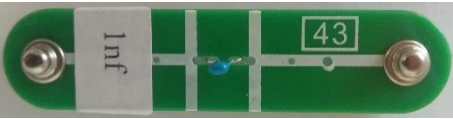
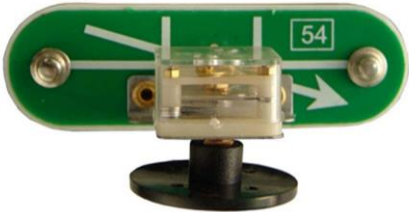
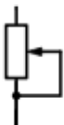
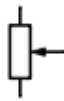
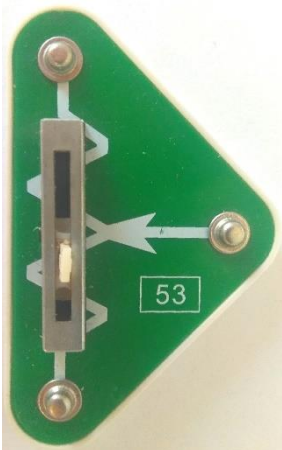
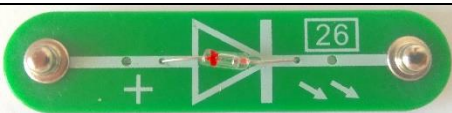


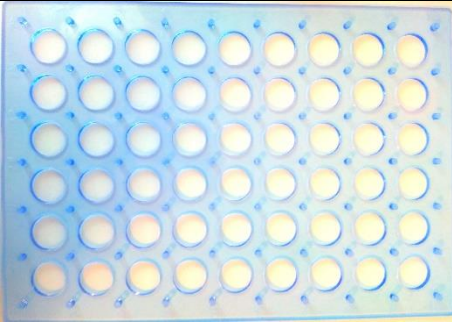
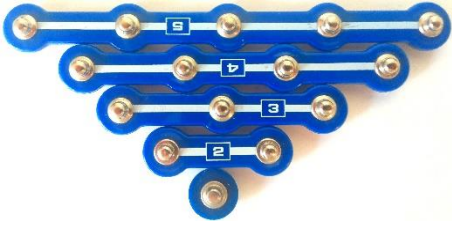
Беспроводная связь

Приборы и оборудование.

Осциллограф, генератор, LCR-метр, электронные компоненты (см. таблицу ниже), контейнер для компонентов, скотч.

Компонент	Обозначение на схеме	Фото	Комментарий
Резистор			Номиналы: 1 кОм – 2 шт. 10 кОм – 1 шт. 100 кОм – 1 шт. 1 МОм – 1 шт.
Конденсатор			Номиналы: 39 пФ – 1 шт. 1000 пФ – 2 шт. 0,1 мкФ – 2 шт. 0,02 мкФ – 1 шт.
Переменный конденсатор			2 шт. Для изменения емкости поверните ручку.
Катушка индуктивности			1 шт.
Катушка переменной индуктивности			1 шт. Для изменения индуктивности выдвиньте сердечник.

Переменный резистор			2 шт.
Потенциометр			1 шт.
Диод			2 шт.
Транзистор			4 шт. На одном из четырех транзисторов есть лишний неподключенный контакт.
Батарейный отсек			4 шт.

Наушники		 	1 шт.
Провод			1 шт.
Монтажная плата			3 шт.
Перемычки			Набор.

Дольные и кратные приставки, которые могут понадобиться при решении задачи.

мега	М	M	10^6		микро	мк	μ	10^{-6}
кило	к	k	10^3		нано	н	п	10^{-9}
милли	м	m	10^{-3}		пико	п	р	10^{-12}

Данная задача посвящена изучению принципов радиопередачи и радиоприема, а также практической реализации устройств, позволяющих осуществлять передачу и прием радиосигнала. Для создания радиоэлектронных устройств необходимо владеть базовыми сведениями о переменном электрическом токе. Также нужно иметь основные представления о линейных элементах электрических цепей (таких как резистор, конденсатор, катушка индуктивности) и о нелинейных элементах (таких как диод и транзистор). Изучению этих двух классов элементов мы уделим внимание в первой части задачи.

Часть 1. Теоретическая.

Глава 1. Переменный ток и RC-цепь.

Переменный ток – это ток, сила которого изменяется с течением времени. Если зависимость силы тока от времени имеет периодический характер (изменяется с периодом T), то такой ток можно характеризовать частотой $\nu = 1/T$. Постоянный ток можно считать частным случаем переменного тока с частотой равной нулю (сила такого тока не изменяется). Наиболее часто встречающимся и простым в рассмотрении является переменный ток, зависимость которого от времени можно описать гармонической функцией. В этом случае сила тока зависит от времени t по гармоническому закону:

$$i(t) = I \cos(\omega t + \varphi_i). \quad (1)$$

Здесь $i(t)$ – мгновенное значение силы тока, I – амплитуда (максимальное значение) силы тока, ω – круговая частота, связанная с частотой ν соотношением $\omega = 2\pi\nu$. Величина $\varphi = \omega t + \varphi_i$ называется фазой колебаний тока, а φ_i – это начальная фаза колебаний тока (или фаза в момент времени, равный нулю).

Пусть к цепи приложено переменное гармоническое напряжение

$$u(t) = U \cos(\omega t + \varphi_u), \quad (2)$$

где $u(t)$ – мгновенное значение напряжения, U – амплитуда напряжения, φ_u – начальная фаза колебаний напряжения. Если цепь состоит только из таких элементов, для которых связь амплитуд силы тока и напряжения линейна (такие элементы называются линейными), то в этой цепи будет протекать переменный ток, также изменяющийся по гармоническому закону. Такие цепи тоже называются линейными.

Любую такую линейную цепь с двумя контактами можно представить в виде одного эквивалентного линейного элемента. Пусть на такой эквивалентный элемент подано напряжение (2), тогда через него потечет ток (1). Коэффи-

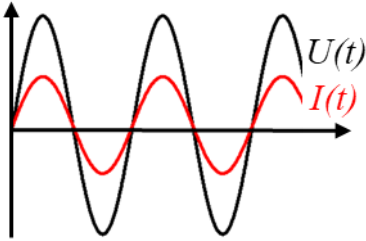
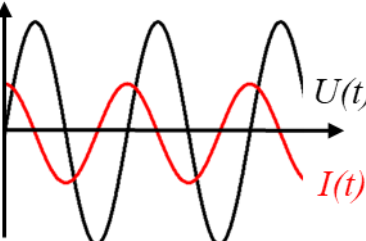
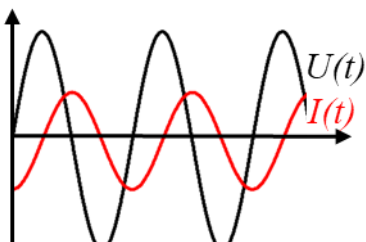
коэффициент пропорциональности между амплитудой напряжения и амплитудой силы тока для этого элемента назовем *модулем импеданса* Z этого элемента:

$$Z = \frac{U}{I} \quad (3)$$

Разность начальной фазы напряжения и начальной фазы силы тока назовем *фазой импеданса*.

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i. \quad (4)$$

Простейшие линейные элементы – это резистор сопротивлением R , конденсатор емкостью C и катушка индуктивностью L . Модуль и фаза импеданса этих элементов указаны в таблице.

Элемент	Графики зависимости силы тока и напряжения от времени	Z	φ
Резистор		R	0
Конденсатор		$\frac{1}{\omega C}$	$-\frac{\pi}{2}$
Катушка		ωL	$\frac{\pi}{2}$

Для расчета цепи переменного тока, состоящей из нескольких линейных элементов, необходимо знать правила сложения импедансов этих элементов, соединенных друг с другом последовательно и параллельно. Цепь, состоящую из отдельных элементов, можно заменить одним эквивалентным элементом с импедансом, рассчитанным по этим правилам.

Для расчета эквивалентного импеданса (импеданса эквивалентного элемента) двух элементов, соединенных последовательно, необходимо учесть, что через эти элементы протекает одинаковый ток, а напряжение на всей цепи есть сумма напряжений на элементах, составляющих цепь. Примем начальную фазу тока, текущего через элементы, за ноль. В этом случае сила тока i и напряжение u на эквивалентном элементе будут задаваться выражениями:

$$\begin{aligned} i &= I \cos \omega t, \\ u &= u_1 + u_2 = Z_1 I \cos(\omega t + \varphi_1) + Z_2 I \cos(\omega t + \varphi_2), \end{aligned} \quad (5)$$

где $u_{1,2}$ – напряжения на первом и на втором элементе, $Z_{1,2}$ – модули импедансов этих элементов, а $\varphi_{1,2}$ – начальные фазы напряжений на элементах.

Приведем выражение для напряжения u к виду:

$$u = I \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2 + 2Z_1 Z_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)} \cos \left[\omega t + \arctg \left(\frac{Z_1 \sin \varphi_1 + Z_2 \sin \varphi_2}{Z_1 \cos \varphi_1 + Z_2 \cos \varphi_2} \right) \right].$$

Тогда модуль и фаза импеданса элемента, эквивалентного двум элементам, соединенным последовательно, составят:

$$\begin{aligned} Z &= I \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2 + 2Z_1 Z_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}, \\ \varphi &= \arctg \left(\frac{Z_1 \sin \varphi_1 + Z_2 \sin \varphi_2}{Z_1 \cos \varphi_1 + Z_2 \cos \varphi_2} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Упражнение 1.1.1.

Для RC -цепи, схема которой изображена на Рис. 1, собранной с использованием резистора сопротивлением R и идеального конденсатора емкостью C , выведите и запишите аналитическое выражение для отношения выходного и входного напряжений цепи $\frac{U_{\text{out}}}{U_{\text{in}}}$, а также выражение для разности фаз $\Delta\varphi$ между выходным и входным напряжением.

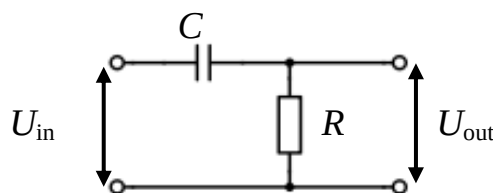


Рис. 1. Схема RC -цепи.

Здесь и в дальнейшем:

- под амплитудой переменного сигнала на канале осциллографа будем понимать разность между максимальным и минимальным значением сигнала. Обозначение соответствующей функции в интерфейсе осциллографа « V_{p-p} »;
- при экспериментальном изучении зависимостей, которые в дальнейшем НЕ БУДУТ приводиться к линейному виду, будем считать достаточным получение 12-ти экспериментальных точек, равномерно распределенных по всему исследуемому диапазону;
- при экспериментальном изучении зависимостей, которые в дальнейшем БУДУТ приводиться к линейному виду, будем считать достаточным получение 7-ми экспериментальных точек, равномерно распределенных по всему исследуемому диапазону.

Упражнение 1.1.2.

Соберите цепь, схема которой изображена на Рис. 2 (конденсатор емкостью 2 нФ составьте из двух конденсаторов емкостью 1 нФ).

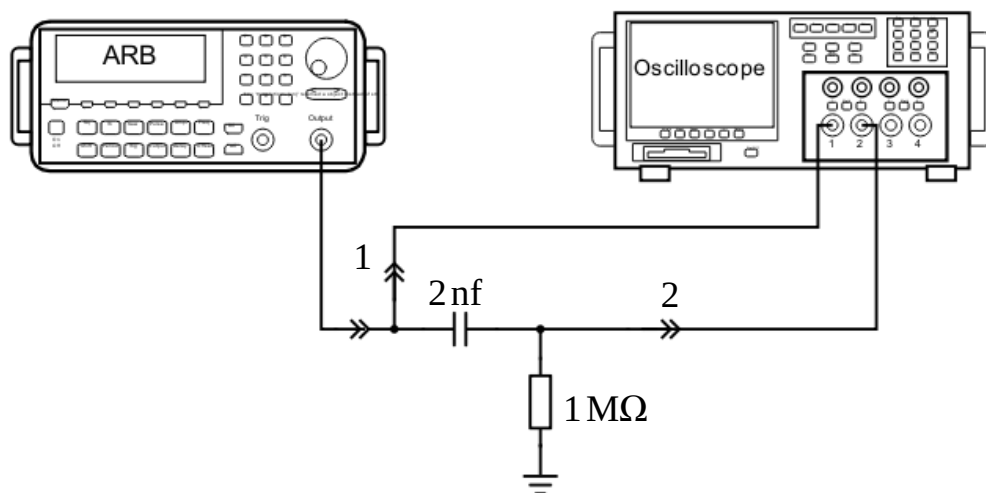


Рис. 2. Схема экспериментального исследования RC -цепи.

Подсоедините к цепи лабораторный генератор сигналов и осциллограф соответствующим образом. Не забудьте подключить контакт заземления (зажим типа «крокодил») щупов осциллографа к общей точке цепи. В дальнейшем на схемах «входными» и «выходными» стрелками будут обозначены выход генератора и входы каналов осциллографа соответственно. Входы каналов осциллографа будут нумероваться цифрами «1» и «2».

Установите выходную амплитуду гармонического сигнала лабораторного генератора, равную 10 В. Получите экспериментально зависимость отношения амплитуд напряжений на первом и втором канале осциллографа $\frac{U_{out}}{U_{in}}$ от частоты f лабораторного генератора в диапазоне частот от 50 Гц до 500 Гц. Также получите экспериментально в том же диапазоне частот зависимость разности фаз $\Delta\varphi$ между сигналами на втором и первом канале от частоты.

На Рис. 2а изображена возможная практическая реализация исследования RC-цепи.

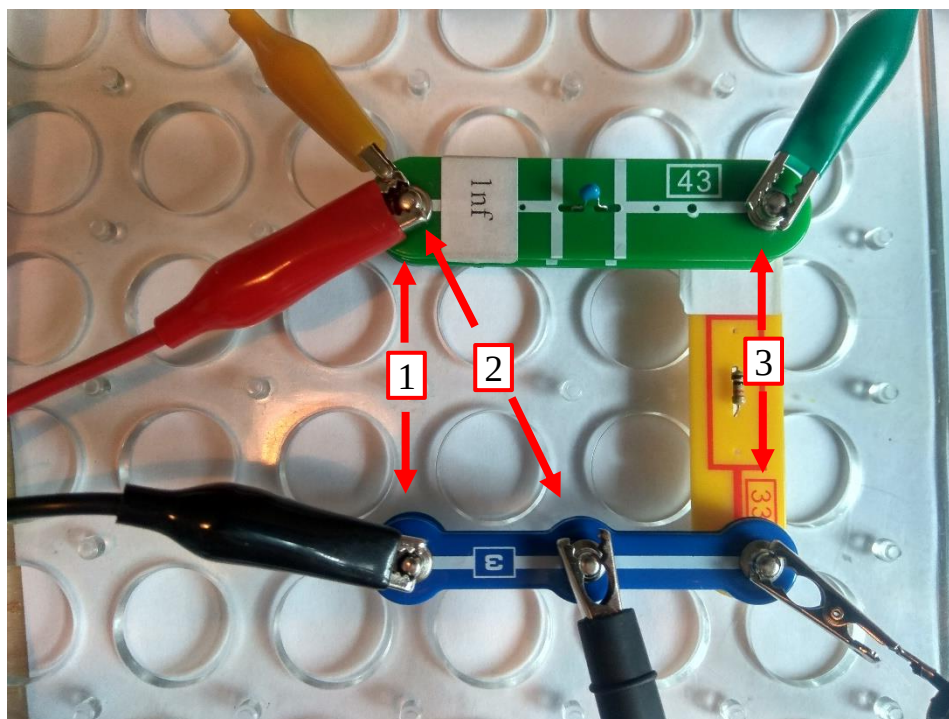


Рис. 2а. Пример практической реализации исследования RC-цепи.
1 – щупы генератора, 2 – щупы первого канала осциллографа,
3 – щупы второго канала осциллографа.

Упражнение 1.1.3.

Используя формулы, полученные в упражнении 1.1.1, постройте графики зависимостей, измеренных в упражнении 1.1.2, приведя их к линейному виду. Используя зависимость амплитуды от частоты, найдите константу RC.

Упражнение 1.1.4.

Константа RC, измеренная в упражнении 1.1.3, не совпадает со значением, рассчитанным из номиналов элементов $R = 1 \text{ МОм}$ и $C = 2 \text{ нФ}$. Укажите элемент (составную часть) цепи (на английском или на русском языке, или с помощью простого рисунка), являющийся причиной этого расхождения. Ука-

жите номинал этого элемента с указанием единиц измерения. С помощью какого измерительного прибора можно проверить правильность вашего предположения?

Упражнение 1.1.5.

Рассчитайте теоретически, каков модуль импеданса элемента, состоящего из резистора R и конденсатора C , соединенных параллельно. Схематически изобразите, как зависит модуль импеданса такого элемента от частоты. К каким значениям стремится модуль импеданса при близкой к нулю частоте ($f \rightarrow 0$) и при частоте, стремящейся к бесконечности ($f \rightarrow \infty$)?

Глава 2. LC-контур.

Упражнение 1.2.1.

Рассчитайте теоретически, как модуль импеданса элемента, состоящего из идеального конденсатора емкостью C и идеальной катушки индуктивностью L , соединенных параллельно, зависит от частоты. Нарисуйте схематично график зависимости модуля импеданса от частоты. Укажите, при какой частоте f_r эта зависимость имеет особенность. Назовем эту частоту «резонансной частотой» колебательного контура (катушки и конденсатора, соединенных параллельно).

Реальная катушка индуктивности отличается от идеальной катушки наличием внутреннего сопротивления (сопротивления при постоянном токе). Эквивалентную схему реальной катушки можно представить как последовательно соединенные катушку и резистор, сопротивление которого равно внутреннему сопротивлению катушки.

Упражнение 1.2.2.

Изобразите схематично, как выглядит график зависимости модуля импеданса от частоты для колебательного контура с реальной катушкой.

Мы не будем измерять импеданс колебательного контура (катушки и конденсатора, соединенных параллельно), однако будем исследовать смежное явление. При изменении внешнего магнитного поля в катушке индуктивности возникает переменная ЭДС, частота изменения которой совпадает с частотой изменения внешнего поля. В таком случае говорят, что катушка работает как магнитная антенна. Если к катушке подключить конденсатор, то получится магнитная антенна с избирательной способностью, то есть наиболее чувстви-

тельная к внешнему магнитному полю той частоты, на которую настроен колебательный контур, образованный этими катушкой и конденсатором.

Упражнение 1.2.3.

Соберите установку согласно схеме, изображенной на Рис. 3. Катушки установите в соседние гнезда монтажной платы параллельно друг другу.

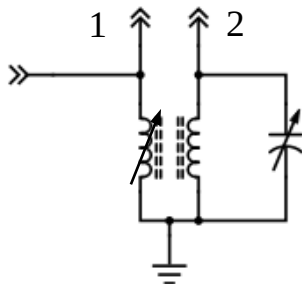


Рис. 3. Схема изучения LC-контра с индуктивным возбуждением.

Поверните ручку переменного конденсатора до упора в сторону против часовой стрелки. Установите амплитуду сигнала лабораторного генератора примерно 1 В. Катушка, к которой подключен лабораторный генератор, будет создавать магнитное поле в пространстве внутри и вокруг себя. Катушка же, подключенная параллельно с переменным конденсатором, будет работать как магнитная антенна с избирательной способностью.

Получите экспериментально зависимость отношения амплитуд сигналов на каналах 2 и 1 осциллографа $\frac{U_{out}}{U_{in}}$ от частоты f лабораторного генератора. Постройте график измеренной зависимости. Подберите диапазон частот и шаг изменения частоты при измерениях таким образом, чтобы характерная ширина резонансного пика составляла примерно четверть от диапазона используемых частот, а пик находился в середине диапазона.

Упражнение 1.2.4.

С помощью LCR-метра измерьте индуктивность катушки и емкость конденсатора, не меняя положения его ручки регулировки. Рассчитайте теоретическое значение резонансной частоты f_{theor} исследуемого колебательного контура. Определите реальную резонансную частоту f_{graph} из графика, построенного в упражнении 1.2.3. Укажите, совпадают ли расчетное и измеренное значение.

Упражнение 1.2.5.

Измерьте зависимость резонансной частоты f_r контура от емкости C переменного конденсатора. Подберите функцию для резонансной частоты так, чтобы она линейно зависела от емкости C . Запишите выражение для этой функции. Постройте график зависимости этой функции от емкости. Укажите значение смещения графика вдоль оси емкости. Какой элемент цепи обладает такой емкостью? (Напишите на английском или на русском языке, или поясните при помощи простого рисунка.)

Упражнение 1.2.6.

Для измерения емкости этого элемента воспользуйтесь LCR -метром. На какой частоте сигнала LCR -метр измеряет емкость? (Эта частота называется рабочей частотой LCR -метра.)

Глава 3. Нелинейные элементы.

Строгое определение нелинейного элемента в электрической цепи достаточно сложно, поэтому выделим существенные для нас характеристики нелинейных элементов с точки зрения их функциональности.

Нелинейные элементы – это такие элементы, для которых зависимость мгновенного значения силы тока от напряжения не является линейной функцией. Это условие выполняется в диапазоне «низких частот» переменного тока. Понятие границы «низких частот» определяется собственными емкостью и индуктивностью элемента. В нашем эксперименте собственные емкости и индуктивности нелинейных элементов столь малы, что весь исследуемый диапазон частот будет принадлежать к области низких частот, т.е. не будет наблюдаться запаздывания или опережения мгновенного значения силы тока относительно напряжения из-за наличия собственной емкости или индуктивности нелинейных элементов. Функция, определяющая зависимость мгновенного значения силы тока от напряжения для нелинейного элемента, называется вольт-амперной характеристикой (ВАХ) элемента.

Таким образом, нелинейный элемент ведет себя в цепи переменного тока подобно резистору с точки зрения фазовых соотношений, но обладает при этом нелинейной ВАХ.

Одним из наиболее часто используемых нелинейных элементов является полупроводниковый диод. Его основная функция – пропускать ток в одном направлении и не пропускать ток в обратном направлении. Вольт-амперная характеристика типичного диода схематично выглядит так, как показано на Рис.

4. Ветвь соответствующая отрицательному напряжению на диодах, используемых в нашей задаче, выходит на насыщение по току (стремится к некоторому небольшому значению силы тока, по модулю равному I_s). Эта сила тока I_s называется *током насыщения*.

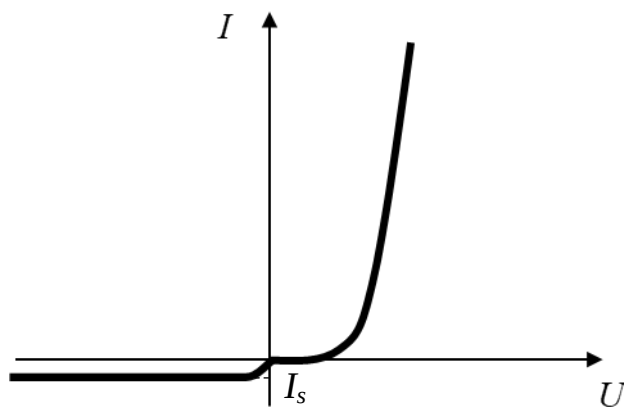


Рис. 4. Вольт-амперная характеристика диода.

Цепь, состоящую из линейных и нелинейных элементов, можно описать эквивалентной вольт-амперной характеристикой.

Упражнение 1.3.1.

Воспользуемся одним из классических методов измерения эквивалентной вольт-амперной характеристики нелинейного элемента и резистора, соединенных последовательно. Для этого соберите цепь, схема которой изображена на Рис. 5. Установите частоту лабораторного генератора, равную 1 кГц, и амплитуду сигнала примерно 1,5 В. Переведите оба канала осциллографа в режим «DC», настройте развертку канала осциллографа так, чтобы на экране появилось несколько периодов сигнала. Зарисуйте схематично вид сигнала на первом и на втором канале (зависимости $U_1(t)$ и $U_2(t)$ напряжения от времени).

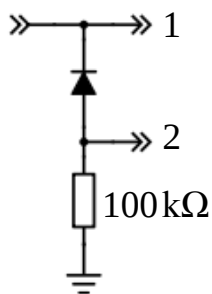


Рис. 5. Схема цепи для измерения эквивалентной вольт-амперной характеристики последовательно соединенных диода и резистора.

Во вкладке «Дисплей» переведите осциллограф в режим XY. По вертикальной оси будет отображаться напряжение U_2 на резисторе, оно пропорционально току, текущему через резистор и диод. По горизонтальной оси будет отображаться напряжение U_1 на последовательно соединенных диоде и резисторе. Таким образом, на экране осциллографа вы увидите вольт-амперную характеристику последовательно соединенных резистора и диода. Зарисуйте схематично полученную на экране осциллографа зависимость $U_2(U_1)$. Измерьте ток насыщения диода.

Упражнение 1.3.2.

Переведите режим индикации осциллографа в YТ.

Цепь, схема которой изображена на Рис. 5, позволяет пропускать ток через резистор только в одну сторону. Постепенно увеличивайте частоту сигнала лабораторного генератора, доведя ее до максимально возможной. Меняйте временную развертку осциллографа так, чтобы каждый раз наблюдать несколько периодов сигнала на экране осциллографа. Зарисуйте схематично две характерных осциллограммы (зависимости U_2 от t) – на максимальной частоте лабораторного генератора и на частоте, на два порядка меньшей максимальной (амплитуда входного сигнала при двух используемых частотах должна быть одинаковой). Обратите внимание на соотношение переменной и постоянной составляющей сигнала.

Наблюдаемое вами поведение выходного сигнала при больших частотах связано с наличием емкости у осциллографа. Характерное время разрядки конденсатора канала осциллографа через резистор сопротивлением 100 кОм при больших частотах становится существенно больше, чем период переменного сигнала лабораторного генератора. Таким образом, цепь при больших частотах ведет себя как выпрямитель, то есть превращает переменный ток в постоянный.

Упражнение 1.3.3.

Подключите параллельно резистору конденсатор емкостью 1 нФ. Как изменилась характерная частота, при которой начинает наблюдаться выпрямление сигнала? Измерьте на частоте 500 кГц зависимость постоянного (выпрямленного) напряжения $\langle U_2 \rangle$ на втором канале осциллографа от амплитуды U_1 переменного напряжения на лабораторном генераторе. Постройте график зависимости напряжения на выходе выпрямителя от амплитуды напряжения на его входе и найдите угловой коэффициент этой зависимости.

Так как постоянное напряжение на выходе цепи (на втором канале осциллографа) изменяется в зависимости от амплитуды напряжения на лабораторном генераторе, то можно говорить о том, что такая цепь ведет себя как детектор, то есть однозначно «переводит» амплитуду переменного сигнала в величину постоянного. Подадим на такую цепь переменный сигнал высокой частоты с амплитудой, изменяющейся на низкой частоте (амплитудно-модулированный сигнал). Частота изменения амплитуды высокочастотного сигнала называется частотой модуляции. На выходе цепи получим сигнал с частотой, равной частоте модуляции. Такой процесс в радиотехнике называется детектированием (см. Рис. 6).

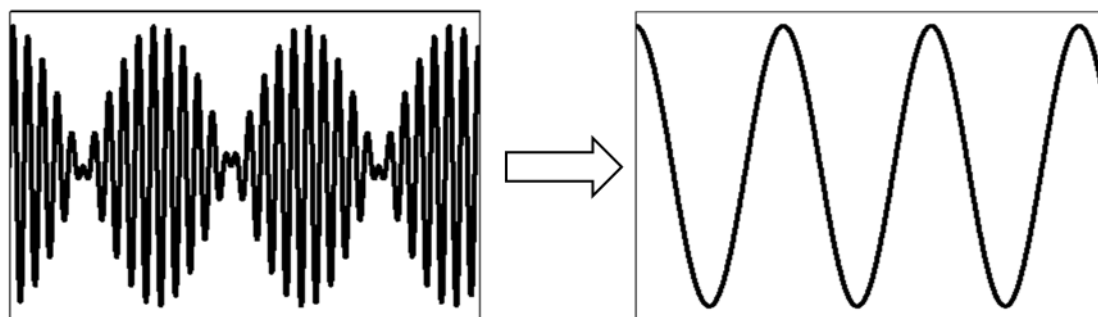


Рис. 6. Детектирование амплитудно-модулированного сигнала.

Следующий нелинейный элемент, который будет рассмотрен нами, называется «полевой транзистор» (далее – транзистор). Этот элемент имеет три вывода (рис. 7), называемые сток (D), исток (S) и затвор (G).



Рис. 7. Транзистор: D – сток, S – исток, G – затвор.

Вольт-амперная характеристика между стоком и истоком транзистора $I(U)$ зависит от напряжения U_d между затвором и истоком. При этом при изменении U_d характерный вид вольт-амперной характеристики остается прежним, но изменяется ток насыщения транзистора (см. Рис. 8).

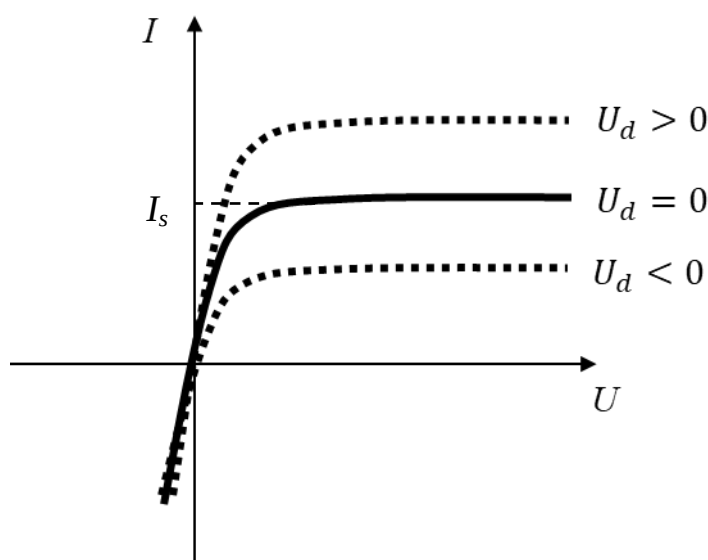


Рис. 8. Вольт-амперные характеристики транзистора в зависимости от напряжения между затвором и истоком.

На основе транзистора можно построить усилитель напряжения. Усилитель – это элемент, служащий для увеличения амплитуды сигнала. Для построения усилителя на основе транзистора сначала разберемся, какое напряжение устанавливается на транзисторе, подключенном последовательно с резистором к постоянному напряжению. Для этого нужно записать, что сумма падения напряжения на транзисторе U_t и на резисторе IR равна постоянному напряжению питания U_s :

$$U_t + IR = U_s. \quad (7)$$

Таким образом, напряжение на транзисторе можно рассчитать, как

$$U_t = U_s - IR. \quad (8)$$

Наиболее наглядно можно решить это уравнение графически (Рис. 9).

Как видно, при определенном значении сопротивления резистора, нагрузочная прямая, задающаяся уравнением (8), пересекает вольт-амперную характеристику транзистора в области насыщения тока. Ток насыщения зависит от напряжения между затвором и истоком. Таким образом, при изменении напряжения на затворе изменяется ток через резистор, и напряжение на нем. При правильно подобранном резисторе, изменение напряжения на резисторе может превзойти изменение напряжения на затворе. Проиллюстрируем сказанное (см. Рис. 10).

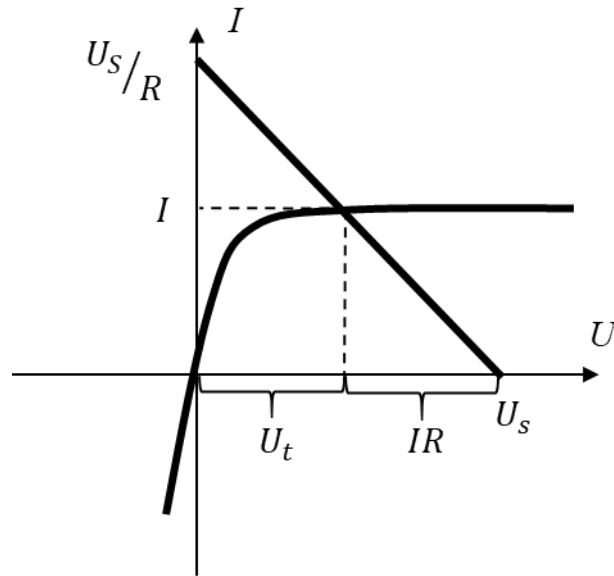


Рис. 9. Графическое решение уравнения (8).

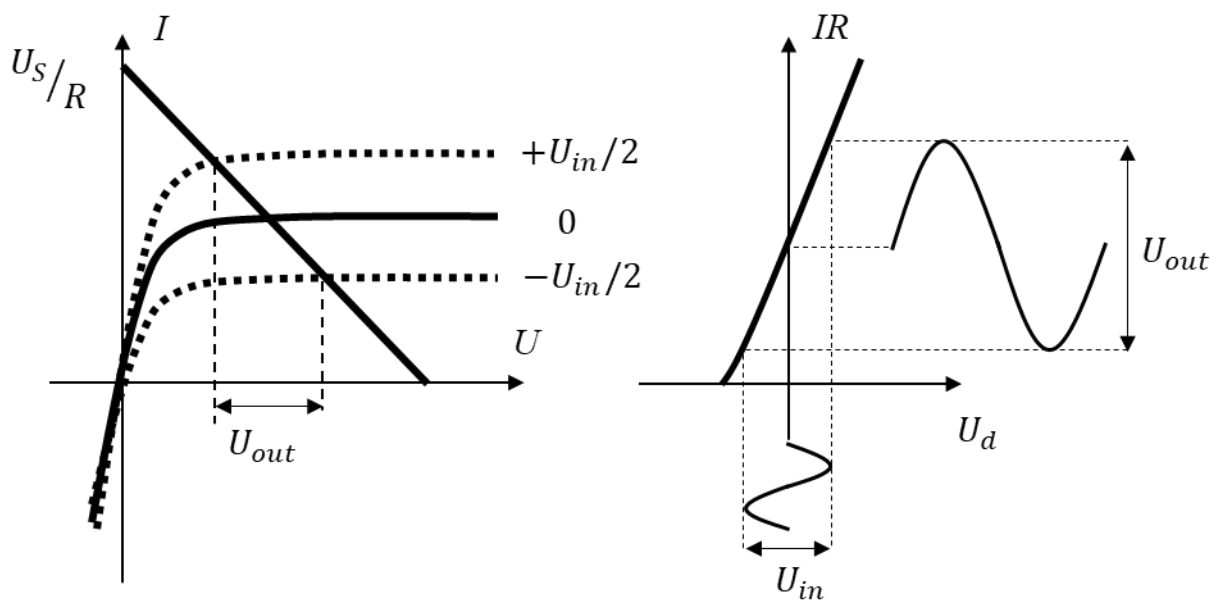


Рис. 10. Работа усилителя напряжения.

Упражнение 1.3.4.

Соберите цепь, схема которой изображена на Рис. 11. Установите напряжение сигнала лабораторного генератора равное 50 мВ, а частоту 500 кГц. Изменяя сопротивление переменного резистора, настройтесь на максимум амплитуды переменного сигнала во втором канале осциллографа. Измерьте и запи-

шите диапазон значений сопротивления переменного резистора, при котором наблюдается максимум напряжения на выходе усилителя.

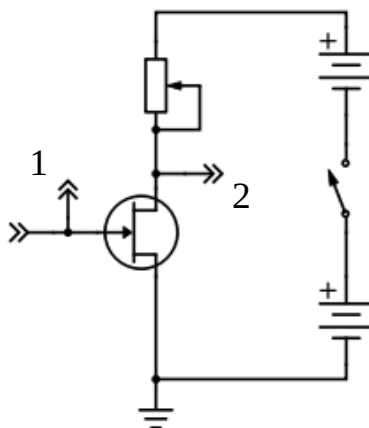


Рис. 11. Схема усилителя.

Измерьте зависимость амплитуды напряжения U_2 на втором канале осциллографа от амплитуды напряжения U_1 на лабораторном генераторе. Постройте график этой зависимости. Найдите коэффициент усиления усилителя, т.е. отношение амплитуды выходного напряжения к амплитуде входного напряжения на линейном участке графика. Начиная с какой амплитуды сигнала на входе усилителя выходной сигнал становится негармоническим (усилитель переходит в нелинейный режим)?

В упражнении 1.3.4. мы рассмотрели простейший усилитель, не обладающий избирательной способностью по частоте сигнала. Однако в некоторых случаях удобно использовать усилитель, который усиливает лишь сигнал определенной частоты. Такой усилитель носит название *резонансный усилитель*. Для этого в цепь стока вместо резистора ставится колебательный контур, а в цепь истока – резистор для защиты транзистора от перегрева.

Упражнение 1.3.5.

Соберите цепь, схема которой изображена на Рис. 12. Используйте резистор номиналом 500 Ом (его можно получить, соединив два резистора с номиналами по 1 кОм). Установите амплитуду входного сигнала усилителя на уровне 50 мВ (сигнал с лабораторного генератора). Поверните ручку переменного конденсатора до предела по часовой стрелке. Найдите частоту, при которой коэффициент усиления становится максимальным. Какова разность фаз между входным и выходным сигналами усилителя на резонансной частоте?

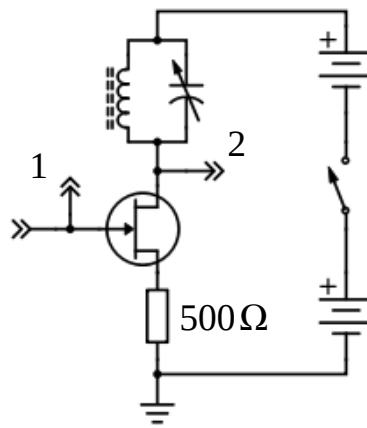


Рис. 12. Схема резонансного усилителя.

Упражнение 1.3.6.

Измерьте для резонансного усилителя зависимость амплитуды выходного сигнала от амплитуды входного при максимальном коэффициенте усиления. Постройте график этой зависимости. Определите ее угловой коэффициент на начальном линейном участке. Сравните значение этого коэффициента с коэффициентом усиления усилителя, измеренным в пункте 1.3.4. (без записи в лист ответов). Измеренное значение понадобится вам при выполнении следующего упражнения.

Входное напряжение подается на усилитель с лабораторного генератора. Однако если поместить рядом с катушкой колебательного контура вторую катушку, в которой от первой катушки будет наводиться ЭДС индукции, то напряжение на вход усилителя можно подать с этой второй катушки, обойдясь без генератора. Таким несложным способом можно построить свой собственный генератор, то есть прибор, в котором переменный ток будет возбуждаться самостоятельно, без внешнего воздействия. Далее построенный нами генератор будем называть «**ВЧ генератор**» (генератор высокой частоты).

Упражнение 1.3.7.

Намотайте несколько витков провода на катушку колебательного контура. Тем самым мы создали трансформатор со вторичной обмоткой, состоящей из нескольких витков. При включенном лабораторном генераторе измерьте с помощью осциллографа напряжение между концами этого провода. Подберите такое количество витков вторичной обмотки, чтобы отношение амплитуды напряжения на первичной обмотке колебательного контура к амплитуде напряжения на вторичной обмотке было примерно в полтора раза меньше ко-

эфициента усиления, измеренного в упражнении 1.3.6. Подбранное число витков укажите в листе ответов. Подключите вторичную обмотку вместо лабораторного генератора в цепь (Рис. 13), соблюдая полярность, т.е. так, чтобы разность фаз между сигналами на вторичной и первичной обмотке соответствовала разности фаз, измеренной в упражнении 1.3.5. Зафиксируйте вторичную обмотку на корпусе катушки с помощью скотча.

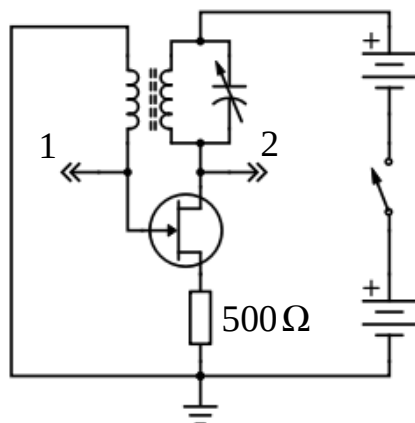


Рис. 13. Схема ВЧ генератора.

Построенный ВЧ генератор позволяет создавать, как принято говорить, несущую частоту, на которой будет передаваться радиосигнал. Однако для передачи непосредственно звука необходимо обеспечить амплитудную модуляцию сигнала несущей частоты на звуковой частоте. (Рис. 6, слева).

Для того чтобы добиться модуляции необходимо изменять с интересующей нас частотой какой-либо параметр ВЧ генератора. В нашем случае изменению будет подвержена рабочая точка ВЧ генератора, то есть напряжение U_d между затвором и истоком.

Упражнение 1.3.8.

В цепи ВЧ генератора, схема которой изображена на Рис. 13, среднее значение напряжения на затворе составляет 0 В (если считать относительно заземления). Однако если добавить в цепь делитель напряжения и конденсатор емкостью 0,1 мкФ, то можно изменять среднее напряжение на затворе в определенных пределах (Рис. 14).

Соберите эту цепь (Рис. 14). Получите экспериментально и постройте график зависимости амплитуды на выходе ВЧ генератора от среднего напряжения на затворе транзистора. При каком среднем напряжении на затворе генерация прекращается?

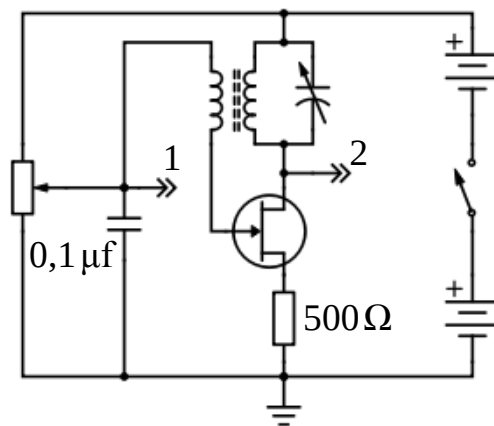


Рис. 14. Схема ВЧ генератора с настраиваемой рабочей точкой.

Упражнение 1.3.9.

Установите напряжение на затворе транзистора (рабочую точку транзистора) так, чтобы значение этого напряжения было равно половине напряжения, при котором ВЧ генератор перестает работать (найденно в упражнении 1.3.8.). Подсоедините к одной из обкладок конденсатора лабораторный генератор так, как показано на Рис. 15. Установите частоту сигнала лабораторного генератора 1 кГц. Подберите амплитуду сигнала лабораторного генератора таким образом, чтобы амплитуда модуляции была максимальной, но при этом не происходило срыва генерации.

Зарисуйте, как выглядит осциллограмма сигнала на затворе транзистора и осциллограмма сигнала с выхода ВЧ генератора.

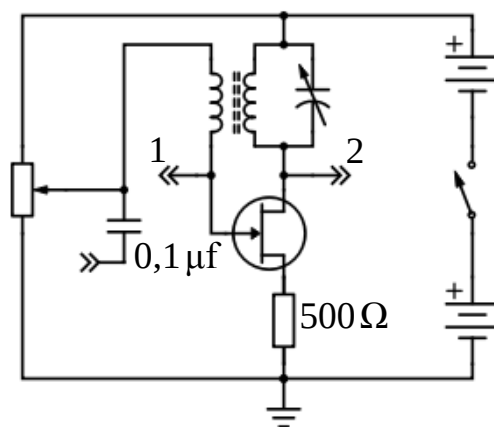


Рис. 15. Схема ВЧ генератора с амплитудной модуляцией.

Глава 4. Разделительные элементы.

Как видно из упражнения 1.3.4., наряду с переменным сигналом на выходе усилителя есть еще и постоянная составляющая, то есть сигнал на частоте, равной нулю. Для дальнейшего преобразования сигнала после усилителя могут быть использованы различные цепи, но на вход этих цепей необходимо подавать лишь переменную составляющую сигнала. Для того чтобы убрать постоянную составляющую сигнала, необходимо воспользоваться *RC*-фильтром, принцип работы которого был рассмотрен в упражнении 1.1.1. Так как кроме постоянной составляющей сигнала в электрических цепях могут появляться еще и наводки на частоте 50 Гц от бытовой электропроводки, то *RC*-фильтр рассчитывают так, чтобы он пропускал сигнал на полезной частоте, но не пропускал сигналы с частотой ниже 50 Гц.

Упражнение 1.4.1.

Подберите такой конденсатор из выданных вам, чтобы вместе с резистором сопротивлением 10 кОм они составили *RC*-фильтр, который уменьшал бы амплитуду сигнала на частоте 50 Гц не менее чем в 10 раз, но при этом пропускал сигнал на частоте 500 кГц как можно лучше. Запишите номинал выбранного конденсатора.

Соберите *RC*-фильтр с использованием выбранного конденсатора. Подайте на его вход сигнал с частотой 50 Гц с лабораторного генератора. Сместите среднее значение сигнала на выходе лабораторного генератора, потянув на себя и покрутив ручку «DC-offset». Убедитесь в том, что фильтр не пропускает постоянную составляющую сигнала и ослабляет сигнал частотой 50 Гц (не забудьте установить режим измерения «DC» каналов осциллографа). Установите частоту сигнала лабораторного генератора равной 500 кГц. Убедитесь, что фильтр полностью пропускает сигнал на этой частоте, по-прежнему не пропуская постоянную составляющую сигнала.

Упражнение 1.4.2.

Соберите цепь, схема которой изображена на Рис. 16. Подайте на ее вход с лабораторного генератора сигнал частотой 500 кГц с амплитудой 5 В. Зарисуйте осциллограммы сигнала на входе и на выходе цепи (второй сигнал показывает, как изменяется напряжение на диоде). Рисунок должен иллюстрировать отличие сигналов. Обратите внимание на то, каково среднее значение сигнала на выходе (без записи в лист ответов). Зависит ли выходной сигнал этой цепи от среднего значения сигнала на входе (на лабораторном генераторе)? Для изменения среднего значения сигнала на генераторе потяните на себя ручку «DC-

OFFSET». После выполнения упражнения не забудьте вернуть эту ручку в исходное положение.

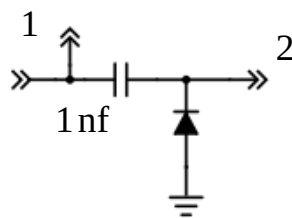


Рис. 16. Схема разделительного конденсатора с диодом.

Упражнение 1.4.3.

Подключите к выходу цепи, рассмотренной в предыдущем упражнении, цепь детектора из упражнения 1.3.3, как показано на Рис. 17. Установите частоту сигнала лабораторного генератора 500 кГц.

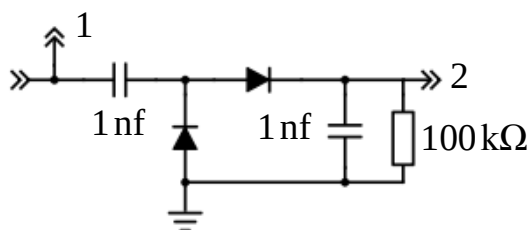


Рис. 17. Схема детектора с двумя диодами.

Получите экспериментально и постройте график зависимости постоянного напряжения $\langle U_2 \rangle$ на выходе цепи (напряжения на резисторе) от амплитуды напряжения U_1 на входе цепи. Постройте график зависимости среднего напряжения на выходе цепи от амплитуды напряжения на входе в детектор и определите угловой коэффициент этой зависимости. Найдите отношение углового коэффициента, измеренного в этом упражнении, к угловому коэффициенту, измеренному в упражнении 1.3.3.

Часть 2. Практическая.

Глава 1. Сборка приемника.

В данной части работы вам предстоит собрать и настроить приемник прямого усиления. Это устройство предназначено для приема амплитудно-модулированного высокочастотного сигнала, его детектирования и превращения в звук. Принципиальная схема такого приемника представлена на Рис. 18.

Из всех радиосигналов и помех приемный колебательный контур 1 «выбирает» высокочастотный сигнал определенной частоты. Принятый сигнал поступает на усилитель высокой частоты 2, после чего детектируется детектором 3 и усиливается усилителем низкой частоты 4. Сигнал низкой частоты после усилителя поступает на динамик 5 или наушник, который позволяет услышать переданное с помощью радиосигнала сообщение.

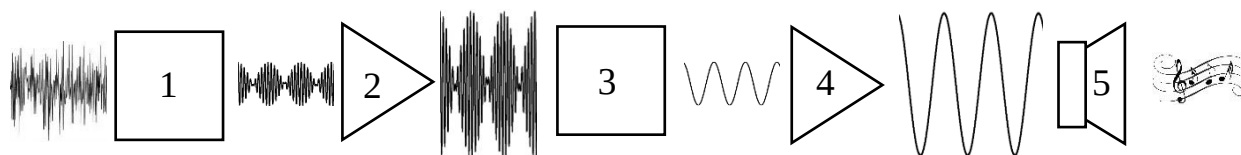


Рис. 18. Схема работы приемника прямого усиления.
 1 – приемный контур; 2 – усилитель высокой частоты; 3 – детектор;
 4 – усилитель низкой частоты; 5 – динамик.

Для сборки приемника понадобятся две прямоугольные монтажные платы. Расположите их так, чтобы они соприкасались короткими сторонами. Установите два отсека с батарейками на край правой платы. Соедините их ключом, соблюдая полярность. Проложите вдоль двух плат по их длинным сторонам контактную шину, соединенную с положительным полюсом батареек, и контактную шину, соединенную с отрицательным полюсом батареек (Рис. 19). Шина, соединенная с отрицательным полюсом батареек, в дальнейшем будет использоваться для подключения контактов заземления осциллографа.

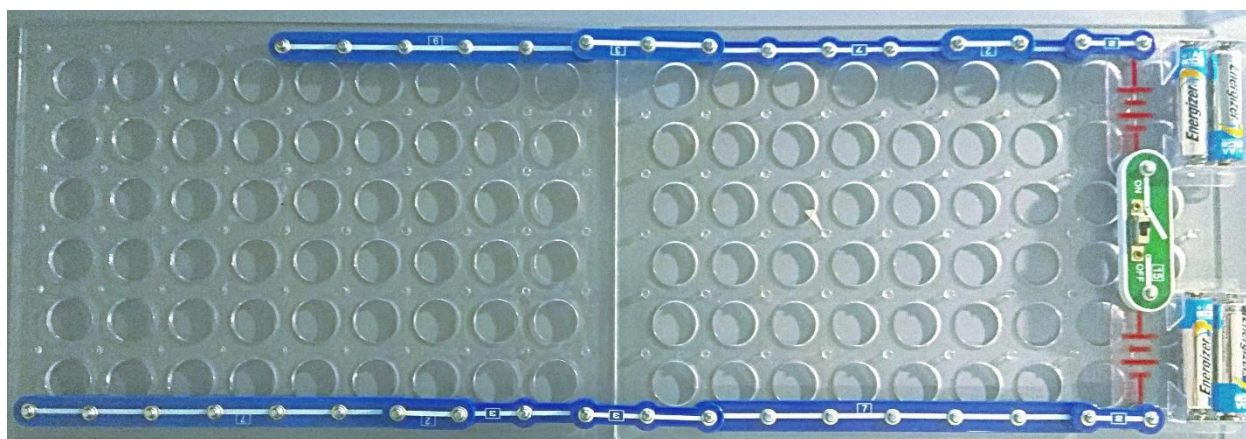


Рис. 19. Подготовка двух монтажных плат для сборки приемника.

Упражнение 2.1.1.

Установите частоту ВЧ генератора (собранного в соответствии с Рис. 15) минимально возможной. Выставьте на ноль амплитуду выходного сигнала лабораторного генератора, тем самым отключив модуляцию сигнала ВЧ генератора.

Соберите параллельный колебательный контур на подготовленной двойной монтажной плате и установите его рядом с ВЧ генератором (Рис. 20). Изменяя емкость конденсатора в этом контуре, установите резонансную частоту колебаний контура равной частоте ВЧ генератора. Для измерения амплитуды сигнала на колебательном контуре используйте осциллограф.

Если уровень сигнала на осциллографе недостаточен для устойчивых измерений, расположите плату ВЧ генератора таким образом, чтобы катушки ВЧ генератора и приемного контура находились ближе друг к другу.



Рис. 20. Установка колебательного контура.

Упражнение 2.1.2.

Для усиления слабого ВЧ сигнала с LC -контура недостаточно одного усилителя, рассмотренного ранее в упражнении 1.3.4. Поэтому мы будем соединять усилители последовательно. Каждый из усилителей будем называть каскадом усиления.

Подключите колебательный контур к первому каскаду усиления (Рис. 21). Изменяя сопротивление переменного резистора, настройте первый каскад на максимальное усиление. Измерьте коэффициент усиления первого каскада. Используйте два канала осциллографа для одновременного измерения уровней сигнала на входе и на выходе усилителя.



Рис. 21. Установка первого каскада усиления.

Упражнение 2.1.3.

Установите фильтр низких частот на выход первого каскада усиления (Рис. 22). Номинал конденсатора выберите в соответствии с результатами, полученными в упражнении 1.4.1.

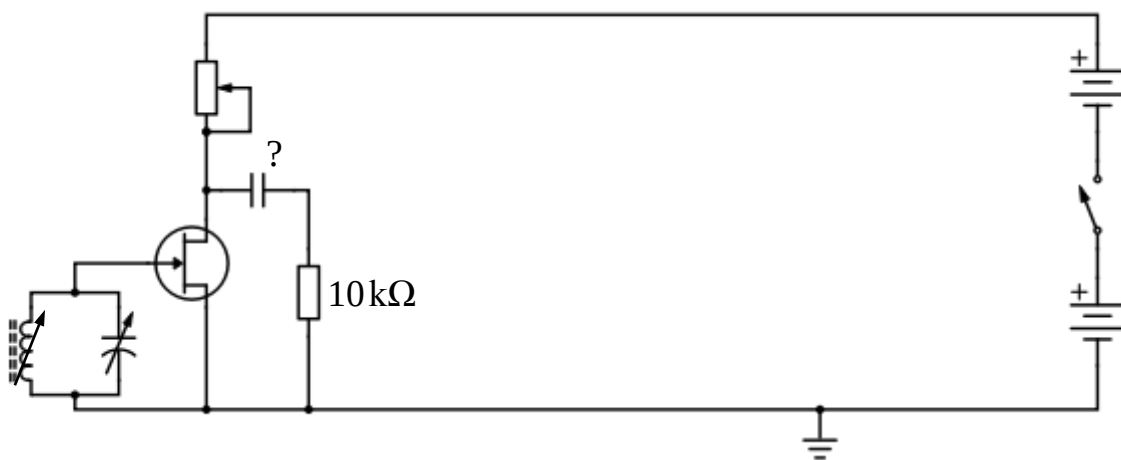


Рис. 22. Установка фильтра низких частот.

Упражнение 2.1.4.

К выходу фильтра низких частот подключите второй каскад усиления, как показано на Рис. 23. Используйте конденсатор емкостью 39 пФ для создания отрицательной обратной связи второго каскада усиления, чтобы избежать самовозбуждения полученного усилителя. Изменяя сопротивление переменного резистора, настройте цепь второго каскада на максимальное усиление.

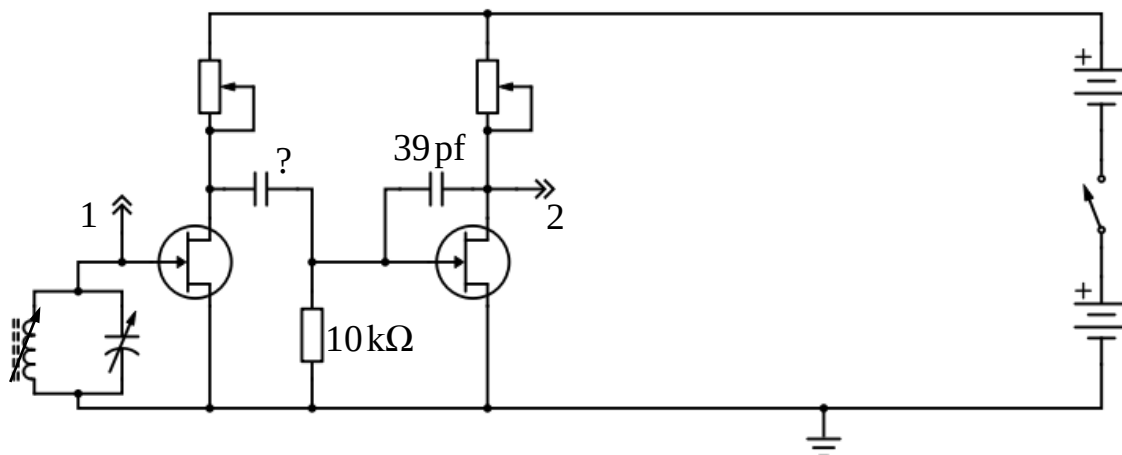


Рис. 23. Установка второго каскада усиления.

Измерьте общий коэффициент усиления K полученного двухкаскадного усилителя – то есть измерьте отношение амплитуды сигнала на выходе второго каскада усилителя к амплитуде сигнала на колебательном контуре. Используйте два канала осциллографа для одновременного измерения уровней сигнала на входе первого каскада усиления и на выходе усилителя.

Запишите формулу, связывающую общий коэффициент усиления K с коэффициентами усиления K_1 и K_2 первого и второго каскадов усиления. Рассчитайте коэффициент усиления K_2 второго каскада усилителя.

Упражнение 2.1.5.

Установите амплитуду сигнала лабораторного генератора таким образом, чтобы амплитуда модуляции была максимальной, но при этом не происходило срыва генерации.

Подключите к выходу второго каскада усиления детектор с двумя диодами, исследованный в упражнении 1.4.3. (далее детектор) – см. Рис. 24. Установите частоту амплитудной модуляции ВЧ генератора равную 1 кГц. Зарисуйте качественно (3-4 периода) осциллограмму сигнала с выхода детектора. Установите частоту амплитудной модуляции ВЧ генератора, равную 5 кГц. Зарисуйте качественно (3-4 периода) осциллограмму сигнала с выхода детектора. Постарайтесь отразить на рисунках различия в этих сигналах.

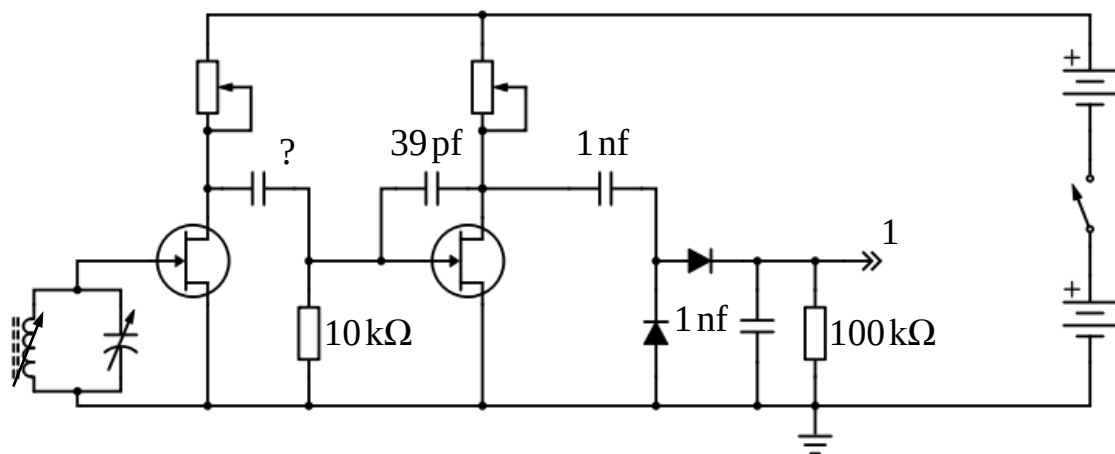


Рис. 24. Установка детектора с двумя диодами.

Упражнение 2.1.6.

Вставьте наушники в соответствующее гнездо. Измерьте их сопротивление *LCR*-метром.

К выходу детектора подключите усилитель низкой частоты (НЧ), как показано на Рис. 25. Зарисуйте качественно осциллограмму сигнала, поступающего с выхода усилителя низкой частоты. Отключите конденсатор емкостью 0,1 мкФ в цепи стока транзистора усилителя НЧ и вновь зарисуйте осциллограмму сигнала с выхода усилителя НЧ. Отрадите на рисунке отличие в сигналах. Рассчитайте модуль импеданса параллельно соединенных наушников и конденсатора на звуковой частоте 1 кГц и на частоте 500 кГц (близкой к несущей).

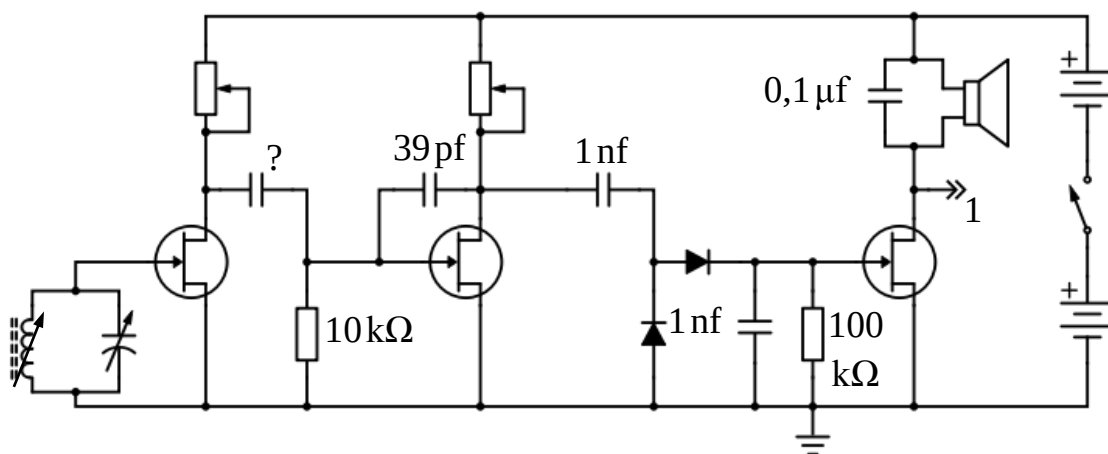


Рис. 25. Установка усилителя низкой частоты и наушников приемника.

Глава 2. Прием внешнего сигнала.

Теперь вам будет необходимо принять сигнал от внешней радиостанции, работающей в вашей школьной аудитории. Несущая частота сигнала внешней радиостанции составляет более 2 МГц. Для приема сигнала от внешней радиостанции необходимо изменить пределы регулировки резонансной частоты в колебательном контуре.

Упражнение 2.2.1.

Объясните с помощью нескольких слов на английском языке или с использованием простого рисунка, как нужно изменить пределы регулировки резонансной частоты колебательного контура. Укажите, что конкретно необходимо сделать с элементами колебательного контура.

Упражнение 2.2.2.

Провода, с помощью которых осуществлена электрическая проводка в комнате, а также включенные в электросеть приборы являются хорошей принимающей антенной для внешнего сигнала. Подключите к колебательному контуру щупы осциллографа для увеличения уровня сигнала на входе приемного контура. Измерьте несущую частоту внешнего сигнала, а также его звуковую частоту (частоту модуляции).

Упражнение 2.2.3.

Звуковой сигнал, принимаемый приемником, представляет собой одно слово, записанное азбукой Морзе. Это специальный язык, состоящий из коротких и длинных сигналов, с помощью которого можно передавать небольшие радиосообщения. Каждому символу в такой азбуке соответствует набор коротких и длинных сигналов, называемых «точка» и «тире».

Соответствие букв английского алфавита и сигналов в азбуке Морзе представлено на Рис. 26. Между каждой «точкой» или «тире» идет небольшой промежуток молчания (отсутствия сигнала). Внутри одной буквы этот промежуток короткий, между буквами длиннее и, наконец, самый длинный между словами.

Запишите в лист ответов слово, передаваемое радиостанцией, в терминах «точка» и «тире». Расшифруйте это слово и запишите его английскими буквами.

A	• —	J	• — — —	S	• • •
B	— • • •	K	— • —	T	—
C	— • — •	L	• — • •	U	• • —
D	— • •	M	— —	V	• • • —
E	•	N	— •	W	• — —
F	• • — •	O	— — —	X	— • • —
G	— — •	P	• — — •	Y	— • — —
H	• • • •	Q	— — • —	Z	— — • •
I	• •	R	• — •		

Рис. 26. Азбука Морзе.