

Лабораторная работа № 14

Исследование генераторов гармонических сигналов

Цель работы – Изучение принципа действия RC -автогенераторов с поворотом фазы в цепи обратной связи (ОС) и с мостом Вина; экспериментальное исследование влияния элементов схем на параметры и характеристики генераторов; определение условий его самовозбуждения; снятие и анализ частотных характеристик частотно-зависимых цепей ОС.

14.1. Краткие теоретические сведения

Генератором называется автоколебательная структура, в которой энергия источника питания преобразуется в энергию электрических автоколебаний. Различают генераторы синусоидальных (гармонических) колебаний и генераторы сигналов специальной формы (прямоугольной, треугольной и т.д.)

Обобщенная макро модель генератора приведена на рисунке 14.1 и представляет собой усилительный каскад, охваченный цепью положительной обратной связи (ПОС).

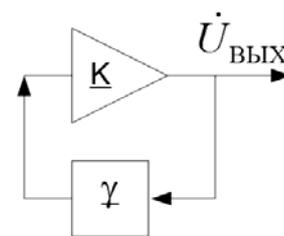


Рис. 14.1

Для возникновения колебаний в данной системе необходимо выполнение условия баланса амплитуд и баланса фаз:

$$|\underline{K}\underline{\gamma}| \geq 1, \quad (14.1)$$

$$\varphi = \varphi_{\gamma} + \varphi_{OC} = 2n\pi, \quad (14.2)$$

где \underline{K} – коэффициент усиления усилителя, $\underline{\gamma}$ – коэффициент передачи цепи ОС, φ_{γ} и φ_{OC} – фазовые сдвиги, вносимые усилителем и цепью ОС соответственно, $n = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$

Для получения на выходе генератора синусоидального напряжения достаточно, чтобы данные условия выполнялись только на одной частоте.

Генераторы могут выполняться на основе колебательного LC -контура или с частотно-зависимыми RC -цепями.

Первые называются генераторами LC -типа и предназначены для работы в диапазоне десятков кГц и выше, вторые называются генераторами RC -типа и предназначены для работы в области низких частот.

На рисунке 14.2 приведены различные варианты схем автогенераторов гармонических колебаний на операционных усилителях (ОУ).

В схеме LC -автогенератора (рис. 14.2а) баланс фаз обеспечивается наличием ПОС,

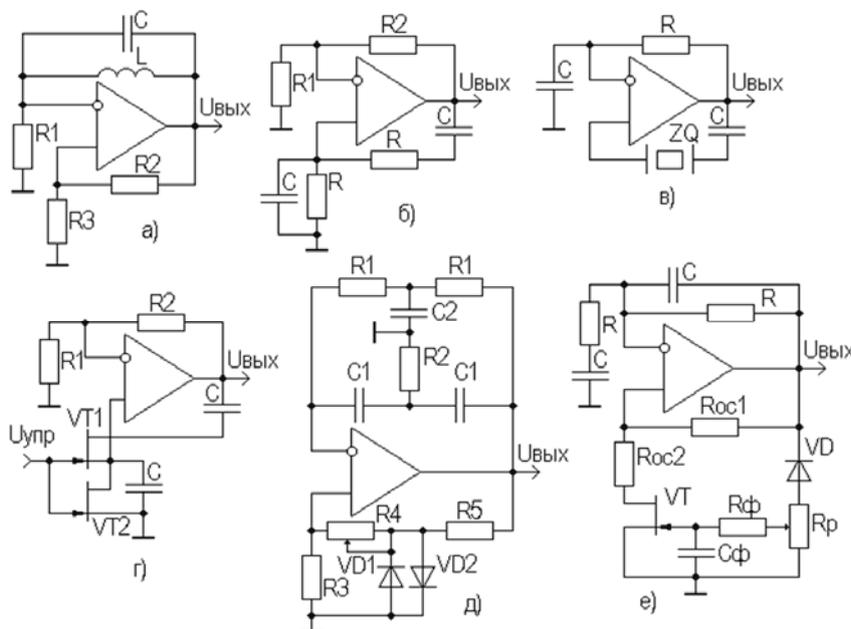


Рис. 14.2

вводимой с помощью резисторов R_2 и R_3 , баланс амплитуд достигается выбором номиналов резисторов R_2 и R_3 по условию

$$\gamma \cdot K = R_3 / (R_2 + R_3) \cdot K \geq 1,$$

здесь под K подразумевается масштабный коэффициент усиления, равный $K = R_p / R_1$, где R_p - сопротивление контура на частоте резонанса.

Частота резонанса определяется элементами LC-контура и рассчитывается по известной формуле $f_0 = 1 / 2\pi\sqrt{LC}$.

Как указывалось выше в генераторах RC-типа используют частотно-зависимые (селективные) цепи. На рисунке 14.2б представлена схема RC-генератора с мостом Вина, включенным между выходом и неинвертирующим входом ОУ (цепь ПОС). На частоте генерации

$$f_0 = 1 / (2\pi RC) \quad (14.3)$$

фазовый сдвиг $\varphi_{oc} = 0$ и выполняется условие баланса фаз, для выполнения баланса амплитуд необходимо скомпенсировать затухание, вносимое фазирующей цепью на частоте генерации, т.е. выполнить условие

$$K_U = (R_2 + R_1) / R_1 = 1 / \gamma, \quad (14.4)$$

где $\gamma = 1/3$ – максимальный коэффициент передачи моста Вина на частоте f_0 .

В схеме RC-генератора с электронной перестройкой частоты (рис. 14.2г) в качестве управляемых сопротивлений используется двоякий ПТ, у которого сопротивление канала является линейной функцией управляющего напряжения $E_{упр}$. Очевидно, что при изменении $E_{упр}$ происходит электронная перестройка частоты. Если в качестве управляющего напряжения использовать низкочастотное колебание, то по закону изменения амплитуды этого колебания будет изменяться частота генерации, т.е. осуществляться частотная модуляция.

Важным параметром автогенераторов является температурная нестабильность частоты, которая в обычных LC-генераторах достигает порядка $(10^{-3} \dots 10^{-4})\%$ на 1°C , в RC-генераторах – примерно на порядок ниже. Гораздо лучшие показатели стабильности частоты обеспечивают кварцевые автогенераторы (рис. 14.2в). Здесь кварц используется в качестве эквивалентной индуктивности, образующей с емкостью C последовательный колебательный контур, имеющий на частоте резонанса минимальное сопротивление. На частоте резонанса ПОС достигает максимума, и возникает генерация. Для стабилизации режима ОУ охвачен глубокой ООС по постоянному напряжению, которая, в целях выполнения условия баланса амплитуд, устраняется на частоте генерации конденсатором C_1 (в цепи отрицательной ОС), емкость которого выбирается из условия $X_{C_1} = 1 / 2\pi f_0 C \ll R$.

В кварцевых генераторах достигается нестабильность частоты порядка $10^{-8}\%$ на 1°C .

На рисунках 14.2д,е представлены схемы RC-автогенераторов, в которых частотно-зависимые цепи (двойной T-мост (д) и мост Вина (е)) включены в цепь отрицательной ОС. Для стабилизации амплитуды генерируемых колебаний в цепях ПОС генераторов используют нелинейные элементы, например, диоды (рис. 14.2д), либо автоматическая

регулировка усиления, например, на ПТ (рис. 14.2е).

В данной работе исследуются транзисторный двухкаскадный RC -автогенератор с поворотом фазы в цепи ОС на 180° и RC -автогенератор без поворота фазы на операционном усилителе с мостом Вина в цепи ОС (рис. 14.3).

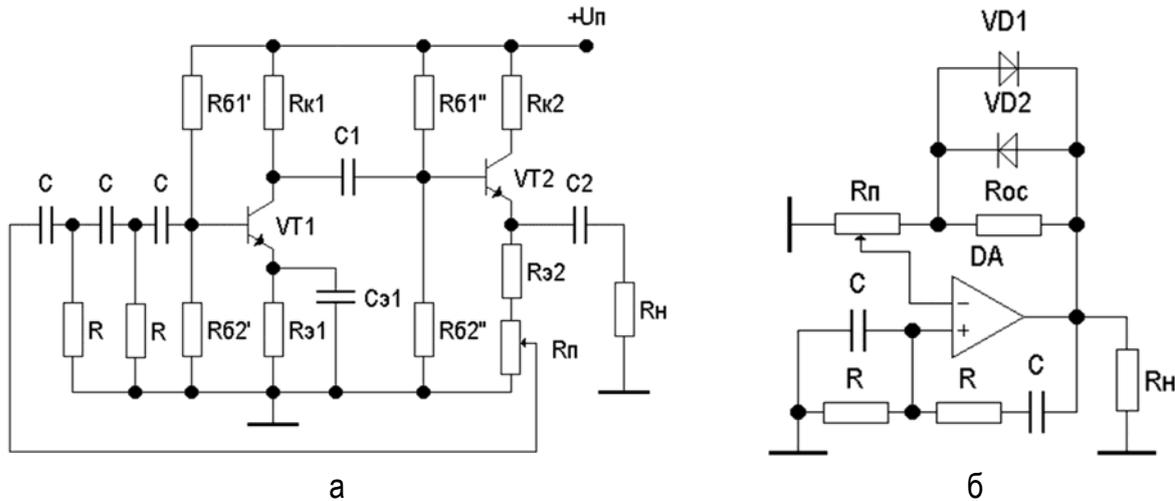


Рис. 14.3

Автогенератор с фазовращающей RC -цепью (рис. 14.3а) состоит из двухкаскадного инвертирующего усилителя (ОЭ–ОК) и фазовращающей RC -цепи, у которой фазовый сдвиг в 180° имеет место на единственной частоте

$$f_0 = 1 / (2\pi RC\sqrt{6}), \quad (14.5)$$

при этом коэффициент передачи γ фазовращающей RC -цепи равен на этой частоте $1/29$.

При расчёте рабочего режима транзистора $VT1$ соблюдают условие $R_{Б1}' \parallel R_{Б1}'' = R$. С помощью потенциометра $R_{П}$ задаётся необходимая глубина положительной ОС, обеспечивающая выполнение условия (14.1) баланса амплитуд. Для устойчивой работы схемы необходимо, чтобы усилитель обладал большим коэффициентом усиления (больше 29), имел большое входное сопротивление и малое выходное сопротивление.

Для стабилизации амплитуды генерируемых колебаний в схеме RC -автогенератора с мостом Вина (рис. 14.3б) параллельно резистору R_2 в цепи ООС дополнительно включают диоды (т.е. вводят симметричную нелинейную обратную связь). Такая схема показана на рисунке 14.3б. С помощью потенциометра здесь задаётся необходимый коэффициент усиления усилителя, который в соответствии с (14.4) в данном случае

$$K_U \geq (R_{OC} + R_{П}) / R', \quad (14.6)$$

где R' – левая часть потенциометра $R_{П}$ относительно движка. Изменяя положение движка потенциометра $R_{П}$ можно получить на выходе генератора устойчивые колебания с минимальными нелинейными искажениями. Частота генерации определяется по формуле (14.3).

14.2. Задания к лабораторной работе

Практические схемы исследуемых RC -автогенераторов с перечнем используемых элементов представлены на рисунках 14.5 и 14.6.

**RC-ГЕНЕРАТОР
С ПОВОРОТОМ ФАЗЫ В ЦЕПИ ОС**

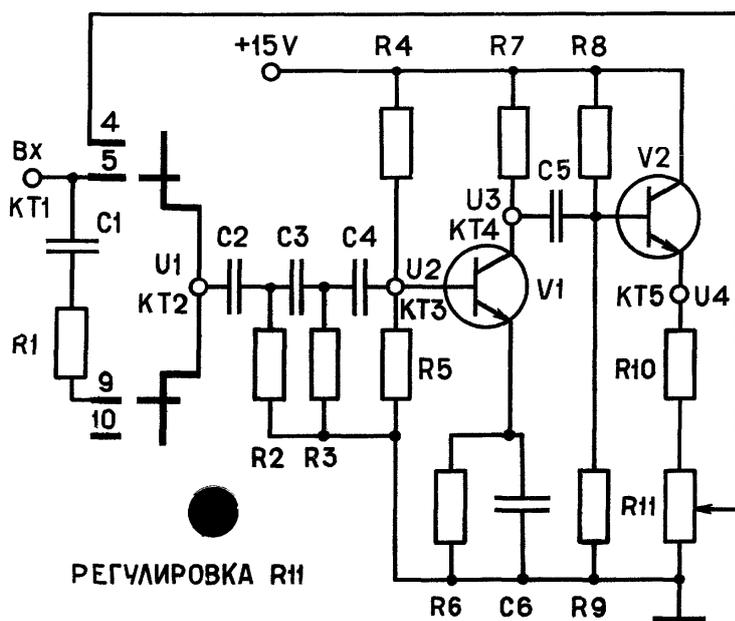


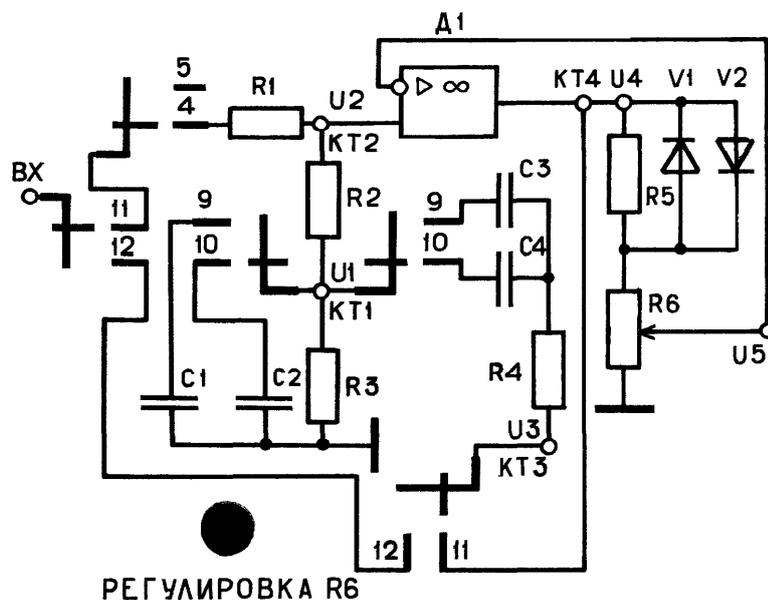
Рис. 14.5

Поз. обозн.	Наименование	Кол.
	<u>Конденсаторы</u>	
C1	100 мкФ	1
C2...C5	68 нФ	4
C6	100 мкФ	1
	<u>Резисторы</u>	
R1	10 кОм	1
R2,R3	2 кОм	2
R4	18 кОм	1
R5	2 кОм	1
R6	470 Ом	1
R7	3 кОм	1
R8,R9	100 кОм	2
R10	3,6 кОм	1
R11	3,3 кОм	1
	<u>Транзисторы</u>	
V1	КТ315Г	2

Задание 1: Исследование RC-автогенератора с поворотом в цепи ОС

- изучить принципиальную схему генератора с поворотом в цепи ОС (рис. 14.3а и рис. 14.5);
- рассчитать частоту f_0 генерации данного генератора по формуле (14.5);
- установить переключатели на панели «Коммутаторы» в положения **5** и **10**; подключить осциллограф к гнезду **КТ3**; подключить внешний генератор ко входу ЛОЭ;
- установить на генераторе напряжение с амплитудой не более 100 мВ; снять АЧХ и ФЧХ фазовращающей RC-цепи, изменяя частоту генератора от 30 Гц до частоты, превышающей примерно в два раза, расчётную (при этом вблизи резонансной частоты изменять частоту генератора более плавно);
- установить переключатель на панели «Коммутаторы» в положение **4** (не изменяя положения других переключателей); подключить осциллограф к **КТ5**; плавно вращая ручку потенциометра R_{11} , добиться устойчивой генерации колебаний;
- с помощью мультиметра измерить и записать в таблицу значения переменных и постоянных составляющих напряжений в точках **U1**, **U2**, **U3**, и **U4**;
- с помощью осциллографа измерить амплитуду и частоту генерации, сравнить измеренную частоту с рассчитанной и частотой резонанса фазовращающей RC-цепи; сделать выводы;
- измерить частоту генерации с помощью внешнего генератора, для этого, не изменяя положения ручки потенциометра R_{11} , установить переключатель на панели «Коммутаторы» в положение **9** (положения других переключателей остаются прежними), подключить осциллограф к **КТ5** на панели «Контрольные точки»; плавно изменяя частоту внешнего генератора получить устойчивое изображение сигнала, подаваемого с внешнего генератора и генерируемых RC-генератором колебаний; записать найденное значение частоты внешнего генератора; сравнить с частотой, измеренной в п.ж).

RC-ГЕНЕРАТОР НА ОУ С МОСТОМ ВИНА В ЦЕПИ ОС



РЕГУЛИРОВКА R6

Рис. 14.6

Поз. обозн.	Наименование	Кол.
	<u>Диоды</u>	
V1, V2	КД512А	2
	<u>Конденсаторы</u>	
C1	22 нФ	1
C2	0,1 мкФ	1
C3	22 нФ	1
C4	0,1 мкФ	1
	<u>Микросхема</u>	
Д1	К553УД2	1
	<u>Резисторы</u>	
R1, R2	20 кОм	2
R3, R4	2 кОм	2
R5	10 кОм	1
R6*	15 кОм	1

*) В исследуемой схеме вместо потенциометра R6 используется комбинация из двух резисторов с постоянными сопротивлениями 4,7 кОм и 5,6 кОм и расположенного между ними потенциометра с полным сопротивлением 4,7 кОм (поэтому $R6 = 4,7 + 4,7 + 5,6 = 15$ кОм).

Задание 2: Исследование RC-автогенератора на ОУ с мостом Вина в цепи ОС

- а) изучить принципиальную схему генератора на ОУ с мостом Вина в цепи ОС (рис. 14.36 и рис. 14.6);
- б) рассчитать частоты f_{01} и f_{02} генерации данного генератора для различных значений ёмкостей (C_1, C_3) и (C_2, C_4) в мосте Вина по формуле (14.3);
- в) установить переключатели на панели «Коммутаторы» в положения **5**, **9** и **11**; подключить внешний генератор ко входу ЛОЭ; осциллограф подключить к КТ3 (вход моста Вина) и к КТ1 (выход моста Вина);
- г) установить на генераторе напряжение с амплитудой не более 3 В; снять АЧХ и ФЧХ моста Вина, изменяя частоту генератора от 30 Гц до частоты, превышающей примерно в два раза, расчётную (вблизи резонансной частоты изменять частоту генератора более плавно);
- д) установить переключатель на панели «Коммутаторы» в положение **10** и повторить п.г)
- е) установить переключатель на панели «Коммутаторы» в положение **5** (не изменяя положения других переключателей); подключить осциллограф к КТ4; плавно вращая ручку потенциометра R_6 , добиться устойчивой генерации колебаний;
- ж) с помощью мультиметра измерить и записать значения переменных составляющих напряжений в точках **U1**, **U2**, **U3**;
- з) с помощью осциллографа измерить амплитуду и частоту генерации, сравнить измеренную частоту с рассчитанной и частотой резонанса моста Вина; сделать выводы;
- и) установить переключатель на панели «Коммутаторы» в положение **9** и повторить п.з)
- и) измерить частоту генерации с помощью внешнего генератора, для этого, не изменяя

положения ручки потенциометра R_6 , установить переключатели на панели «Коммутаторы» в положения **5** и **11** (положения других переключателей остаются прежними), подключить осциллограф к КТ4 на панели «Контрольные точки»; плавно изменяя частоту внешнего генератора получить устойчивое изображение сигнала (при различных значениях ёмкостей в мосте Вина), подаваемого с внешнего генератора и генерируемых RC-генератором колебаний; записать найденные значения частот внешнего генератора; сравнить с частотами, измеренными в п.п. з) и и); сделать выводы.

14.3. Контрольные вопросы

1. Дайте определение автогенератора.
2. Условия самовозбуждения автогенератора.
3. Назначение и типы автогенераторов. Их достоинства и недостатки.
4. Принципы построения LC-автогенераторов. Примеры.
5. Принципы построения RC-автогенераторов. Примеры.
6. Каковы причины искажения формы генерируемого гармонического сигнала? Укажите способы улучшения формы сигнала.