



УДК 519.876.5

Панков Евгений Андреевич студент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Мартынов Никита Сергеевич студент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Гордяскина Татьяна Вячеславовна доценты кафедры радиоэлектроники ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Лебедева Светлана Владимировна – доценты кафедры радиоэлектроники ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА НЕЛИНЕЙНЫХ АНАЛОГОВЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MULTISIM

Ключевые слова: техническая диагностика, аналоговые нелинейные радиотехнические цепи, усилитель мощности, радиотехнический сигнал.

В работе рассматривается методика поиска неисправностей элементов нелинейных аналоговых радиотехнических цепей на примере усилителя напряжения на биполярном транзисторе в программном пакете Multisim.

Согласно ФГОС 3+ специальности «Техническая эксплуатация транспортного оборудования» студенты должны обладать определённым набором профессиональных компетенций, в которые входят:

- способность к организации и осуществлению радиотехнических измерений и метрологического обеспечения основных средств измерений в процессе эксплуатации транспортных средств;
- способность генерирования идей, решения задач по созданию теоретических моделей, позволяющих исследовать свойства объектов профессиональной деятельности;
- способность осуществлять передачу и получение информации с использованием подсистемы и оборудования ГМССБ (Глобальной Морской Системы Связи при Бедствии), а также выполнение функциональных требований ГМССБ.

Соответственно, выпускники университета должны уметь эксплуатировать оборудование ГМССБ, в том числе проводить его техническую диагностику, выявлять неполадки в его работе и по возможности устранять их, используя набор метрологического оборудования, такого как осциллографы, мультиметры, анализаторы спектра [1-4]. В состав большинства радиоэлектронных устройств тем или иным образом входят системы усиления напряжения, так как зачастую на вход устройства или одного из его блоков подаётся сигнал малой амплитуды, который необходимо усилить, чтобы в дальнейшем эффективно производить операции по его преобразованию и/или передаче. Таким образом, для дальнейшего изучения структуры и работы современных радиоэлектронных комплексов

необходимо знать и понимать основы и принципы работы нелинейных аналоговых систем усиления.

В качестве исследуемого усилителя напряжения и мощности рассматривается усилитель на биполярном транзисторе, собранный по схеме с общим эмиттером. Его структурная схема представлена на рисунке 1. Данная схема имеет следующие особенности: она предоставляет наибольшее из всех возможных схем усиление по мощности, а также инвертирует входной сигнал. Существует несколько режимов работы усилителей. При работе в режиме А, используемом в исследуемой системе (проиллюстрирован на рисунке 2), рабочая точка транзистора путём подбора параметров выбирается таким образом, чтобы она находилась в центре вольт-амперной характеристики (ВАХ) транзистора, на её квазилинейном участке. В таком случае можно считать, что данная система является линейной, т.е. в ней выполняется принцип суперпозиции: отклик системы будет располагаться на тех же частотах, что и входное воздействие. Судить об этом можно по осциллограмме выходного сигнала, – на ней не будут появляться искажения, – и по его спектру, – в нём будут содержаться только те гармонические составляющие, что были в спектре входного сигнала. Соответственно, исследование и диагностика системы будет проводиться с помощью осциллографа и анализатора спектра. [5]

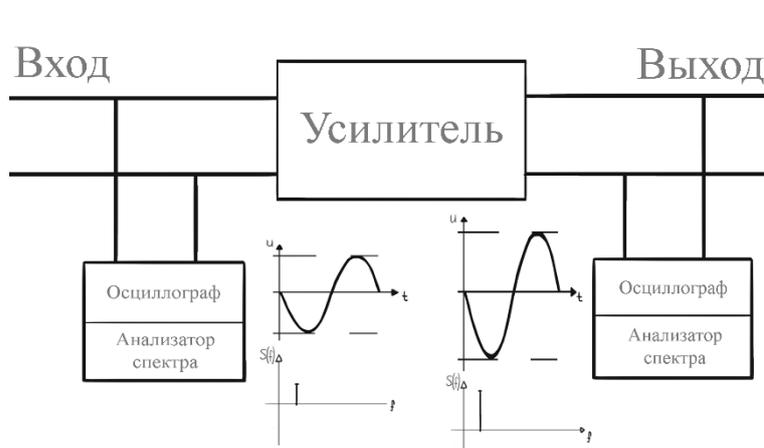


Рис. 1. Схема исследования усилителя.

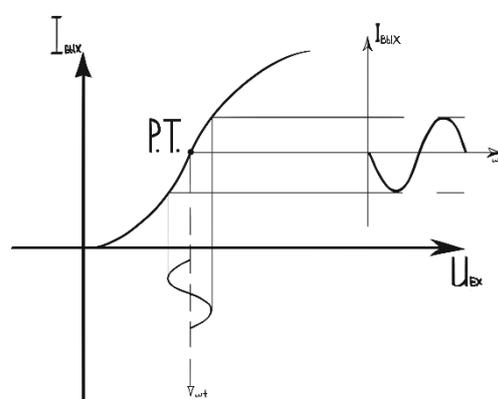


Рис. 2. ВАХ транзистора в режиме А.

В качестве примера рассмотрим работу реальной лабораторной установки, которая представляет собой двухкаскадный усилитель мощности. Установка, изображённая на рисунке 3, представляет собой стенд с собранной электрической схемой усилителя, который подключается к внешнему функциональному генератору, который, в свою очередь, соединён с компьютером и управляется через него.



Рис. 3. Схема реальной лабораторной установки.

Подадим на схему с помощью функционального генератора синусоидальный сигнал частотой 1 кГц и амплитудой 50 мВ. На рис. 4 представлены осциллограммы входного (СН1) и выходного (СН2) сигналов. Заметно, что амплитуда выходного сигнала почти в 30 раз больше входного – наблюдается эффект усиления сигнала. При анализе спектров сигналов (рис. 5) видно, что сохраняется исходное гармоническое колебание на частоте

1 кГц. Также наблюдается вторая гармоника малой амплитуды на частоте, кратной частоте входного сигнала. Несмотря на то, что номинально схема функционирует в режиме А, характеристика транзистора, подбор параметров и условия его работы всё равно не являются идеальными, поэтому в спектре присутствуют некоторые нелинейные искажения. Однако, их амплитуда крайне мала и поэтому не влияет на форму выходного сигнала.

При подаче синусоидального сигнала с амплитудой 200 мВ в осциллограмме выходного сигнала начинают наблюдаться искажения – вершины выходного сигнала становятся «плоскими». Значит, сигнал амплитудой в 0,2 В является большим для данного транзистора, и он выходит за пределы линейного участка его вольт-амперной характеристики, попадая в зоны нелинейности и «обрезаясь» (рис. 6). В спектре (рис 6.) становятся появляются гармоники, расположенные на частотах, кратных частоте следования (1 кГц), что дополнительно указывает на наличие искажений. [5]

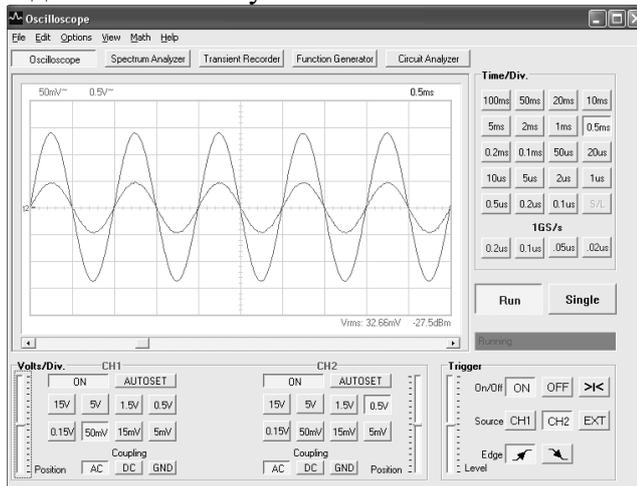


Рис. 4. Осциллограммы входного (CH1) и выходного (CH2) сигналов.

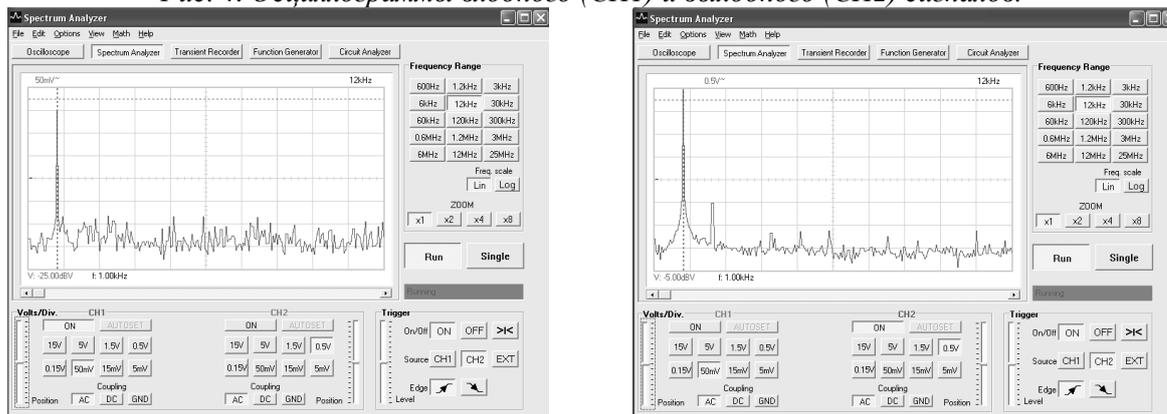


Рис. 5. Спектры входного и выходного сигналов при амплитуде $U_{вх}$ 50 мВ.

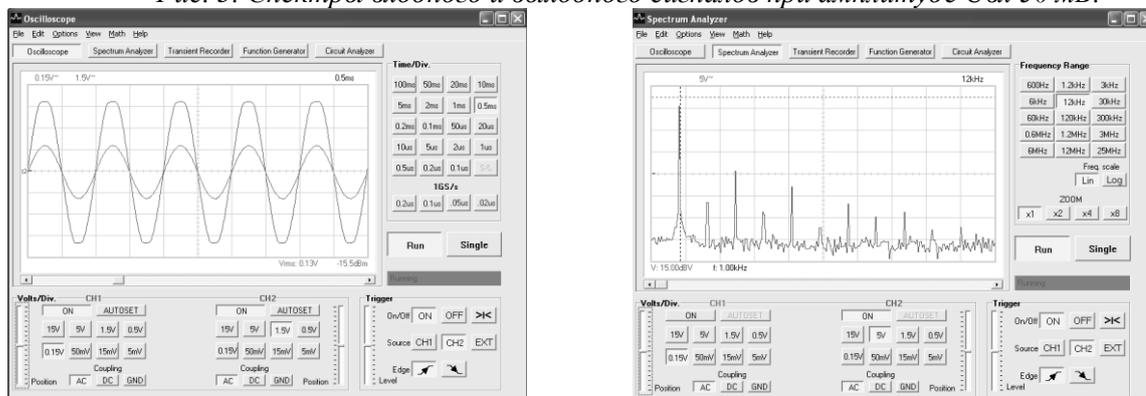


Рис. 6. Осциллограмма и спектр сигнала при амплитуде $U_{вх}$ 200 мВ.

Смоделируем работу схемы, используя программный пакет Multisim [6,7]. В качестве исследуемой схемы используем, как и было сказано выше, схему с общим эмиттером, рабочая точка которой выбрана в середине ВАХ транзистора. Поскольку в

данном пакете отсутствуют российские/советские элементы, воспользуемся зарубежным аналогом транзистора КТ315Ж – 2N3904. Схема исследования приведена на рисунке 7. Сопротивление R3 и конденсатор C2 отвечают за термостабилизацию. С помощью ключа J1 C2 может быть включён или выключен из схемы, что, предположительно, должно изменить её свойства. С помощью встроенных средств симуляции, а именно осциллографа и спектрального анализатора, получим осциллограмму и спектры входного и выходного сигнала данной системы с включённым и выключенным конденсатором.

Вначале рассмотрим линейный случай функционирования системы – малосигнальный режим. Исследуем осциллограмму и спектр $U_{вх}$ и $U_{вых}$, на частоте 1 кГц и включенном конденсаторе C2. Подадим на вход схемы сигнал $U_{вх} = 10\text{мВ}$. Выходной сигнал полностью повторяет форму входного сигнала, его амплитуда выше, т.е. сигнал усилен. В спектре, как и при натурном эксперименте, помимо основной, первой гармоники, присутствует вторая гармоника малой амплитуды, но её наличие не вносит искажений в форму выходного сигнала, следовательно, режим работы при данном сигнале можно считать квазилинейным. Результаты анализа представлены на рисунках 8, 9. [1, 2, 5]

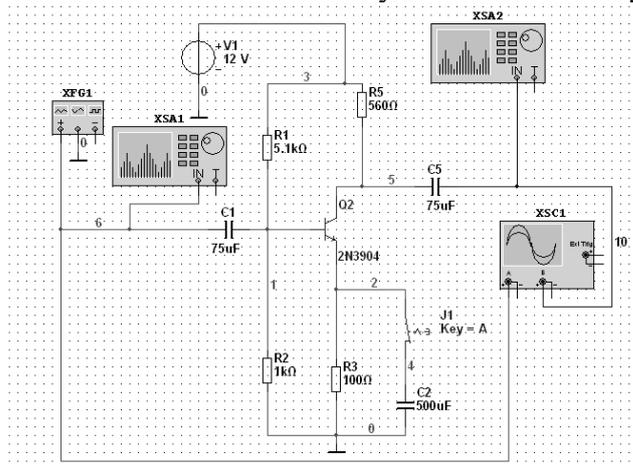


Рис. 7. Схема исследования.

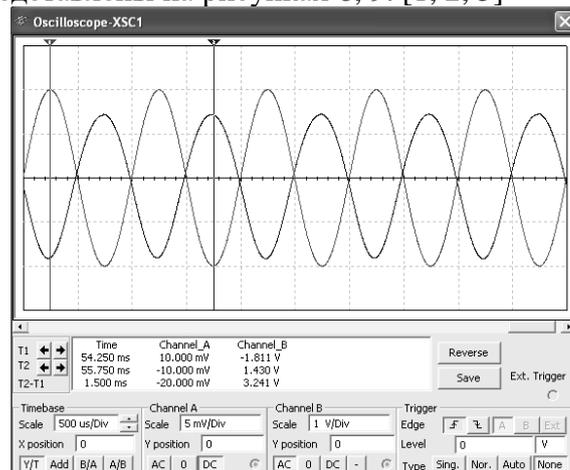


Рис. 8. Осциллограммы сигналов при сигнале 10 мВ.

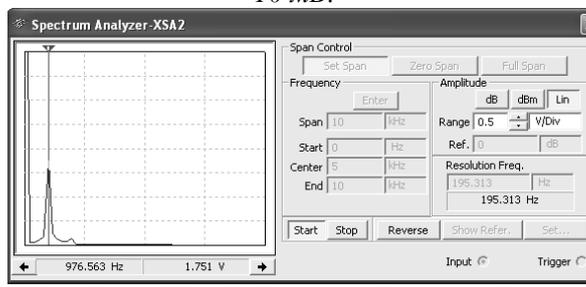
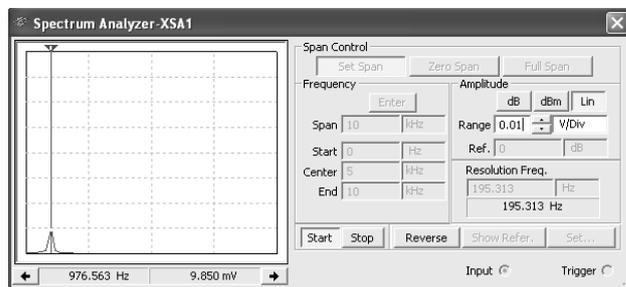


Рис. 9. Спектр входного и выходного сигналов.

Анализируя спектр выходного сигнала, можно определить коэффициент усиления. Он находится из отношения амплитуды выходного сигнала к входному. Соответственно, коэффициент усиления для данного случая равен $1.751\text{ В} / 0.00985\text{ В} = 177.77$. Также можно

найти коэффициент нелинейных искажений: $K_{НИ} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1}$. Для данного

случая коэффициент нелинейных искажений равен 0.073 или 7,3%.

При $U_{вх} = 30\text{мВ}$ на осциллограмме явно видны искажения в нижней полуволне выходного сигнала, а также появились дополнительные гармоники в выходном спектре. Следовательно, данный выходит за пределы квазилинейного участка вольт-амперной характеристики и искажается. Сами результаты анализа представлены на рис. 10. [5]

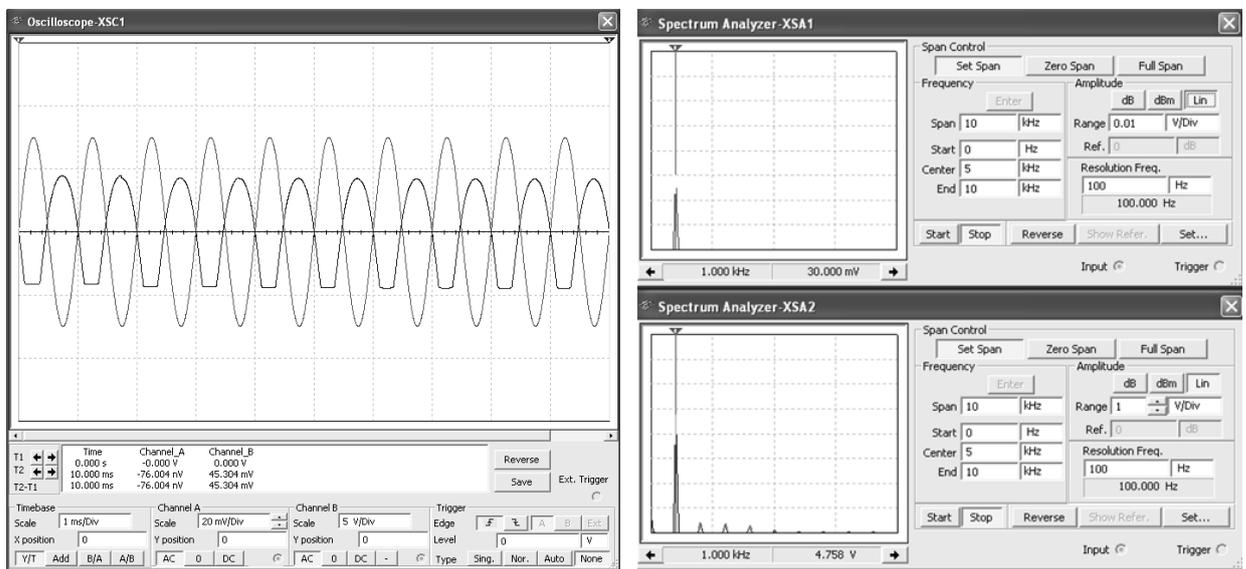


Рис. 10. Осциллограмма и спектры входного и выходного сигналов при включённом С2.

Дальнейшее усиление входного сигнала, при включённом конденсаторе С2, приведет к тому, что все больше будет искажаться осциллограмма выходного сигнала, а в спектре выходного сигнала будут появляться новые гармоники – спектр будет «окрашиваться». При выключенном С2 искажения появляются при $U_{вх} = 700$ мВ, однако на спектре выходного сигнала дополнительных гармоник не наблюдается. Дальнейшее увеличение $U_{вх}$ только сильнее искажает осциллограмму выходного сигнала, а на его спектре появились дополнительные гармоники, расположенные на кратных частотах. Результаты представлены на рис. 11. На основе двух опытов можно сделать вывод, что наличие в цепи эмиттера С2 увеличивает коэффициент усиления схемы: без данного конденсатора коэффициент усиления равен 5.39, тогда как с включённым С2 он равен 177.77.

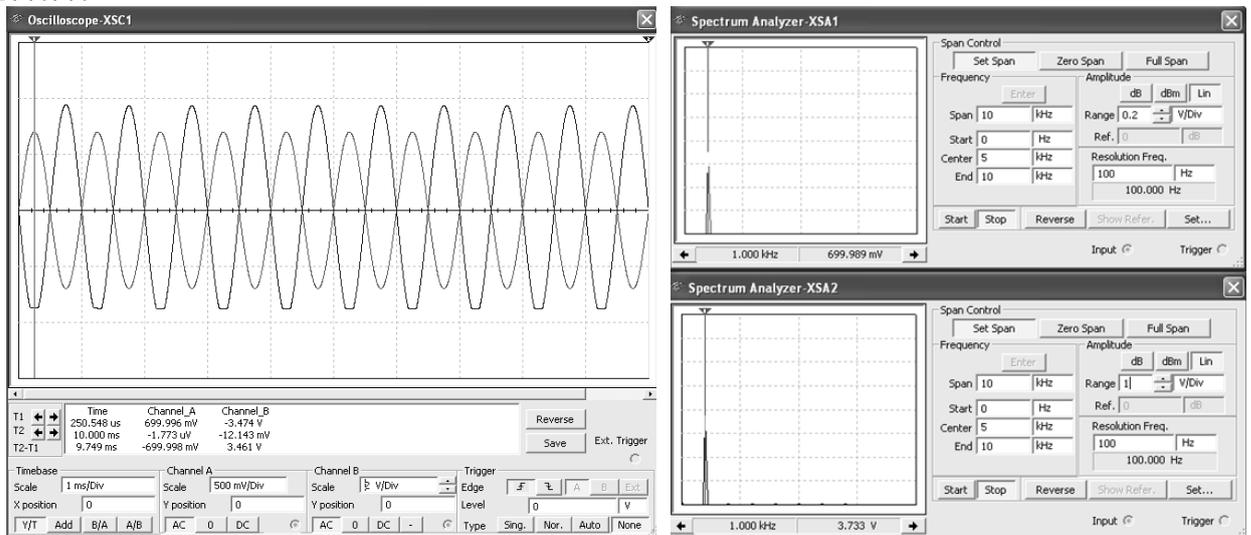


Рис. 11. Осциллограмма и спектры входного и выходного сигналов при выключенном С2.

На рис. 12 приведена АЧХ и ФЧХ системы, на которой можно увидеть соответствие полученных значений с осциллографов и анализаторов спектра амплитудно-частотной характеристике.

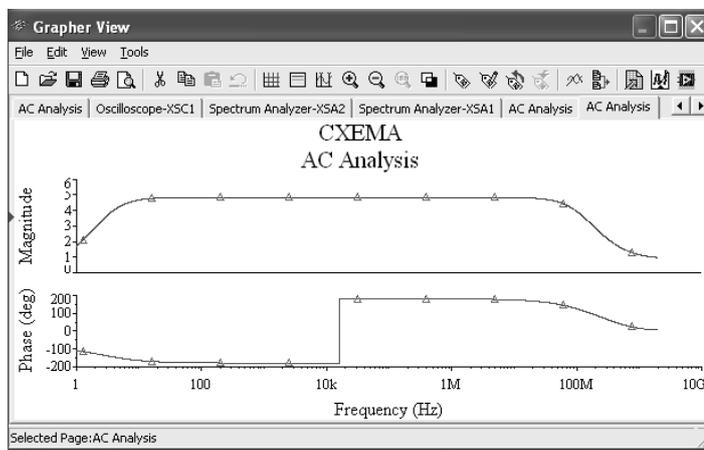


Рис. 12. АЧХ и ФЧХ схемы.

Поскольку темой данной работы является техническая диагностика нелинейных цепей, необходимо, используя схему усилителя в рабочем линейном режиме, исследовать влияние неисправностей различных элементов (утечки, обрывы, короткие замыкания) на работу схемы. В качестве рабочего режима используем приведённую выше схему с поданным на вход сигналом в 10 мВ и схемой термостабилизации с включённым конденсатором С2.

При коротком замыкании конденсатора С2 можно представить, что эмиттер транзистора напрямую соединён с «землёй». Таким образом, получается, что вместо С2 в схеме термостабилизации мы имеем шунт, параллельный R3, ток идёт в обход резистора. Осциллограмма сигнала в отсутствие конденсатора приведена на рисунке 13.

При утечке С2 можно представить, что к конденсатору параллельно подключен резистор сопротивлением 100 Ом (номинал задаётся величиной утечки). В таком случае ток, протекающий по цепи, будет вызывать тепловые потери на этом дополнительном сопротивлении. У реальных элементов всегда присутствует величина активного сопротивления, так что введение данной неисправности может симулировать работу реальной цепи с более приближенными к реальности, а не идеальными, элементами. Чем старше элемент, тем больше будет величина утечки. Вследствие данных потерь система термостабилизации будет работать неидеально. Осциллограмма системы с данной неисправностью представлена на рисунке 14.

Как и при коротком замыкании в С2, короткое замыкание в термостабилизационном резисторе R3 приводит к введению шунта, т.е. эмиттер накоротко соединён с землёй. Осциллограмма выходного сигнала будет аналогична первому случаю (рис. 13), т.е. наблюдается искажение и очень малое усиление сигнала. При обрыве резистора смещения R1 на выходе наблюдается только напряжение питания, что видно из осциллограммы, приведённой на рисунке 15. При этом выходной сигнал следует снимать в режиме DC, поскольку режим AC некорректно отображает данный процесс. [2]

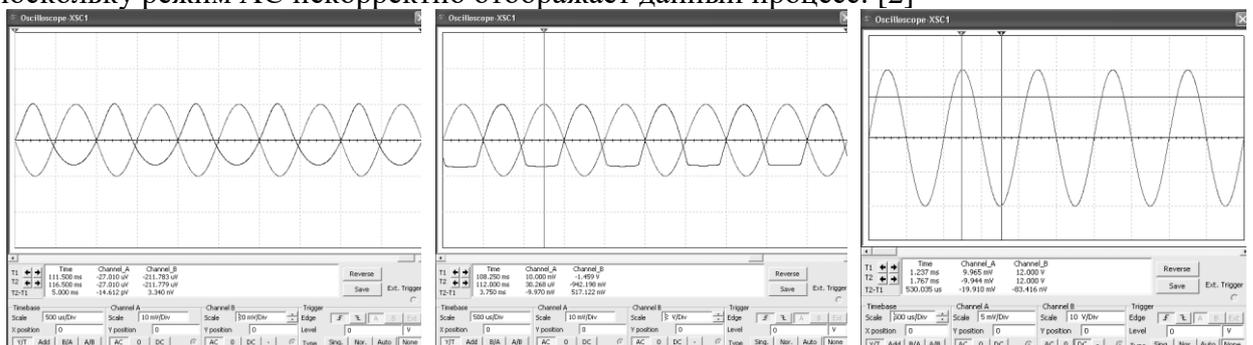


Рис. 13, 14, 15. Осциллограммы входного и выходного сигналов при различных неисправностях.

В соответствии с проведенными исследованиями, студентам специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» предлагается выполнить лабораторную работу по технической диагностике на примере нелинейной схемы –

усилителя напряжения и мощности на основе биполярного транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером. Предлагается следующая методика:

- изучение основ функционирования схем: транзистора (как нелинейного элемента), его характеристик и зависимостей, а также принципов работы усилителя и его схемных решений.
- компьютерное моделирование работы усилителя на основе биполярного транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером. В ходе моделирования студенты должны собрать схему усилителя в программном пакете Multisim и протестировать её в различных режимах работы, определив необходимые параметры входного сигнала и номиналы элементов и установив линейный режим работы цепи.
- используя полученную во второй части схему усилителя, которая работает в линейном режиме без искажений, провести исследование влияния дефектов различных элементов на работу цепи и выходной сигнал.

Список литературы:

[1] Гордяскина Т.В. Надёжность и техническая диагностика радиоэлектронных систем: учеб.-метод. пособие для студ., обуч.-ся по направл. подгот. 250503-65 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования». – Н. Новгород: Издательство ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2013. – 40 с.

[2] MSM9-E-1790 Rev. 1 (C) 2005 Electronics Workbench Corporation. All rights reserved. Published November 2005. Printed in Canada.

[3] Гордяскина Т.В., Лебедева С.В., Рубцов А.В. Применение проблемно-ориентированного программного пакета Multisim в технической диагностике частотно-избирательных радиотехнических цепей. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 43. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2015. С.43-48.

[4] Гордяскина Т.В., Лебедева С.В., Рубцов А.В. Об элементах методики подготовки специалистов для эффективного технического обслуживания и эксплуатации радиотехнических систем. 23-я Международная научно-техническая конференция «Современная радиоэлектроника». Москва, ООО «СКБ Электрон» 17-18 марта 2015 г.

[5] Гордяскина Т.В., Рубцов А.В. Техническая диагностика линейных аналоговых радиотехнических систем в программном пакете Multisim 10.0.1. Труды 17-го международного научно-промышленного форума "Великие реки-2015" [Электронный ресурс]. Электрон. дан. - Интернет журнал широкой научной тематики. Выпуск 4, 2015 г. Режим доступа: - <http://вф-река-море.рф/2015/PDF/31.pdf>.

[6] Лебедева С.В. Особенности использования пакетов прикладных программ при обучении на специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования». Труды 15-го международного научно-промышленного форума «Великие реки - 2013». Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов «Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек». С. 108-111.

[7] Лебедева С.В., Мерзляков В.И. Об особенностях использования программных пакетов в технических дисциплинах. Труды 18 Международного научно-промышленного форума "Великие реки- 2016". Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек. [Электронный ресурс] - Электрон. дан. - Интернет журнал широкой научной тематики. Выпуск 5, 2016 г. Режим доступа: - <http://вф-река-море.рф/2016/PDF/31>.

TECHICAL DIAGNOSTIC OF NONLINEAR ANALOG RADIO CIRCUITS IN THE SOFTWARE PACKAGE MULTISIM

Evgenii A. Pankov, Nikita S. Martynov, Tatyana V. Gordyaskina, Svetlana V. Lebedeva.

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

Key words: technical diagnostic, analog nonlinear radio circuits, voltage amplifier, radio signal.

The article is devoted to development of a method of technical diagnostic and elements troubleshooting of nonlinear analog radio circuits on the example of the voltage amplifier in the software package Multisim.