

ВИРТУАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
УСИЛИТЕЛЕЙ РАДИОСИГНАЛОВ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ LABVIEW

А. Е. КУРОЧКИН, ВУННА ЧЖО

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Беларусь)

E-mail: kurochkin@bsuir.by

Аннотация. Представлены результаты разработки компьютерного аналога физического лабораторного стенда в LabVIEW.

Annotation. The results of developing a computer analogue of a physical laboratory bench in LabVIEW are presented.

Введение

Поставлена задача разработать компьютерную модель физического лабораторного модуля, схема которого представлена на рисунке 1, в программной среде LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) [1]. Модуль предназначен для исследования основных характеристик резонансного и резистивного (апериодического) каскадов усилителя радиосигналов (УРС) [2].

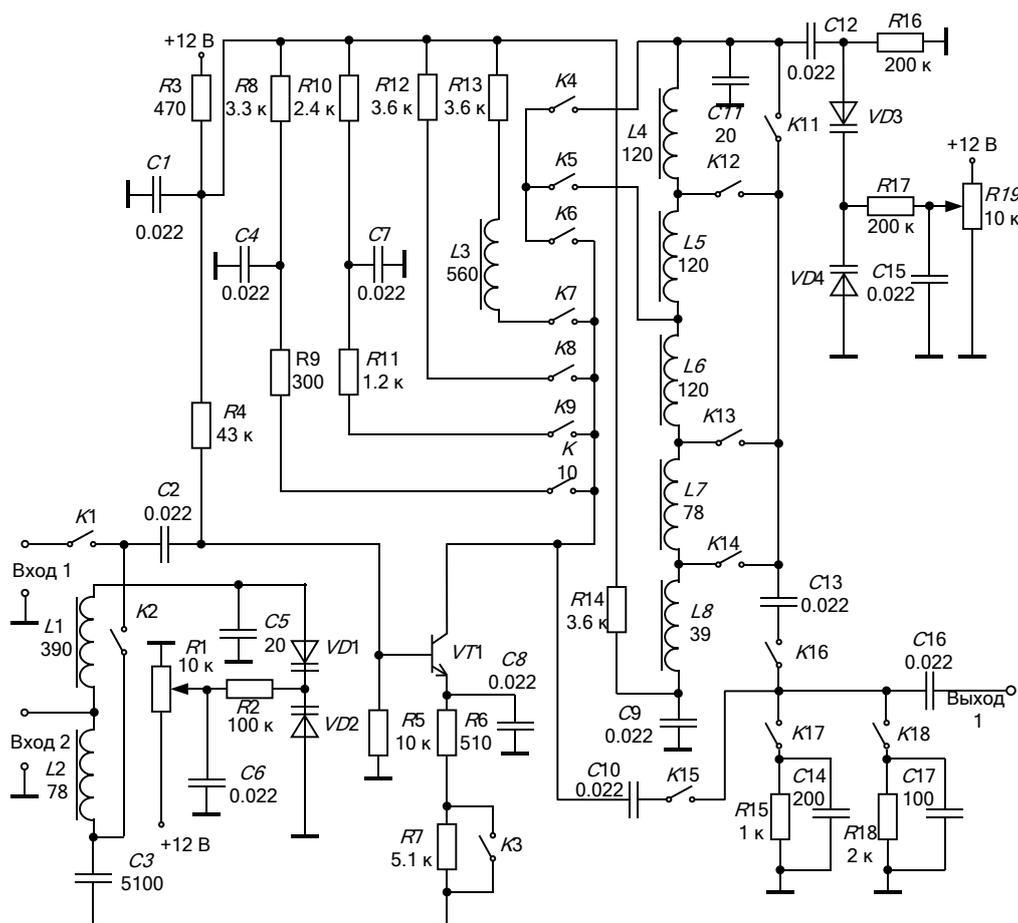


Рис. 1. Принципиальная схема физического модуля для исследования УРС

При исследовании резонансного УРС на биполярном транзисторе VT1 входной сигнал в диапазоне частот примерно от 525 до 1605 кГц поступает от генератора сигналов высокой частоты (ГВЧ) на входной разъём «Вход 1». Переключение различных режимов работы модуля осуществляется с помощью герконовых реле K1-K18. Реле K1 и K2 обеспечивают исследование УРС в режиме одиночного

резонансного или аperiodического усиления и преселектора, т.е. резистивного и резонансного каскадов совместно с ВЦ, соответственно. С помощью реле К3 изменяется режим работы транзистора VT1 по постоянному току. Связь выходного контура УРС с транзистором изменяется с помощью реле К4 и К5. Реле К6 предназначено для подключения выходного колебательного контура к коллекторной цепи VT1. Реле К7-К10 подключают к коллекторной цепи VT1 резистивную нагрузку в виде резисторов R9, R11, R12 и R13 с корректирующей индуктивностью L3. Реле К11-К14 предназначены для изменения степени связи выходного контура и нагрузки. Реле К15 и К16 подключают нагрузку через разделительные конденсаторы C10 и C13 к выходу УРС в режиме резонансного или аperiodического усиления, соответственно. С помощью реле К17, К18 изменяются параметры нагрузки каскада.

Разработка лицевых панелей виртуального лабораторного модуля

При проведении физического эксперимента проводятся следующие исследования:

- изучение влияния режима работы транзистора по постоянному току на значение резонансной частоты выходного контура, на величину резонансного коэффициента передачи и его зависимость от частоты настройки УРС;
- измерение нормированной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) резонансного УРС при различной степени связи выходного контура с коллекторной цепью транзистора и нагрузкой;
- оценка влияния величины нагрузки и внутренних параметров транзистора на полосу пропускания и частоту настройки выходного контура;
- оценка влияния степени связи выходного контура с нагрузкой и коллекторной цепью транзистора на величину резонансного коэффициента передачи;
- измерение односигнальной селективности по зеркальному каналу в режиме одиночного резонансного УРС и в режиме преселектора;
- измерение АЧХ резистивного УРС с различными типами коллекторной нагрузки.

Руководствуясь схемой физического модуля для исследования УРС и перечисленными выше видами исследований разработана модель виртуального лабораторного модуля в программной среде LabVIEW.

Интерфейс модуля содержит две вкладки “Измерение” и “Схема”. На вкладке “Измерение” (рисунок 2) размещены ГВЧ, обеспечивающий работу с амплитудной (АМ) и частотной модуляцией (ЧМ), и измерительные приборы.

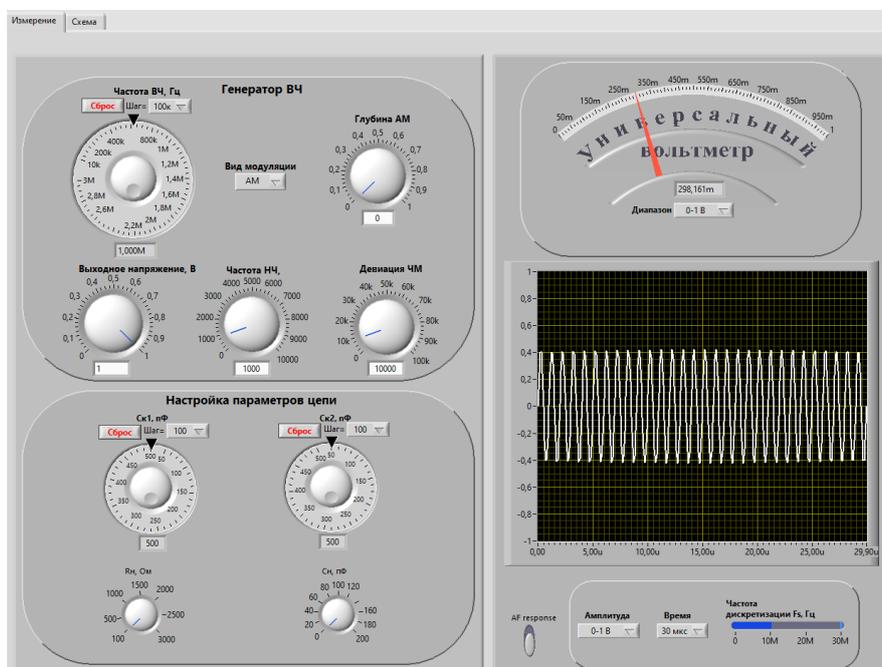


Рис. 2. Лицевая панель измерительных приборов виртуального модуля

Оциллограф выполнен на основе элемента “Waveform Chart”, анализатор АЧХ на основе элемента “Waveform Graph” палитры Graph, универсальный вольтметр на основе элемента Meter палитры Numeric. На вкладке также предусмотрены регулировки для компонентов, параметры которых должны изменяться в процессе исследований:

Секция 3 «Цифровая обработка сигналов и машинное обучение»

- регулировки частот несущего и модулирующего колебаний ГВЧ на основе доработанного элемента Knob и элемента Dial палитры Numeric;
- регулировка уровня выходного сигнала ГВЧ на основе элемента Dial палитры Numeric;
- регулировки глубины амплитудной модуляции и девиации частотной модуляции на основе элемента Dial палитры Numeric;
- независимые регулировки ёмкости переменных конденсаторов ВЦ и выходной СЦ на основе доработанных элементов Knob палитры Numeric;
- регулировки сопротивления и ёмкости конденсатора нагрузки UPC на основе элемента Dial палитры Numeric;
- переключатель видов модуляции на основе элемента “Menu Ring” палитры Ring&Enum;
- переключатель режимов работы ”осциллограф-анализатор АЧХ” на основе элемента “Vertical Slide Switch” палитры Boolean.

На вкладке “Схема” (рисунок 3) размещены: графическое изображение электрической принципиальной схемы модуля, на которой в соответствующих местах размещены графические изображения реле на основе элементов “Vertical Toggle Switch”, “Horizontal Toggle Switch” и “Round LED” палитры Boolean для коммутации режимов работы модуля, элементы управления реле (тумблеры) на основе элементов “Vertical Toggle Switch” в количестве 20 штук, элемент установки всех тумблеров в исходное состояние на основе “Ok Button” палитры Boolean, а также текстовое окно с описанием назначения всех реле и вариантов режимов работы модуля. Предусмотрен режим работы модуля как в режиме поточечного снятия АЧХ, так и в режиме анализатора АЧХ, т.е. режим свип-генератора.

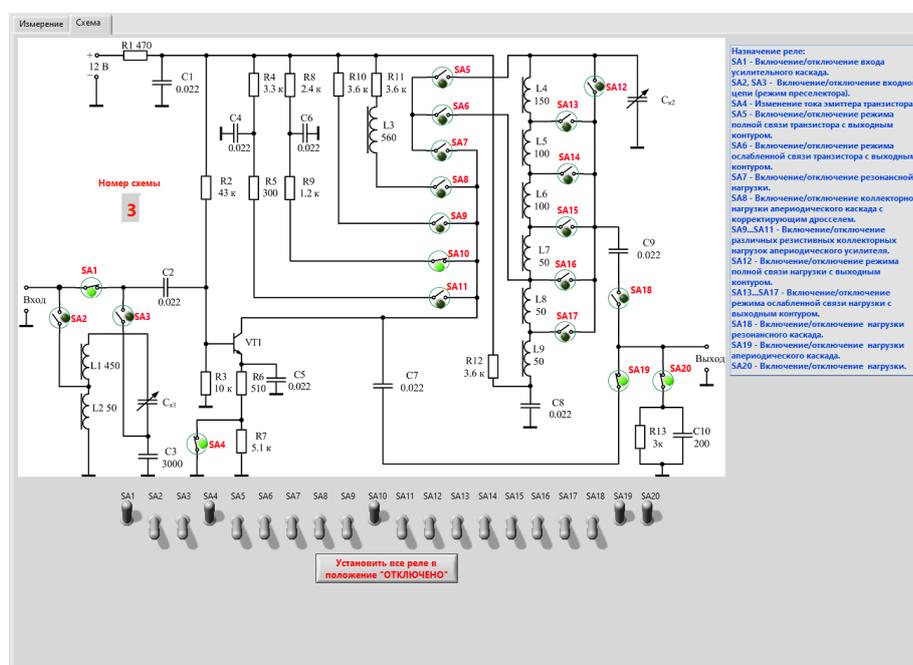


Рис. 3. Лицевая панель элементов коммутации и схемы виртуального модуля

Разработка блок-схемы виртуального лабораторного модуля

Разработка блок-схемы модуля основана на структурах “Formula Node” и “Case Structure” палитры Structure. В структуре “Formula Node” размещается вся подготовительная математика и описание моделей пассивных и активных компонентов цепи.

Входными переменными для “Formula Node” являются:

- текущие значения ёмкостей переменных конденсаторов (варикапов) входного и выходного контуров (C_{k1} , C_{k2});
- параметры нагрузки R_n , C_n ;
- состояния реле SA1-SA20 (вкл. – 1, выкл. - 0);
- выходное напряжение и частота несущего колебания ГВЧ (U , f).

Выходными переменными (результатами расчёта) для “Formula Node” являются:

- рассчитанные действительная и мнимая части Y-параметров транзистора $Y_{11}=\text{Re}Y_{11}+\text{Im}Y_{11}$, $Y_{12}=\text{Re}Y_{12}+\text{Im}Y_{12}$, $Y_{21}=\text{Re}Y_{21}+\text{Im}Y_{21}$, $Y_{22}=\text{Re}Y_{22}+\text{Im}Y_{22}$;
- действительная и мнимая части импеданса антенны $Z_a=\text{Re}Z_a+\text{Im}Z_a$;

- состояния реле SA5-SA7, SA12-SA17, SA19 (вкл. – 1, выкл. - 0);
- выходное напряжение генератора сигналов (U);
- действительная и мнимая части импедансов переменных конденсаторов ВЦ и выходного контура $Z_{Ck1} = \text{Re}Z_{Ck1} + \text{Im}Z_{Ck1}$ и $Z_{Ck2} = \text{Re}Z_{Ck2} + \text{Im}Z_{Ck2}$;
- действительная и мнимая части импеданса конденсатора связи ВЦ $Z_{Csv} = \text{Re}Z_{Csv} + \text{Im}Z_{Csv}$;
- действительная и мнимая части импедансов катушек индуктивности ВЦ $Z_{K1L1} = \text{Re}Z_{K1L1} + \text{Im}Z_{K1L1}$ и $Z_{K1L2} = \text{Re}Z_{K1L2} + \text{Im}Z_{K1L2}$;
- действительная и мнимая части импедансов катушек индуктивности выходного контура $Z_{K2L1} = \text{Re}Z_{K2L1} + \text{Im}Z_{K2L1}$, $Z_{K2L2} = \text{Re}Z_{K2L2} + \text{Im}Z_{K2L2}$, $Z_{K2L3} = \text{Re}Z_{K2L3} + \text{Im}Z_{K2L3}$;
- действительная и мнимая части адмиттанса нагрузки $Y_n = \text{Re}Y_n + \text{Im}Y_n$;
- действительная и мнимая части импеданса коллекторной нагрузки аperiodического каскада $Z_k = \text{Re}Z_k + \text{Im}Z_k$;
- номер исследуемой схемы Schema.

В зависимости от состояний реле структура выбора “Case Structure” содержит четыре поддиаграммы с графическими описаниями расчётов четырёх основных схем УРС [3]:

- схема 1: резонансный УРС без ВЦ SA1=1, SA7=1, SA18=1 (рисунок 4);
- схема 2: резонансный УРС с ВЦ SA2=1, SA3=1, SA7=1, SA18=1 (рисунок 5);

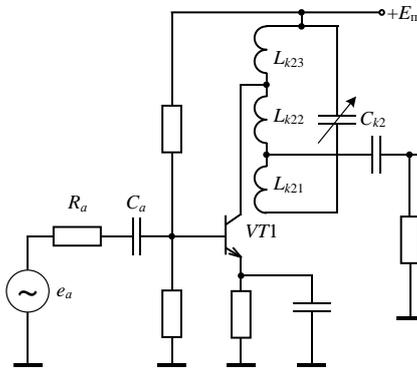


Рис. 4. Резонансный УРС (схема 1)

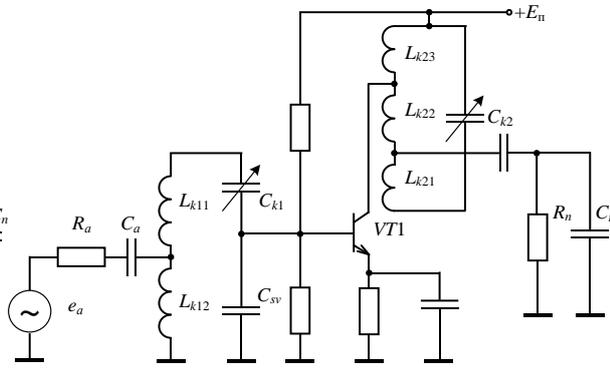


Рис. 5. Резонансный УРС с ВЦ (схема 2)

- схема 3: резистивный (аperiodический) УРС с без ВЦ SA1=1, SA19=1 (рисунок 6);
- схема 4: резистивный УРС с ВЦ SA2=1, SA3=1, SA19=1 (рисунок 7).

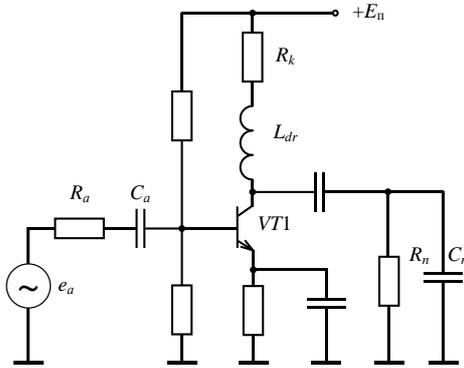


Рис. 6. Резистивный УРС (схема 3)

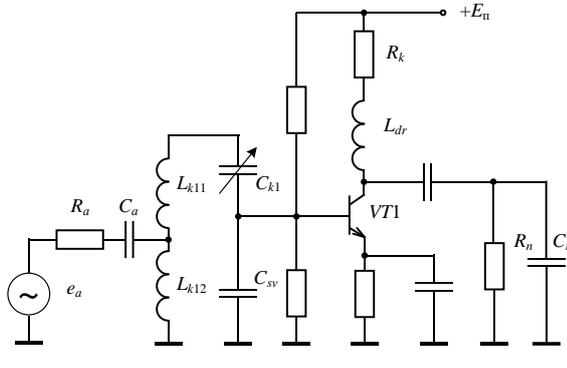


Рис. 7. Резистивный УРС с ВЦ (схема 4)

Каждая поддиаграмма в свою очередь в зависимости от состояний реле SA5-SA7, SA12-SA17, SA19 содержит свои варианты блок-схем (подсхем УРС) для расчётов, связанных с изменением коэффициентов связи выходного контура с нагрузкой и коллекторной цепью транзистора. Все расчёты выполняются с помощью функций палитры Complex. LabVIEW автоматически подстраивает все математические операции и константы на комплексные вычисления.

Разработка математических моделей подсхем УРС

Модели всех подсхем УРС основаны на расчёте значений коэффициентов передачи отдельных ветвей сигнальных графов и коэффициентов передачи всего графа (подсхемы) в целом. Расчёт индивидуален для каждой подсхемы и зависит от режима работы выходной ЦС, определяемого

состояниями реле SA5...SA7 и SA12...SA17. Расчёт коэффициентов передачи производится по формуле Мезона в соответствии с сигнальными графами. и обозначениями переменных: $Y_a=1/R_a+j\omega C_a$; $Y_n=1/R_n+j\omega C_n$; $Y_{CK1}=j\omega C_{K1}$; $Y_{CK2}=j\omega C_{K2}$; $Z_{CK1}=1/Y_{CK1}$; $Z_{CK2}=1/Y_{CK2}$; $Y_{sv}=j\omega C_{sv}$; $Y_{k1L1}=1/R_p-j1/\omega L_{k11}$; $Z_{k1L1}=1/Y_{k1L1}$; $Y_{k1L2}=1/R_p-j1/\omega L_{k12}$; $Y_{k2L1}=1/R_p-j1/\omega L_{k21}$; $Z_{k2L1}=1/Y_{k2L1}$; $Y_{k2L2}=1/R_p-j1/\omega L_{k22}$; $Y_{k2L3}=1/R_p-j1/\omega L_{k23}$; R_p – сопротивление потерь в катушках индуктивности. На рисунке 8 представлена эквивалентная схема резонансного УРС с ВЦ.

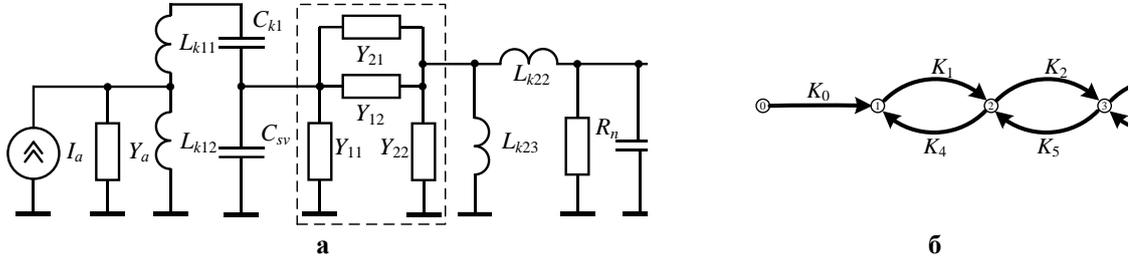


Рис. 8. Схема 2 (а) и сигнальный граф (б)

Блок-схема расчёта передаточной функции в соответствии с рисунком 8, б представлена на рисунке 9.

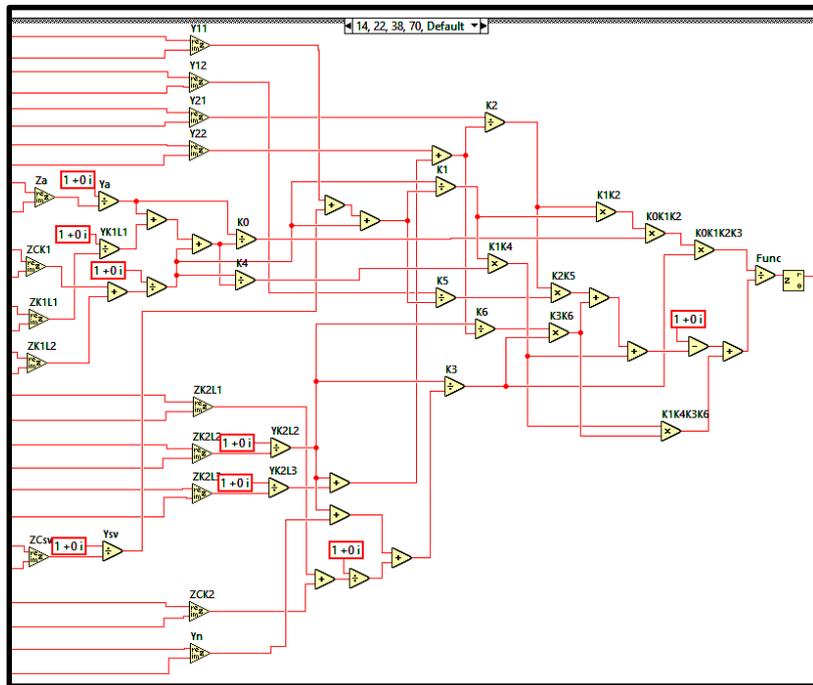


Рис. 9. Блок-схема расчёта передаточной функции схемы 2 в LabVIEW

Заключение

Разработанный виртуальный стенд позволяет выполнять исследования УРС в программной среде языка графического программирования высокого уровня LabVIEW, обеспечивая возможность студентам предварительно подготовиться к физическому эксперименту вне предназначенной для этого лаборатории. Результаты виртуального исследования хорошо согласуются с физическим экспериментом на реальном рабочем месте.

Список использованных источников

1. Евдокимов, Ю.К. LabVIEW для радионинженера: от виртуальной модели до реального прибора / Ю. Евдокимов, В.Р. Линдваль, Г.И. Щербаков. - Москва : ДМК Пресс, 2009. - 400 с.
2. Здоровцев, С.В. Функциональные блоки радиоприёмных устройств. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / С. В. Здоровцев, А. Е. Курочкин. – Минск : БГУИР, 2017. –162 с.
3. Курочкин, А. Е. Конспект лекций. Радиоприёмные устройства. HTML5 версия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/49483>.