

**НИКУЛИН А. В., НИКУЛИН В. В.**

**О ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ  
«ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ»**

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы проектирования лабораторной работы «Генераторы гармонических колебаний» по курсу «Основы схемотехники телекоммуникационных устройств» с учетом возможностей лабораторных стендов и сравнения результатов натурального и модельного экспериментов.

**Ключевые слова:** стендовая лабораторная работа, виртуальная лабораторная работа, генератор гармонических колебаний, мост Вина, фазосдвигающая цепочка, фаза, частота.

**NIKULIN A. V., NIKULIN V. V.**

**ON DESIGNING OF LABORATORY WORKS FOR THE COURSE OF  
"FUNDAMENTALS OF CIRCUITRY OF TELECOMMUNICATION DEVICES"**

**Abstract.** The article deals with with the designing of a laboratory work "Generators of Harmonic Oscillations" for the course of "Fundamentals of Circuitry of Telecommunication Devices". The use of laboratory benches and comparison of the results of full-scale and model experiments are considered.

**Keywords:** bench laboratory work, virtual laboratory work, generator of harmonic oscillations, Wien bridge, phase-shifting chain, phase, frequency.

Неотъемлемой частью учебного процесса в вузе при изучении технических дисциплин является лабораторный практикум, задачей которого является формирование у студентов практических навыков работы с оборудованием, получения и обработки экспериментальных данных, умения планировать эксперимент, анализировать и сопоставлять полученные результаты с литературными данными. В настоящее время среди приоритетных задач высшего технического образования выделяются проектирование и использование современных инновационных образовательных технологий. Их актуальность заключается в том, что в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами нового поколения резко возрастает доля интерактивного представления материала с использованием компьютерных технологий [1].

Однако, как показывает практика, не происходит и резкого отказа от стендовых лабораторных работ (СЛР), которые наряду с недостатками имеют и существенные достоинства. К важным недостаткам СЛР можно отнести дороговизну каждого из стендов. Свой отпечаток накладывает тот факт, что электроника в последнее время развивается быстрыми темпами, в связи с чем не всегда удается обеспечивать студентов самым новым

оборудованием. К другим недостаткам можно отнести высокую вероятность поломки самого стенда из-за нарушения технологии проведения опыта.

С другой стороны, не теряют своей актуальности стенды, разработанные еще несколько лет назад с работами по таким базовым предметам как основы электротехники, теория электрических цепей. При работе на них студентам кроме сборки исследуемой схемы для проведения опытов требуется настроить и саму установку, что дает навыки практической работы с электронными приборами и более глубокое понимание принципов работы исследуемых объектов и устройств. К тому же большинство людей лучше усваивают материал, когда происходит осмысленное воспроизведение опыта с помощью реальных устройств, что является неоспоримым преимуществом СЛР.

К преимуществам же виртуального практикума можно отнести отсутствие возможности нанести физические повреждение стенду даже при исследовании аварийных и аномальных режимов работы схем, возможность выполнения заданий вне лабораторных кабинетов, возможность быстрого оформления результатов эксперимента, относительная дешевизна программного обеспечения. Наиболее оптимальным вариантом, с нашей точки зрения, является совмещение плюсов обоих видов лабораторных работ.

С учетом вышесказанного был разработан комплекс лабораторных работ по изучению низкочастотных генераторов гармонических колебаний по курсу «Основы схемотехники телекоммуникационных устройств» для направления подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Задания к этим работам включают в себя расчет, моделирование и анализ схем генераторов в программных пакетах схемных эмуляторов и последующую их экспериментальную проверку на лабораторном стенде. Для исследования были выбраны общеизвестные схемы на основе моста Вина и фазосдвигающей цепочки как с использованием операционного усилителя, так и транзисторный вариант. Эти схемы генераторов были выбраны не случайно: они имеют хорошую повторяемость, просты в реализации, поскольку содержат небольшое количество элементов, что позволяет обойтись имеющимся в комплекте лабораторного стенда набором элементов.

В рамках первого этапа исследования генератора студентам предлагается рассчитать параметры элементов этой схемы. Затем провести моделирование по методике, описанной в [2]. При этом параметры элементов выбраны так, чтобы они соответствовали имеющимся в комплекте стенда, подробно рассмотренного в [3]. Далее необходимо провести практические эксперименты. А на завершающем этапе сравнить результаты расчетов, моделирования, эксперимента и сделать соответствующие выводы.

Исходя из имеющихся в наборе резисторов, величина резистора  $R_1$  выбрана 10 кОм. Тогда в соответствии с тем, что для схемы с генератором с мотом Вина коэффициент

обратной связи  $R2/(R1+R2)$  должен быть примерно равен  $1/3$ , величина резистора  $R2$  равна  $20 \text{ кОм}$ . Остальные элементы  $R3$  и  $R4$  выбраны величиной  $10 \text{ кОм}$ , а  $C1$  и  $C2$  –  $0,1 \text{ мкФ}$ . Исходя из этих номиналов частота колебаний должна быть:

$$f = 1/(2\pi RC) = 1/(2\pi \cdot 10000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}) = 159 \text{ Гц.}$$

Для виртуального моделирования применяется NI Multisim, но можно использовать и более ранние версии EWB. Модель генератора показана на рис. 1.

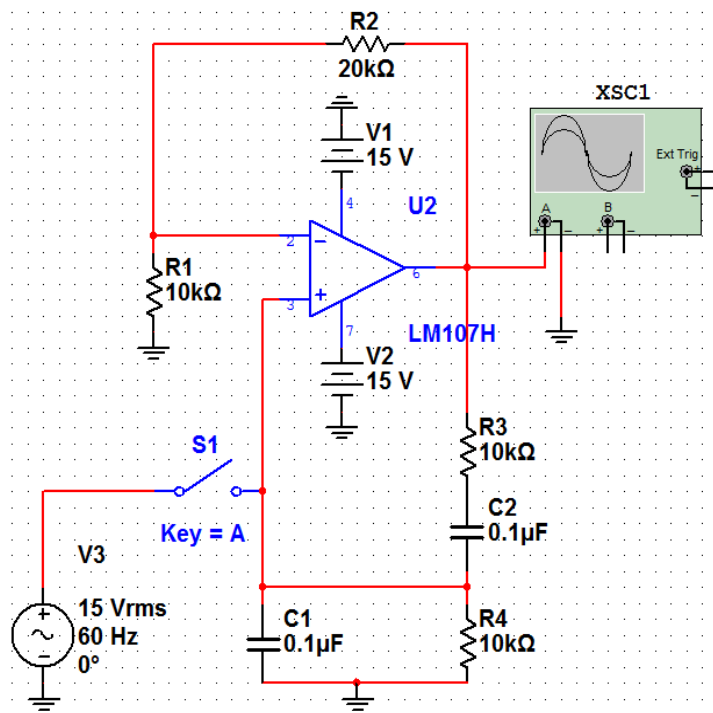


Рис.1. Модель генератора на основе моста Вина с ОУ в NI Multisim.

В отличие от реального генератора в модели отсутствуют помехи, которые приводят к его возбуждению, поэтому в схему добавлена запуская цепочка, состоящая из ключа и генератора синусоидального сигнала.

Сигнал на выходе модели генератора после его принудительного запуска имеет вид, показанный на рис. 2.

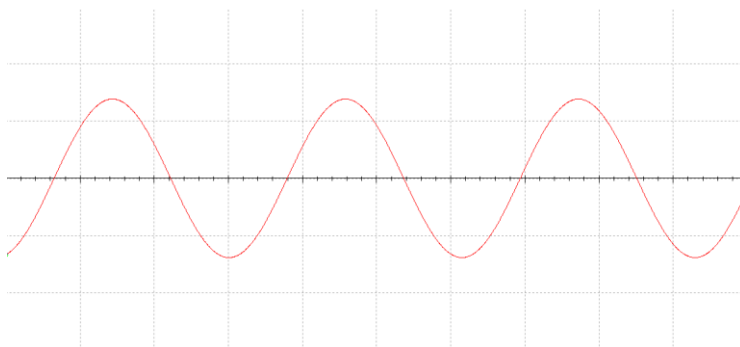


Рис. 2. Сигнал на выходе генератора.

Как видно из рисунка 2, частота колебаний в точности соответствует расчетному значению, а амплитуда составляет 13,8 В.

Исследуемая схема чувствительна к изменениям глубины обратной связи. Увеличение значения сопротивления  $R_2$  всего на 1% приводит к заметным искажениям сигнала на выходе (рис. 3).

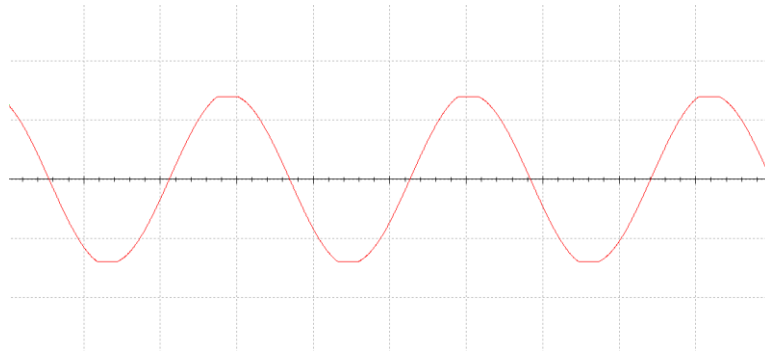


Рис. 3. Искажение выходного сигнала.

Уменьшение же сопротивления на 1% вызывает затухание колебаний (рис. 4).

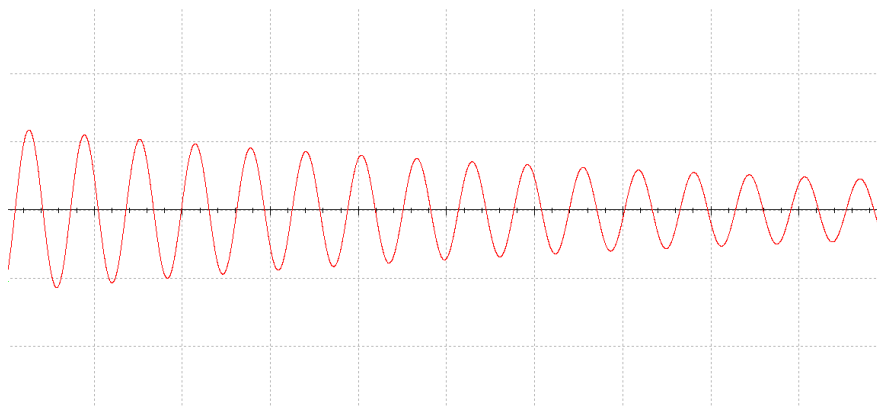


Рис. 4. Затухание колебаний при уменьшении  $R_2$ .

Собранная на лабораторном стенде схема показана на рис. 5.

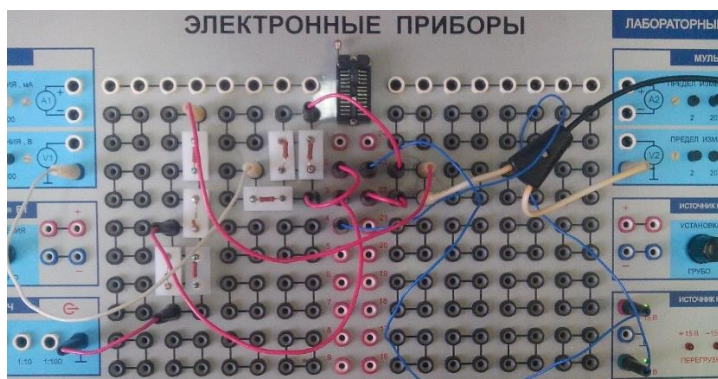


Рис. 5. Генератор с ОУ на основе моста Вина.

Полученная частота собранной на стенде схемы близка к расчетной и равна 140 Гц, амплитуда 0,2 В (рис. 6). На отклонение повлиял разброс параметров реальных элементов.

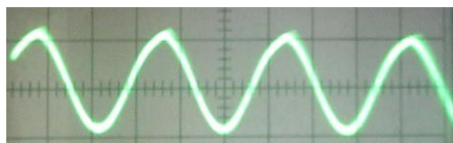


Рис. 6. Осциллограмма выходного сигнала генератора.

На следующем этапе собрали схему с ОУ на основе фазосдвигающей цепочки. Вычисления сильно упрощаются установкой всех резисторов (исключая резистор отрицательной обратной связи) и всех конденсаторов одинаковых величин. На схеме  $R3=R4=R5=R$  и  $C1=C2=C3=C$ , тогда:

$$f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}} = \frac{1}{2\pi \cdot 1000 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{6}} = 650 \text{ Гц.}$$

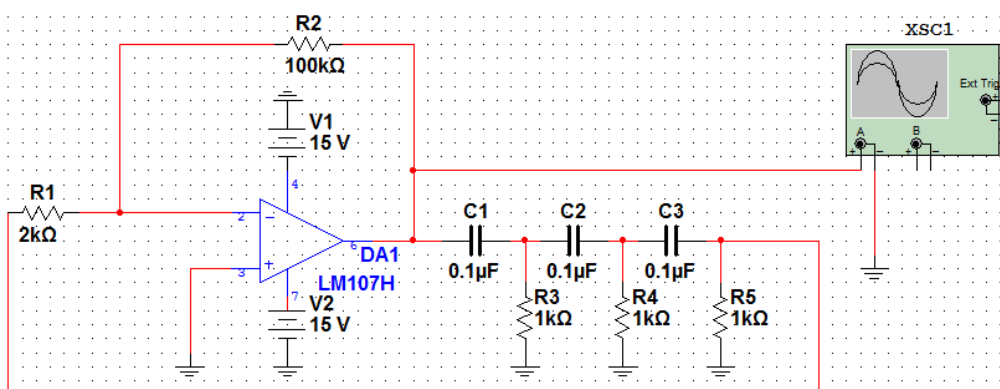


Рис. 7. Модель генератора на основе фазосдвигающей цепочки с ОУ.

Выходной сигнал имеет искажения (рис. 8).

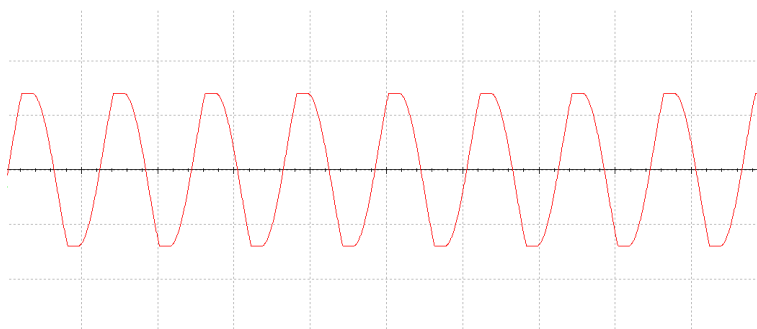


Рис. 8. Сигнал на выходе генератора

Получили схему генератора, работающего на частоте близкой к расчетной: период 1,534 мс, частота 652 Гц.

На рисунке 9 показана собранная на стенде схема генератора на основе фазосдвигающей цепочки с ОУ.

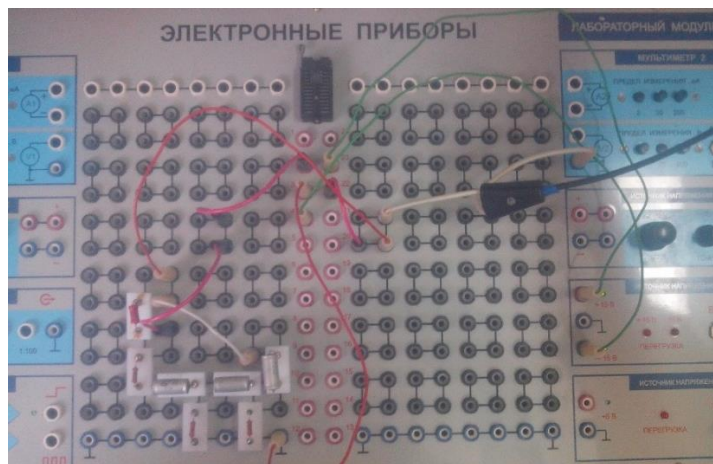


Рис. 9. Генератор с ОУ на основе фазосдвигающей цепочки.

На осциллограмме (рис. 10) видно, что сигнал имеет такие же искажения, как и на модели.

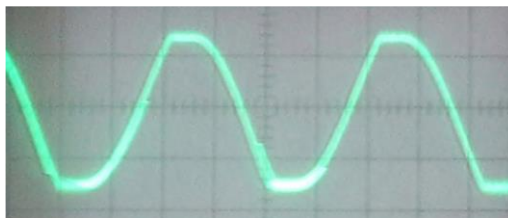


Рис. 10. Осциллограмма сигнала генератора на основе фазосдвигающей цепочки с ОУ

Схема по сравнению с предыдущей имеет большее количество элементов, что привело к большему отклонению частоты от расчетного значения, чем в схеме на основе моста Вина. Полученная частота реального моделирования равна 610 Гц, отклонение от расчетного значения составило 6%, что является вполне допустимым.

На последнем этапе лабораторной работы по аналогичной методике выполняется изучение этих же схем генераторов, но в качестве усилительного элемента используется транзистор. В качестве транзистора для сборки на стенде выбран КТ640, а для моделирования – аналог из библиотеки Multisim – 2N1711.

Отклонение частоты, полученной в эксперименте, на 7% от расчетного значения является допустимым.

Использование лабораторных стендов совместно с виртуальным моделированием повышает уровень качества подготовки студентов. Приобретенные навыки работы с реальными приборами и виртуальными моделями способствуют становлению профессионализма будущего специалиста.

Рассмотренные в работе схемы достаточно просты, позволяют обойтись небольшим количеством элементов. Номиналы элементов выбраны таким образом, чтобы обойтись комплектом, имеющимся в лабораторном стенде.

Схемы имеют хорошую повторяемость, и получаемые результаты мало зависят от расположения элементов при сборке на монтажном поле.

Отклонение результатов эксперимента и модели от расчетных не превышает 10%. На отклонение частоты в схеме, собранной на лабораторном стенде влияют характеристики и разброс параметров реальных элементов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровин В. С., Никулин В. В. Роль виртуальных лабораторных работ в повышении качества подготовки бакалавров по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» // Интеграция образования. – 2014. – № 1 (74). – С. 109–115.
2. Никулин В. В., Шишов О. В. Моделирование и расчет типовых узлов аналоговой схемотехники: учебное пособие. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. – 120 с.
3. Никулин В. В., Дубровин В. С. Применение операционных усилителей. Лабораторный практикум. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 2010. – 48 с.