^2 R} - \frac{1}{j\omega^3 R^3 C^3}}$$

Напряжение на выходе четырехполюсника $U_2 = I_3 R$, и коэффициент передачи напряжения

$$\beta = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{1 + \frac{6}{jCR\omega} - \frac{5}{\omega^2 C^2 R^2} - \frac{1}{j\omega^3 R^2 C^3}} \quad (4)$$

Для того, чтобы фазовый сдвиг в цепи обратной связи на частоте генерации равнялся 180° , коэффициент на частоте должен быть действительной отрицательной величиной. Приравнявая мнимую часть к нулю, получим:

$$\frac{6}{j\omega RC} - \frac{1}{j\omega^3 R^3 C^3} = 0; \omega_r = \frac{1}{\sqrt{6}RC} \quad (5)$$

Подставляя найденное значение ω_r в (4), вычислим модуль коэффициента передачи:

$$\beta = \frac{1}{1 - \frac{5}{\omega_r^2 R^2 C^2}} = -\frac{1}{29}$$

Необходимое для генерации усиление усилителя находится на условиях баланса амплитуд:

$|K\beta| = 1$, следовательно, $K = 29$. Это означает, что транзистор Т1, нагруженный в коллекторной цепи сопротивлением $R1$, с учетом коэффициента передачи по напряжению эмиттерного повторителя на транзисторе Т2, должен обеспечивать усиление в стационарном режиме не меньше, чем 29.

2.5 Генератор с двойным Т-образным мостом

Генератор собран на транзисторе Т1, включенном по схеме с общей базой. Цепь обратной связи представляет собой двойной Т-образный мост (рис.8).

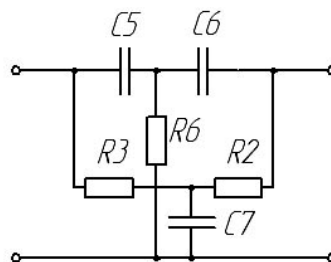


Рис. 8

Если усилитель поворачивает фазу входного сигнала на 2π , то при охвате положительной обратной связи он может генерировать электрические колебания без включения в цепь обратной связи фазировочного четырехполюсника, однако условия баланса фаз в таком генераторе выполняются для целого спектра частот, и колебания будут негармоническими. Для получения

гармонических колебаний элементом связи должен служить специальный четырехполюсник, обеспечивающий баланс фаз только для одной частоты. В таком четырехполюснике на частоте квазирезонанса ω_0 угол сдвига фаз должен быть равным нулю, а коэффициент передачи на частоте ω_0 – иметь максимум или минимум.

Хорошей избирательностью обладает двойной Т-образный мост, представляющий собой параллельное включение двух Т-образных четырехполюсников, первый из которых состоит из последовательно включенных конденсаторов C_5 и C_7 и параллельно включенного сопротивления R_6 , а второй – из последовательно включенных сопротивлений R_2 и R_1 и параллельно включенного конденсатора C_3 (рис.8). Двойной Т-образный мост представляет собой заграждающий фильтр, амплитудно-частотная характеристика которого представлена на рис.9.

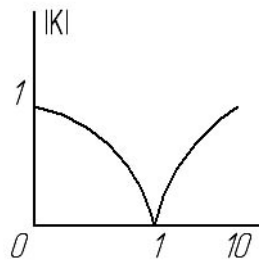


Рис.9

В рассматриваемой схеме баланс фаз будет выполняться, если сопротивление нагрузки усилителя (входное сопротивление двойного Т-образного моста) будет чисто активным, а это справедливо при балансе моста.

При балансе напряжение на выходе моста (точки 3,4 рис.8) равно нулю, то есть имеем на выходе режим короткого замыкания. Схема короткозамкнутого моста представлена на рис.10.

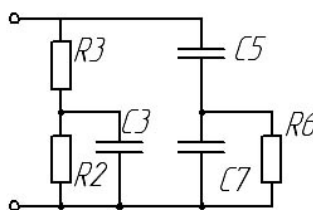


Рис.10.

Условие баланса:

$$\frac{R_3}{j\omega C_5} = \frac{R_2 R_6}{(1 + j\omega R_2 C_3)(1 + j\omega R_6 C_7)}$$

Из условия баланса находим частоту генерации:

$$R_3(1 + j\omega R_2 C_3 + j\omega R_6 C_7 + \omega^2 R_2 R_6 C_3 C_7) = j\omega R_2 R_6 C_5$$

$$\omega_r^2 = \frac{1}{R_2 R_6 C_3 C_7}; f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_2 R_6 C_3 C_7}} \quad (6)$$

Учитывая, что $R_2=R_3$, $C_5=C_7$ получим из (6):

$$f_r = \frac{1}{2\pi R_2 C_5}$$

2.6 Домашнее задание

Построить амплитудно-частотную характеристику цепи положительной обратной связи генератора (рис.1).

Рассчитать частоту автоколебаний генератора (рис.1) при $R_5=R_6=R_7=47\text{кОм}$, $C_2=C_3=C_4=0,01\text{ мкФ}$.

Рассчитать частоту автоколебаний генератора (рис.2) для емкостей C_3, C_5, C_7 и при подключении к ним C_2, C_4, C_6 соответственно.

Дано: $R_2, R_3 = 5,1\text{ кОм}$

$R_6=1\text{кОм}$

$C_5, C_7=0,01\text{ мкФ}$

$C_3=0,07\text{ мкФ}$

$C_4, C_6=0,01\text{ мкФ}$

$C_2=0,07\text{ мкФ}$

Начертить принципиальную схему изучаемых в работе автогенераторов и схемы подключения приборов в соответствии с лабораторным заданием.

2.7 Лабораторное задание

1. Генератор подключить к входу точка1 (при выключенном питании), а осциллограф подключить к точке X2. Снять 10 точек характеристики АЧХ (β). Характеристику снять при $R_5, R_6, R_7=47\text{ кОм}$ и $R_5, R_6, R_7=0$. Найти граничные частоты.

2. Отключить генератор, включить питание. Осциллограф подключить к т.1. Определить частоту генерируемых колебаний при R_5, R_6, R_7 в крайнем левом и крайнем правом положении. (Частоту определить методом фигур Лиссажу) В макетах требуется соединить гнезда X1 и X2.

3. Определить частоты генерируемых колебаний генератора рис.2 для емкостей C_6, C_5, C_7 и при подключении к ним C_2, C_3, C_4 . Для этого осциллограф подключить к точке 1а при отключенных и при подключенных емкостях снять частоту и амплитуду.

4. Зарисовать осциллограмму колебаний на выходе генераторов (генераторы рис.1 и рис.2). Определить амплитуды генерируемых колебаний.

2.8 Контрольные вопросы

1. Условия самовозбуждения генератора. Критерий устойчивости Найквиста.

2. Коэффициент передачи напряжения и амплитудно-частотная характеристика трехзвенного Г-образного фильтра верхних частот.

3. Условия самовозбуждения генератора с трехзвенным Г-образным фильтром верхних частот.

4. Амплитудно-частотная характеристика двойного Т-образного моста.

5. Условия самовозбуждения генератора с двойным Т-образным мостом.

3 Литература

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Советское радио, 1991.

2. Зернов Н.В., Карпов В.Г. Теория радиотехнических цепей. М.: Энергия, 1992.

3. Виноградов Ю.В. Основы электронной и полупроводниковой техники. М.: Энергия, 1992.

ИжГТУ
Лаборатория «Радиотехнические цепи»

Отчёт по работе №
(Название работы)

Составил студент гр. (№).
(студент Ф. И. О.).
Принял: (преподаватель Ф. И. О.).

Ижевск.
(год)