

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра технической эксплуатации
радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта

С.Б. Стукалов

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ

*для студентов III курса
специальности 25.05.03
всех форм обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2018

УДК 621.396.6(07)
ББК 0561.5
С88

Рецензент:

Болелов Э.А. – канд. техн. наук, доц., зав. каф. ТЭРЭО ВТ

Стукалов С.Б.

С88

Электромагнитная совместимость радиоэлектронных систем [Текст] : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ / С.Б. Стукалов. – М. : ИД Академии Жуковского, 2018. – 40 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Электромагнитная совместимость радиоэлектронных систем» по учебному плану для студентов III курса направления 25.05.03 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры 01.02.2018 г. и методического совета 01.02.2018 г.

УДК 621.396.6(07)
ББК 0561.5

В авторской редакции

Подписано в печать 26.04.2018 г.
Формат 60x84/16 Печ. л. 2,5 Усл. печ. л. 2,325
Заказ № 281/0403-УМП07 Тираж 40 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А
Тел.: (495) 973-45-68
E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2018

ЗАДАНИЯ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Организационно-методические указания

Задания предназначены для подготовки и выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электромагнитная совместимость РЭС» и содержат контрольные вопросы для проверки и самопроверки.

Ознакомление с заданием на лабораторную работу и методикой ее выполнения, подготовка отчетов, вычерчивание схем, таблиц, графиков, аналитические расчеты осуществляются в часы самостоятельной работы. Накануне занятий обучающиеся в составе учебной группы прибывают в лабораторию, изучают меры безопасности при выполнении работы, порядок выполнения работы, знакомятся с рабочим местом ПЭВМ, лабораторной станцией *NI ELVIS* модулями расширения *Emona DATEx*, измерительными приборами (рис.1).

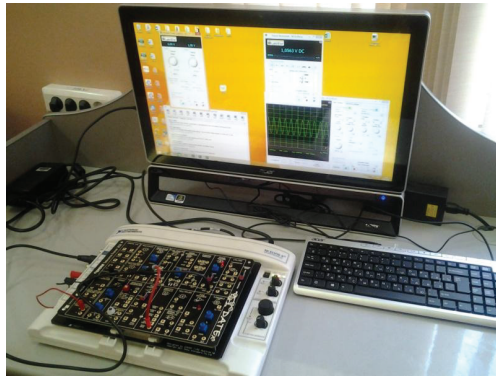


Рис.1. Лабораторная станция *NI ELVIS*

Подготовка лабораторной базы проводится заведующим (инженером) лаборатории под руководством преподавателя.

Меры безопасности

К выполнению работ допускаются лица, изучившие необходимый теоретический материал, знакомые с содержанием и методикой выполнения лабораторной работы и прошедшие инструктаж по мерам безопасности и особенностям выполнения работы под роспись.

В ходе работы необходимо соблюдать следующие правила:

1. Изучать состав и размещение элементов лабораторной установки при выключенном питании.

2. Включать питание аппаратуры только с разрешения преподавателя или сотрудника лаборатории.

3. Строго соблюдать порядок подготовки к включению, включения и выключения ПЭВМ, лабораторной станции *NI ELVIS*, лабораторных установок и контрольно-измерительной аппаратуры.

4. После включения питания выполнять общие правила по мерам безопасности при работе с аппаратурой, в которой имеются источники электрического напряжения более 30 В.

5. Не оставлять аппаратуру включенной без наблюдения.

6. При внезапном выключении электропитания немедленно выключить ПЭВМ, лабораторные установки и контрольно-измерительную аппаратуру.

Категорически запрещается:

1. Касаться руками оголенных проводов и частей приборов после подачи напряжения на рабочем месте.

2. Производить изменения в схеме при подключенных источниках питания.

3. Выполнять работы, не предусмотренные заданием.

При выполнении работы с ПЭВМ:

Обучающиеся под руководством преподавателя в лаборатории выполняют следующие мероприятия:

1. Изучают особенности рабочего места с ПЭВМ, программами схемотехнического моделирования:

2. Представляют для проверки преподавателю подготовленный в часы самоподготовки отчет о лабораторной работе.

3. Подтверждают готовность к занятию. Проверка готовности проводится путем устного или письменного опроса по контрольным вопросам.

4. По команде преподавателя приступают к выполнению задания на лабораторную работу.

5. Выполняют работу строго по пунктам.

6. Обучающиеся, успешно выполнившие задания и оформившие отчет, прибывают к преподавателю для защиты отчета.

7. За 15 мин до окончания занятия измерения заканчиваются, заполняется документация.

8. За 5 мин до окончания занятия каждое рабочее место предъявляется для проверки его исправности и комплектности сотруднику лаборатории.

Лабораторная работа № 1. Исследование эффектов блокирования радиоэлектронных устройств

Цель работы: исследование эффекта блокирования радиоприемного устройства радиопомехой в задачах обеспечения электромагнитной совместимости РЭС.

Краткие сведения из теории

Под электромагнитной совместимостью радиоэлектронных средств понимают способность радиоэлектронных средств (РЭС) одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных радиопомех и не создавать радиопомех другим электронным средствам. К радиопомехам (электромагнитным помехам) относятся любые электромагнитные возмущения в цепях РЭС и окружающем пространстве, вызывающие нежелательную реакцию оборудования, сказывающуюся в снижении эксплуатационно-технических характеристик систем и устройств. Свойство радиоприемника реагировать на электромагнитные помехи, воздействующие через антенну или помимо ее, в том числе через корпус, экран, по цепям питания (рис.1), характеризуются восприимчивостью.



соединение с корпусом
цепи питания ВЧ кабель антенны

Рис.1. Приемник автоматического радиоконпаса на борту ВС

Реакция приемника на воздействие помех может проявиться в возникновении *эффекта блокирования*.

Блокирование в приемниках радиоэлектронных устройств - это изменение уровня сигнала или отношения сигнал/шум на выходе при действии немодулированной радиопомехи, частота которой не совпадает с частотами ос-

новного и побочных каналов приема. При этом уменьшается усиление приемника. Блокирование обусловлено нелинейными свойствами электрических цепей передачи полезного сигнала и воздействующей помехи: смесителей, усилителей. Это проявляется в каскадах, имеющих участки насыщения амплитудных характеристик (рис.2).

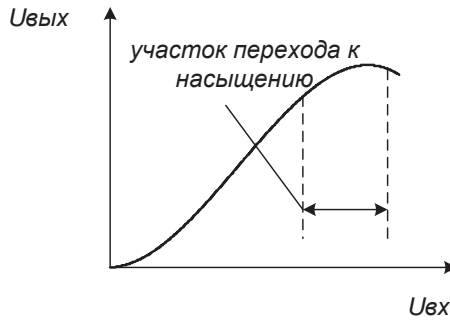


Рис.2. Типовая амплитудная характеристика

Математические зависимости амплитудных характеристик имеют составляющие с кубическими полиномами:

$$U_{\text{ВЫХ}} \approx a_1 U_{\text{ВХ}} + a_2 U_{\text{ВХ}}^2 + a_3 U_{\text{ВХ}}^3 + \dots,$$

где $a_3 < 0$.

За счет нелинейных преобразований в смешанном электромагнитном процессе появляются составляющие, имеющие функциональную зависимость от уровня помехи с отрицательным значением (из-за $a_3 < 0$). Это приводит к тому, что при увеличении уровня помехи результирующий информационный процесс будет подавляться.

Эффект блокирования проявляется тем сильнее, чем больше уровень помехи и чем ближе ее частота к основному каналу приемника. Количественной характеристикой блокирования служит коэффициент блокирования, численно равный отношению изменения амплитуды сигнала на выходе приемника под действием помехи к амплитуде сигнала при отсутствии помехи:

$$K_{\text{бл}} = \frac{|U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ВЫХ.бл.}}|}{U_{\text{ВЫХ}}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{вых}}$ - амплитуда сигнала на выходе приемника при отсутствии и $U_{\text{вых.бл}}$ - амплитуда сигнала на выходе приемника при наличии помехи.

При отсутствии блокирования $K_{\text{бл}} = 0$, при полном блокировании $K_{\text{бл}} = 1$. Значение коэффициента блокирования, соответствующие допустимому изменению уровня сигнала на выходе приемника, лежат в пределах 0.3..0.5. Свойство приёмника принимать полезный сигнал в присутствии сильной помехи до порога блокирования характеризуется динамическим диапазоном по блокированию в дБ:

$$D_{\text{бл}} = 20 \lg \frac{U_{(U_{\text{П доп}})_{\text{бл}}}}{U_{\text{с.мин}}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{с.мин}}$ - минимальное напряжение полезного сигнала, соответствующее чувствительности приёмника, $(U_{\text{П доп}})_{\text{бл}}$ - «порог блокирования» - максимально допустимое напряжение помехи, вызывающее блокирование.

На некоторые типы приемников государственными стандартами установлен динамический диапазон по блокированию 60...80 дБ. Сильная помеха приводит к ухудшению избирательных свойств приемника - расширению полосы пропускания и ухудшению коэффициента прямоугольности частотной характеристики.

Программа работы

Исследование эффекта блокирования

В данном задании исследуется процесс проявления эффекта блокирования в радиоприемном устройстве, возникающем при действии радиопомехи, частота которой не совпадает с частотой приема.

Для выполнения исследований необходимо собрать схему установки, согласно рис.3.

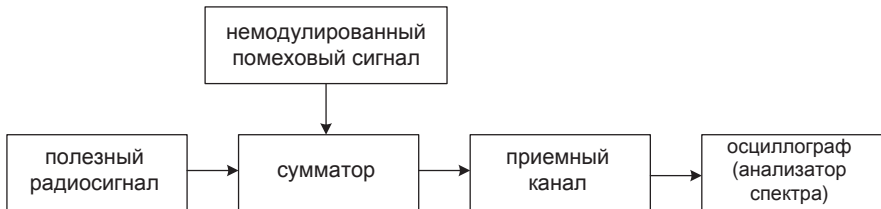


Рис.3. Структурная схема установки

Сборка схемы выполняется при помощи функциональных блоков на панели тренажера DATEx лабораторной станции NI ELVIS (рис.4).

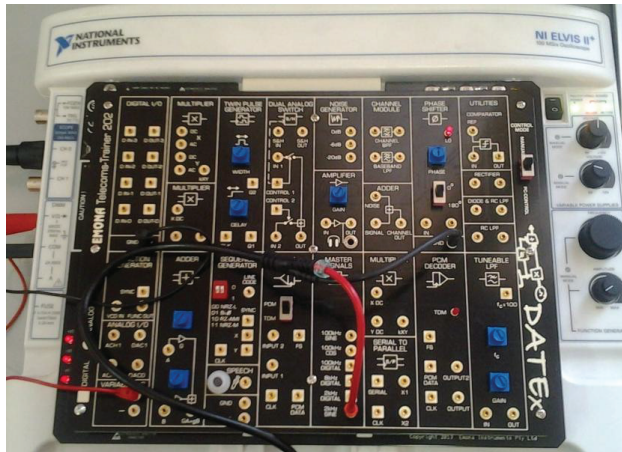


Рис.4. Функциональные блоки на панели тренажера DATEx

Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.

Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней стенке устройства, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней стенке устройства.

Включите компьютер и дайте ему загрузиться.

Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода DAQ и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль NI DAQ.

Запустите программу NI ELVIS.

Запустите программу управления DATEx (DATEx soft front-panel - SFP).

Установите виртуальный элемент управления Voltage (Напряжение) регулируемого источника отрицательного напряжения питания в среднее положение.

С помощью элемента управления g модуля Adder (Сумматор) установите напряжение на выходе сумматора равным 1V постоянного тока (DC) (рис.5).

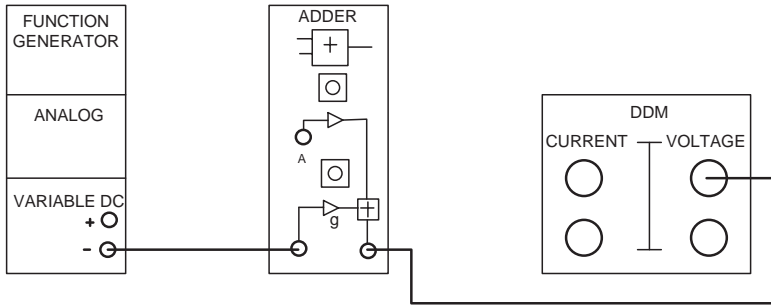


Рис.5.

Соберите схему устройства, формирующего полезный АМ радиосигнал на рис. 6.

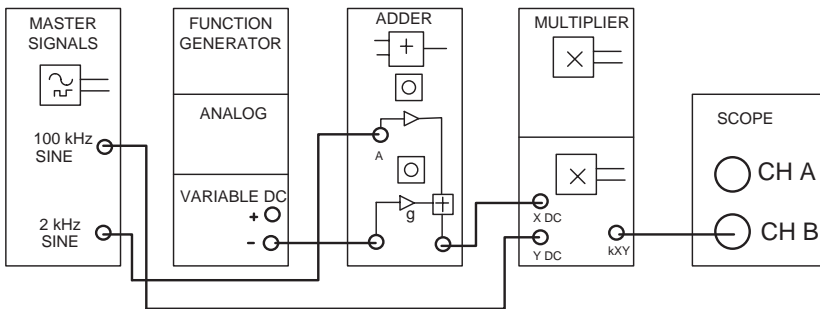


Рис.6.

Эта схема генерирует несущую, которая модулируется по амплитуде сигналом сообщения в виде синусоиды 2 кГц.

Запустите программу (VI) *Oscilloscope NI ELVIS* (Осциллограф).

Отрегулируйте виртуальный элемент управления g модуля Adder (Сумматор) так, чтобы получить синусоиду с пиковой амплитудой 1 В. Зарисуйте сформированный АМ радиосигнал.

Измените схему, как показано на рис. 7.

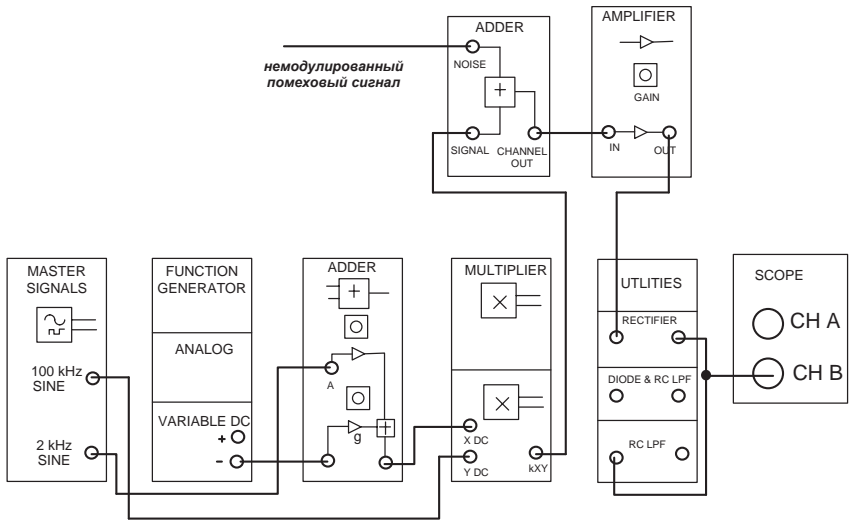


Рис.7.

Зарисуйте принимаемый АМ радиосигнал с выхода усилителя (рис.8а). На второй вход добавленного сумматора (ADDER) подайте *помеховый сигнал* с блока FUNCTION GENERATOR. Частота помехи должна отличаться от частоты сигнала, но находится внутри полосы пропускания приемника.

Увеличивая входное напряжение помехи, следите за изменением суммарного (сигнал + помеха) напряжения на выходе усилителя (AMPLIFIER) и фильтра RC LPF радиоприемного устройства и проявлением эффекта блокирования.

При незначительных напряжениях $U_{П.вх}$ выходной низкочастотный сигнал $U_{вых.бл}$ изменяется слабо и не имеет искажений (рис.8б). При дальнейшем увеличении $U_{П.вх}$, радиосигнал с выхода усилителя искажается (рис.8в), а сигнал с выхода детектора начинает уменьшаться по амплитуде (рис.8г). В этом проявляется эффект блокирования. Зарисуйте эюры формируемых сигналов. Эти эюры дают представление о характере сигналов проходящих через тракт радиоприемного устройства.

Оцените динамический диапазон по блокированию по формуле (2).

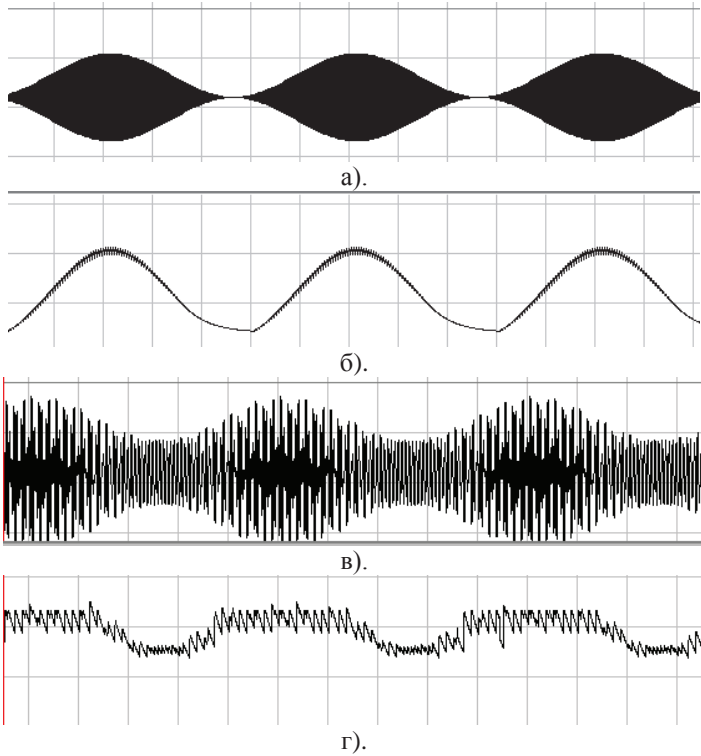


Рис.8

Рассчитайте коэффициент блокирования по формуле (1). Полученные значения $K_{\text{бл}}$ занесите в табл.1.

Таблица 1

№	$U_{\text{вых.бл}}$	$U_{\text{П вх}}$	$K_{\text{бл}}$	$U_{\text{вх.}} / U_{\text{П вх}}$
1				
2				
3				
4				
5				

Постройте графики амплитудной зависимости характеристики блокирования радиоприемного устройства в виде зависимость $U_{\text{вых.бл}} = f(U_{\text{П вх}})$, зависимость $K_{\text{бл}} = f(U_{\text{П вх}})$ (рис.9).

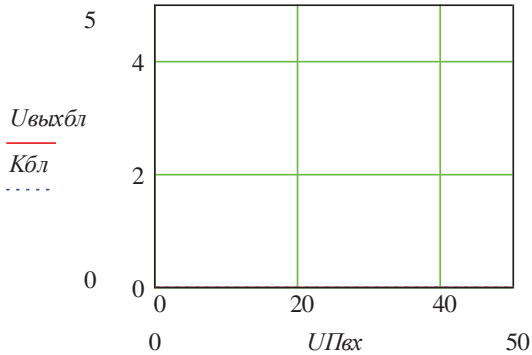


Рис.9. Характеристики блокирования

Оценка эффективности избирательности РПУ по блокированию. Оставляя частоту и амплитуду входного сигнала постоянной и равной, измените частоту помехи в пределах полосы пропускания радиоприемного устройства. Данные измерений запишите в табл. 2.

Таблица 2

№	$F_{П\ вх}$	$U_{вых.бл}$
1		
2		
3		
4		
5		

По данным табл.2. постройте графическую зависимость $U_{вых.бл} = f(F_{П\ вх})$ (рис. 9). По результатам лабораторной работы необходимо составить индивидуальный отчет, содержащий иллюстративный материал зависимостей:

$$U_{вых.бл} = f(U_{П\ вх}), K_{бл} = f(U_{П\ вх}), U_{вых.бл} = f(F_{П\ вх}).$$

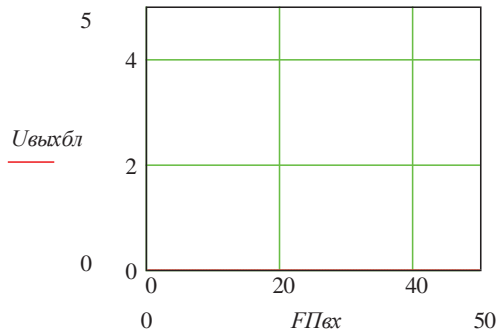


Рис.10. График зависимости амплитуды выходного сигнала от частоты помехи

Отчет должен содержать:

1. Функциональную схему установки для исследования эффекта блокирования радиоприемного устройства.
2. Результаты оценки динамического диапазона радиоприемного устройства по блокированию.
3. Расчет коэффициента блокирования.
4. Графики характеристик блокирования.
5. Графики зависимости амплитуды выходного сигнала от частоты помехи.
6. Заполненные таблицы результатов исследований.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение электромагнитной совместимости РЭС.
2. Что такое восприимчивость приемника?
3. Поясните эффект блокирования радиоприемного устройства помехой.
4. Как определяется коэффициент блокирования?
5. В каких пределах лежат коэффициенты блокирования, соответствующие допустимому изменению уровня сигнала на выходе приемника?

Литература

1. С.Б. Стукалов. Электромагнитная совместимость. Пособие по изучению дисциплины и контрольные задания М. МГТУ ГА. 2017. 32 с.
2. Ю.Е. Седельников. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Учебное пособие. Казань. Новое знание. 2006. 304 с.

Лабораторная работа № 2.

Исследование перекрестных искажений в радиоэлектронных устройствах

Цель работы: исследование эффектов перекрестных искажений вызванных модулированной радиопомехой в задачах обеспечения электромагнитной совместимости РЭС.

Краткие сведения из теории

Перекрёстные искажения полезного сигнала – это искажения спектра сигнала на выходе приёмника при действии на входе *модулированной* помехи, частота которой не совпадает с частотами основного и побочных каналов приёма. Перекрестные искажения проявляются в виде модуляции принятого сигнала частотами модуляции помехи $\Omega_{\text{п}}$. Явление перекрестных искажений имеет такую же природу, как и эффект блокирования, обусловленную нелинейными свойствами электрических цепей (рис.11).

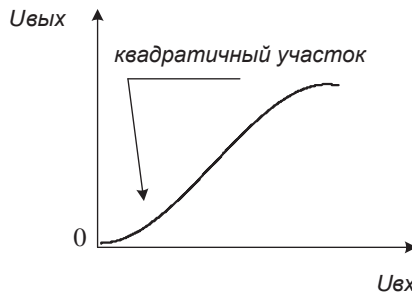


Рис.11. Амплитудная характеристика нелинейной электрической цепи

Квадратичные участки амплитудных характеристик являются причиной формирования комбинационных гармоник, возникающих при воздействии на нелинейные цепи суммы полезного сигнала u_c с несущей частотой ω_c , частотой модуляции Ω_c и помехового сигнала u_n с несущей частотой ω_c частотой модуляции $\Omega_{\text{п}}$:

$$u_{\text{вх}} = u_c + u_{\text{п}} = U_c(\Omega_c) \sin \omega_c t + U_{\text{п}}(\Omega_{\text{п}}) \sin \omega_{\text{п}} t.$$

Математические зависимости амплитудных характеристик имеют составляющие со степенными полиномами:

$$U_{\text{ВЫХ}} \approx a_1 U_{\text{ВХ}} + a_2 U_{\text{ВХ}}^2 + a_3 U_{\text{ВХ}}^3 + a_4 U_{\text{ВХ}}^4 \dots$$

Расчеты степенных полиномов подтверждают возникновение комбинационных гармоник с частотами:

$$|\omega_c \pm \omega_{\text{п}}|, |2\omega_c \pm 2\omega_{\text{п}}|, \text{ и т.п.}$$

Эти гармоники вызывают искажение спектра полезного принимаемого сигнала.

Перекрыстные искажения оцениваются коэффициентом перекрыстных искажений. Параметр определяется отношением уровня спектральных составляющих $U_{\text{вых.ПИ}}$, возникших в результате перекрестных искажений, к уровню сигнала $U_{\text{вых.С}}$ на выходе приёмника при заданных параметрах радиопомехи и сигнала

$$K_{\text{ПИ}} = \frac{U_{\text{вых.ПИ}}}{U_{\text{вых.С}}} \quad (3)$$

Уровень спектральных составляющих определяется:

$$U_{\text{вых.ПИ}} = \sqrt{U_{\text{П1}}^2 + \dots + U_{\text{ПN}}^2} \quad (4)$$

где $U_{\text{П1}}^2, \dots, U_{\text{ПN}}^2$ - уровни возникших помеховых гармоник (первой и др.).

Способность РПУ принимать сигнал в присутствии сильной помехи с допустимыми перекрестными искажениями определяется динамическим диапазоном по перекрестным искажениям:

$$D_{\text{ПИ}} = 20 \lg \frac{U_{\text{ПИ.доп}}}{U_{\text{с.мин}}} \quad (5)$$

где $U_{\text{с.мин}}$ - минимальное напряжение полезного сигнала, соответствующее чувствительности приёмника, ($U_{\text{ПИ доп.}}$) - «порог перекрестных искажений» - максимально допустимое напряжение помехи, вызывающее искажение.

Программа работы

Исследование перекрестных искажений

В данном задании исследуется процесс возникновения перекрестных искажений в радиоприемном устройстве, возникающем при действии радиопомехи, частота которой не совпадает с частотой приема.

Для выполнения исследований необходимо собрать схему установки, согласно рис.12.



Рис.12. Структурная схема установки

Схема установки собирается при помощи функциональных блоков на панели тренажера DATEx лабораторной станции NI ELVIS. Сборка выполняется в два этапа.

Первый этап – сборка приемного устройства АМ радиосигнала. Выполняется согласно задания на лабораторную работу №1. Отличием является подача на сумматор помехового АМ сигнала, частота которой не совпадает с частотами основного и побочных каналов приёма. Формирователь помехового АМ сигнала собирается на втором этапе программы работы.

Второй этап – сборка полной схемы установки и проведение измерений.

Схема формирователя помехового АМ сигнала приведена на рис.13. Значение несущей частоты устанавливается параметрами блока FUNCTION GENERATOR.

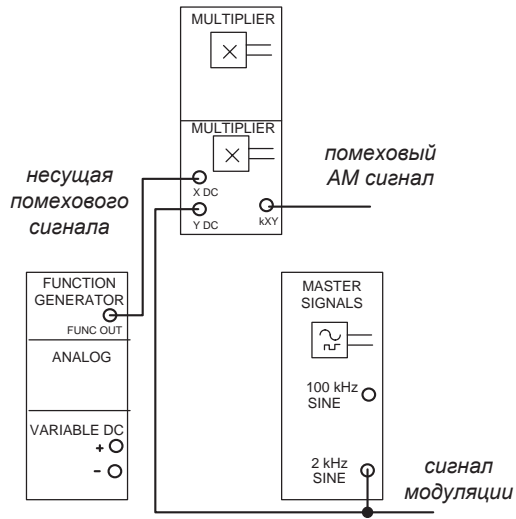


Рис.13.

Соберите полную схему установки, как показано на рис. 14.

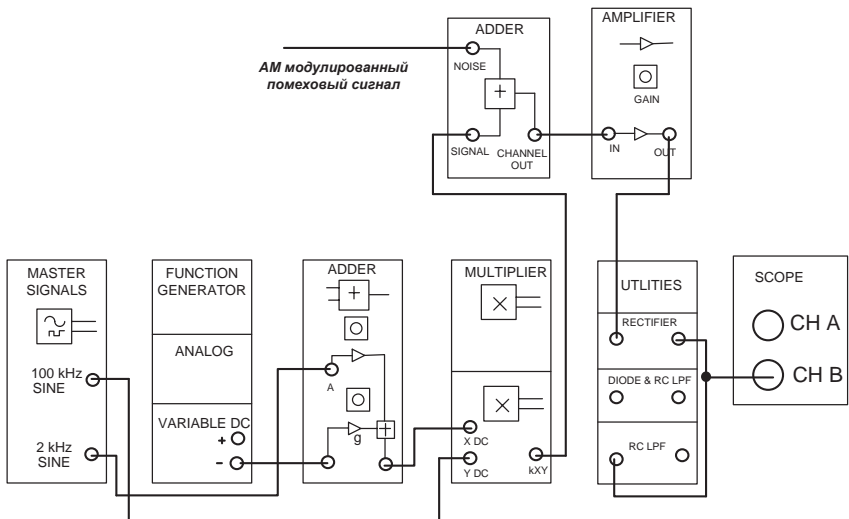


Рис.14.

На второй вход сумматора (ADDER) подайте *помеховый АМ сигнал*. Частота помехи должна отличаться от частоты сигнала, но находится внутри полосы пропускания приемника.

Увеличивая входное напряжение помехи, следите за искажением выходного сигнала радиоприемного устройства.

Запустите программу (VI) виртуального измерительного прибора Dynamic Signal Analyzer (Анализатор спектра) NI ELVIS.

Зарисуйте временные (рис. 15) и частотные диаграммы выходных сигналов (рис. 16).

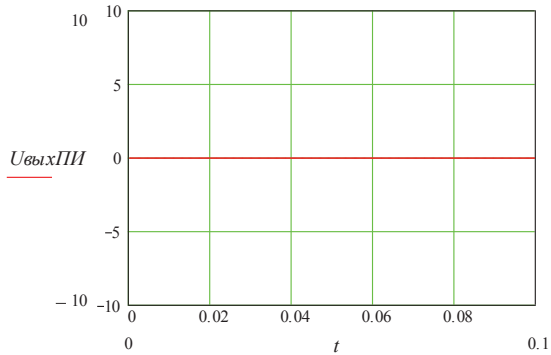


Рис.15. Временная диаграмма сигнала на выходе приемника

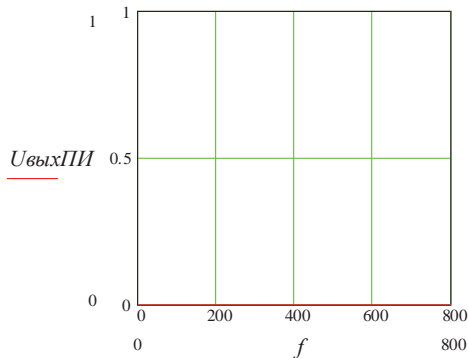


Рис.16. Частотная диаграмма сигнала на выходе приемника

Эти диаграммы дают представление о характере выходных сигналов радиоприемного устройства. При незначительных напряжениях $U_{П.вх}$ выходной

сигнал $U_{\text{вых.ПШ}}$ изменяется слабо и не имеет искажений, а при дальнейшем увеличении $U_{\text{П.ех}}$, сигнал на выходе искажается.

Определите коэффициент перекрёстных искажений по формулам (3), (4) для разных уровней помехового сигнала.

Оцените динамический диапазон по перекрестным искажениям по формуле (5). Полученные значения $K_{\text{ПИ}}$ занесите в табл.3.

Таблица 3

№	$U_{\text{вых.ПИ}}$	$U_{\text{вых.С}}$	$K_{\text{ПИ}}$	$U_{\text{П.ех}}$
1				
2				
3				
4				
5				

Постройте графики зависимости коэффициента перекрёстных искажений от напряжения помехи $K_{\text{ПИ}} = f(U_{\text{П.ех}})$ (рис.17).

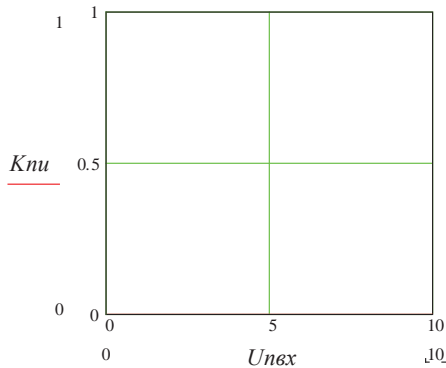


Рис.17. Характеристики зависимости коэффициента перекрёстных искажений от уровня помехи

По результатам лабораторной работы необходимо составить индивидуальный отчет, содержащий иллюстративный материал зависимостей $K_{\text{ПИ}} = f(U_{\text{П.ех}})$, временные и частотные диаграммы выходных сигналов.

Отчет должен содержать:

1. Функциональную схему установки для исследования перекрестных искажений.
2. Расчет коэффициента перекрестных искажений.

3. Графики зависимостей коэффициента перекрестных искажений от уровня помехи.
4. Временные и частотные диаграммы выходных сигналов.
5. Заполненные таблицы результатов исследований.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое перекрестные искажения в радиоэлектронных средствах.
2. Поясните причину возникновения перекрестных искажений в приемниках радиоэлектронных средств.
3. Чем определяется допустимый уровень помехового сигнала?
4. В чем принципы количественной оценки ЭМС РЭС?
5. Оценка уровня межсистемных помех.
6. Способы подавления внеполосных помеховых излучений РЭС.
7. Каковы этапы оценки ЭМС РЭС и в чем их основная сущность?
8. Классификация электромагнитных помех.
9. Типовые параметры электромагнитных радиоволн передатчиков РЭС.
10. Характеристики излучения радиопередающих устройств.
11. Запишите наиболее неблагоприятные комбинационные частоты, возникающие при одночастотном, многочастотном режиме работы усилителя мощности.

Литература

1. М. Быховуский и др. Основы управления использованием радиочастотного спектра. Том 2. Обеспечение электромагнитной совместимости радиосистем. – М.: Красанд, 2012.
2. Д. Уайт. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. – М.: Книга по Требованию, 2012.
3. С.Б. Стукалов. Электромагнитная совместимость. Пособие по изучению дисциплины и контрольные задания М. МГТУ ГА. 2017. 32 с.

Лабораторная работа № 3. Исследование ослабления помех фильтрами ВЧ сигналов в задачах электромагнитной совместимости

Цель работы: исследовать работу полосовых и заграждающих фильтров в цепях высокочастотных сигналов для задач электромагнитной совместимости РЭС.

Краткие сведения из теории

Для ослабления действия помех, действующих на приемники электромагнитных излучений (рецепторы) или помех создаваемых источниками электромагнитных излучений, можно применить электрические фильтры (рис.18) [1].

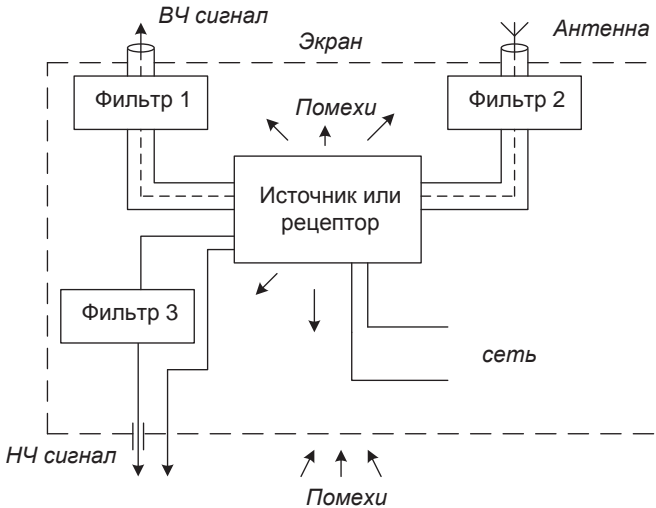


Рис.18. Схема ослабления помех, действующих на рецептор или создаваемых источником

фильтр 1 – фильтр в цепи высокочастотного сигнала,
фильтр 2 – фильтр в фидерном тракте, *фильтр 3* – поглощающий фильтр в виде ферритового кольца для ослабления высокочастотных кондуктивных помех.

Ослабление помеховых ВЧ сигналов можно выполнить при помощи полосовых фильтров в цепях высокочастотного сигнала, в фидерном тракте. Это обеспечивает снижение восприимчивости радиоприемников к непреднаме-

ренным электромагнитным помехам. В зависимости от конкретных условий используемые фильтры могут иметь частотные характеристики фильтров нижних частот, полосовых или режекторных. По принципу действия эти фильтры могут быть реактивными, составленными из частотно-избирательных элементов с малыми потерями, так и поглощающего типа.

Программа работы

1. Исследование работы полосовых фильтров РЭС при пропускании полезных радиосигналов

В данном задании исследуется процесс пропускания полосовыми фильтрами радиоимпульсов радиоэлектронного устройства с заданной несущей частотой.

Для формирования радиоимпульсов необходимо включить и настроить устройства формирования последовательностей прямоугольных видеоимпульсов и затем формирователя сигнала несущей частоты.

Для этого необходимо:

включить схему измерения (установлена на месте ПЭВМ). Устройство включает многофункциональный генератор, формирующий сигналы с заданными параметрами, осциллограф и анализатор спектра. Главная панель приведена на рис. 19.

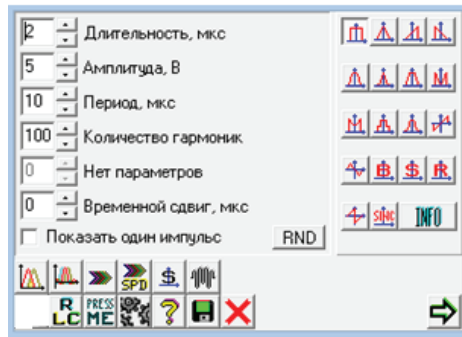


Рис. 19

Включить кнопку формирователя прямоугольных импульсов и убедиться в работе генератора по изображению сигнала на экране осциллографа.

Установить параметры сигналов:

длительность 2 мкс,

амплитуда 5В,

период 10 мкс,

количество гармоник (для восстановления сигнала) 100,
временной сдвиг 0 мкс.

Перевести функциональный генератор в режим формирования последовательности прямоугольных импульсов, нажав кнопку «Модуляция сигнала» (рис.20).

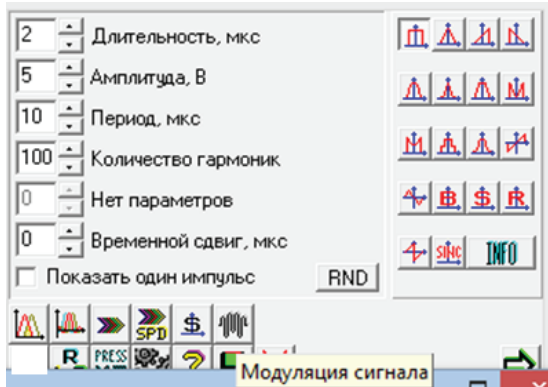


Рис.20

Нажмем зеленой кнопки «INFO» высветить информацию о типе сигнала (рис.21).

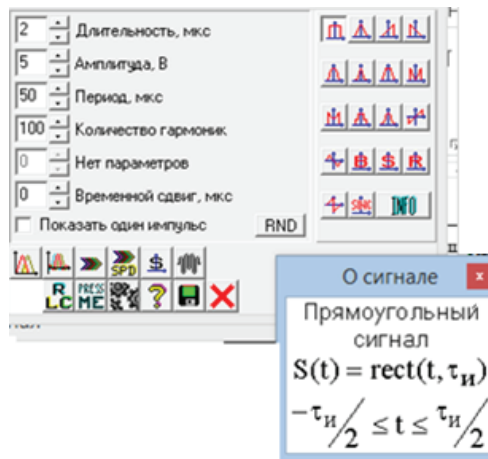


Рис.21

Записать информацию о типе сигнала.

Включить кнопку «модуляция» (снизу второй ряд, правая)

На генераторе частоты «Установка модуляции»), включить кнопку «ON» радиозаполнение и установить частоту радиозаполнения $f_n = 1000$ кГц (рис.22).

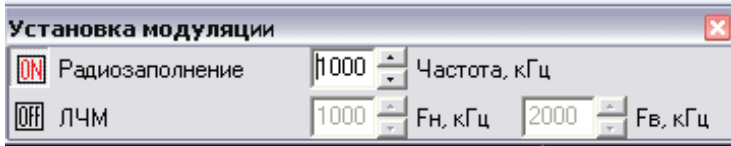


Рис. 22

Зарисовать временную диаграмму входного радиосигнала, амплитудно-частотный и фазочастотный спектры. Записать выводы о распределении энергии сигнала в частотном диапазоне.

Для исследования пропускания полосовыми фильтрами радиоимпульсов включить кнопку **RLC** (нижний ряд, вторая слева) (рис.23).

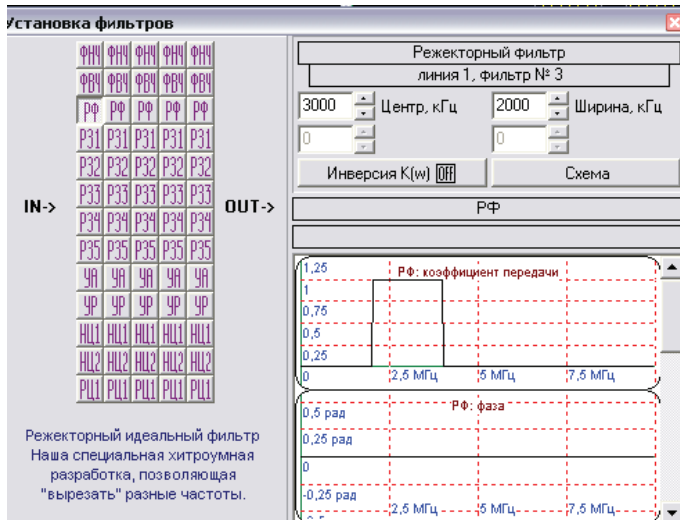


Рис.23

Включить кнопку «**РФ**». Настроить центральную частоту на значение несущей частоты радиоимпульсов. Ширину полосы пропускания установить $100 \cdot n$ кГц, где n — номер рабочего места.

Зарисовать временные диаграммы входного и выходного сигналов, амплитудно-частотный и фазочастотный спектры, АЧХ и ФЧХ фильтров.

Последовательно увеличить полосу пропускания фильтра в **1,5 раза** и в **2 раза**.

Для данных случаев зарисовать временные диаграммы входного и выходного сигналов, амплитудно-частотный и фазочастотный спектры, АЧХ и ФЧХ фильтров. Сделать выводы о влиянии полосы пропускания фильтра на качество формируемого сигнала.

2. Исследование работы заграждающих фильтров РЭС при подавлении гармоник побочного излучения

Настроить формирователь радиосигналов на частоту 1 гармоники **побочного излучения**, т.е. увеличить несущую частоту в 2 раза (установить $f_n = 2000$ кГц).

Включить клавишу «Инверсия $K(\omega)$ ON» (рис.24).

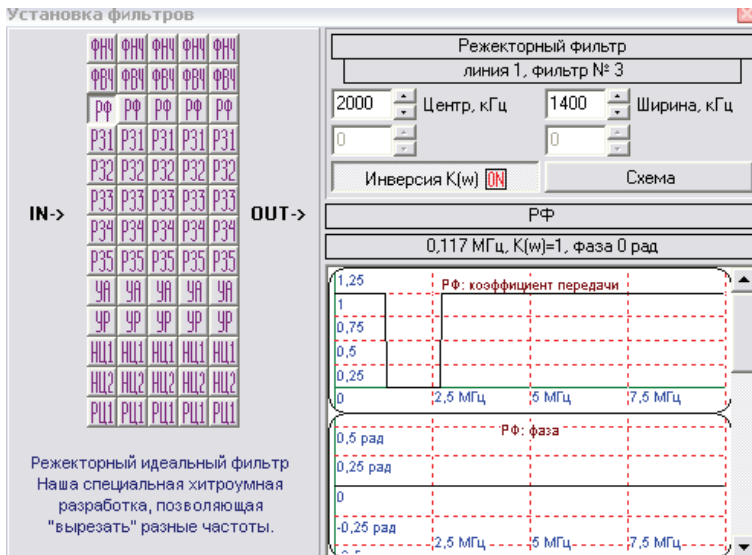


Рис.24

Обратить внимание на изменение **амплитудно-частотного спектра пропускаемой гармоники**.

Зарисовать временные диаграммы входного и выходного сигналов, амплитудно-частотный и фазочастотный спектры, АЧХ и ФЧХ фильтров.

Последовательно увеличить полосу подавления фильтра в **1,5 раза** и в **2 раза**.

Для данных случаев зарисовать временные диаграммы входного и выходного сигналов, амплитудно-частотный и фазочастотный спектры, АЧХ и ФЧХ фильтров. Сделать выводы об эффекте подавления гармоники побочного излучения режекторным фильтром.

Контрольные вопросы

1. Методы обеспечения защиты электрических цепей РЭС от помеховых воздействий.
2. Дайте определение ЭМС РЭС.
3. Что такое необходимая полоса частот радиоизлучения?
4. Охарактеризуйте основное излучение радиопередающих устройств. Приведите иллюстрационный материал.
5. Дайте определение побочных каналов излучения.
6. Что такое восприимчивость приемника?
7. За счет чего формируются основной и побочный каналы приема?
8. Поясните физические процессы, обуславливающие прямое прохождение помех в приемных трактах.
9. Дайте физическое обоснование природы тепловых шумов.
10. Чем определяется ширина спектра дробового шума? Запишите выражение.
11. Поясните природу побочных излучений. Дайте количественную оценку динамического диапазона.
12. Изобразите основные схемы возбудителей. Проведите их сравнительный анализ с точки зрения возникновения комбинационных излучений.

Литература

1. Ю.Е. Седельников. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Учебное пособие. Казань. Новое знание. 2006. 304 с.
2. Д.Уайт. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. – М.: Книга по Требованию, 2012.
3. С.Б. Стукалов. Электромагнитная совместимость. Пособие по изучению дисциплины и контрольные задания М. МГТУ ГА. 2017. 32 с.

Лабораторная работа № 4. Исследование ослабления помех развязывающими фильтрами в задачах электромагнитной совместимости

Цель работы: исследовать работу развязывающих фильтров в задачах обеспечения электромагнитной совместимости РЭС.

Краткие сведения из теории

Методы фильтрации находят применение при ослаблении кондуктивных помех, создаваемых источниками в цепях электропитания и управления в различных электронных устройствах для снижения восприимчивости их к непреднамеренным электромагнитным помехам по цепям электропитания и т.д. (рис.25) [1].

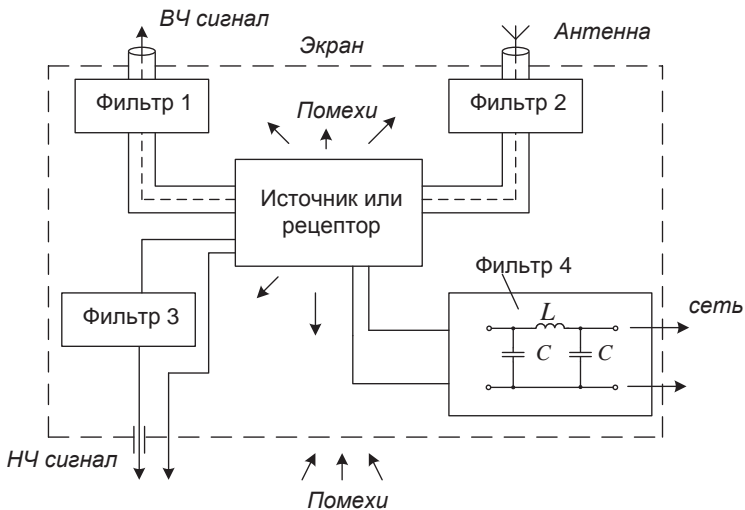


Рис.25. Схема ослабления помех, действующих на приемник или создаваемых источником.

фильтр 1 – фильтр в цепи высокочастотного сигнала,
фильтр 2 – фильтр в фидерном тракте, *фильтр 3* – поглощающий фильтр в виде ферритового кольца для ослабления высокочастотных кондуктивных помех, *фильтр 4* – сетевой развязывающий фильтр.

В зависимости от конкретных условий используемые фильтры могут иметь частотные характеристики фильтров нижних частот, полосовых или

режекторных. По принципу действия эти фильтры могут быть реактивными, составленными из частотно-избирательных элементов с малыми потерями, так и поглощающего типа.

Программа работы

1. Исследование работы развязывающих фильтров РЭС:

В данном задании исследуется процесс подавления развязывающими фильтрами радиоимпульсов с заданной несущей частотой.

Для формирования радиоимпульсов необходимо включить и настроить устройства формирования последовательностей прямоугольных видеоимпульсов и затем формирователя сигнала несущей частоты.

Для этого необходимо:

включить схему измерения (установлена на рабочем месте ПЭВМ), включающую многофункциональный генератор, формирующий сигналы с заданными параметрами, осциллограф и анализатор спектра. Главная панель приведена на рис. 26.

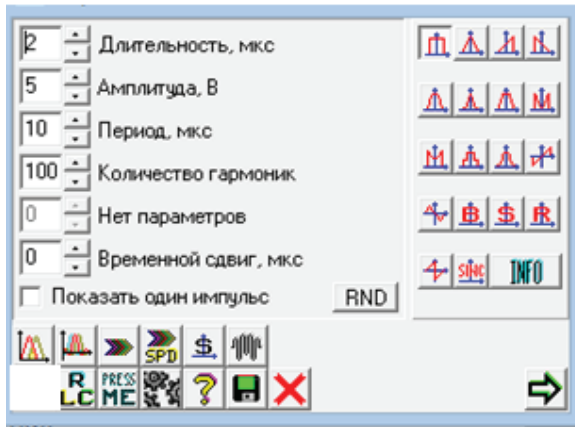


Рис. 26.

Включить кнопку формирователя прямоугольных импульсов и убедиться в работе генератора по изображению сигнала на экране осциллографа.

Установить параметры сигналов:

длительность 2 мкс,

амплитуда 5В,

период 10 мкс,

количество гармоник (для восстановления сигнала) 100,

временной сдвиг 0 мкс.

Перевести функциональный генератор в режим формирования последовательности прямоугольных импульсов, нажав кнопку модуляция (рис.27).

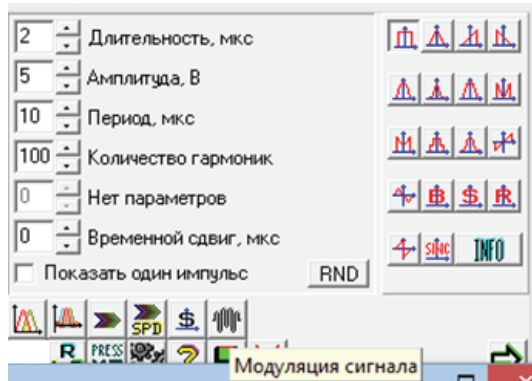


Рис.27

Нажатию зеленой кнопки «INFO» высветить информацию о типе сигнала (рис.28).

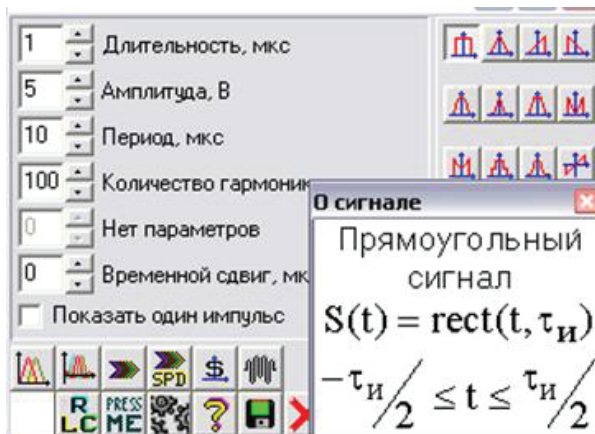


Рис.28

Записать информацию о типе сигнала.

Включить кнопку «модуляция» (снизу второй ряд, правая)

На генераторе частоты «Установка модуляции»), включить кнопку «ON» радиозаполнение и установить частоту радиозаполнения $f_n = 100 \cdot n$ кГц, где n – номер рабочего места, (рис.28).



Рис.29

Зарисовать временную диаграмму входного радиосигнала, амплитудно-частотный и фазочастотный спектры. Записать выводы о распределении энергии сигнала в частотном диапазоне.

Для исследования эффекта подавления развязывающими фильтрами нежелательных радиосигналов включить кнопку **RLC** (нижний ряд, вторая слева). Включить кнопку «ФНЧ». Настроить центральную частоту на значение несущей частоты радиоимпульсов. Ширину полосы пропускания установить $100 \cdot n$ кГц, где n – номер рабочего места, (рис.28).

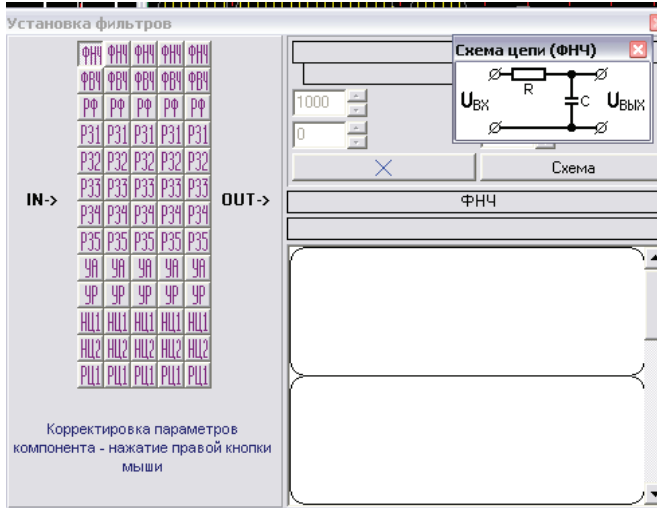


Рис.30

Зарисовать временные диаграммы входного и выходного сигналов, амплитудно-частотный и фазочастотный спектры, АЧХ и ФЧХ фильтров.

Последовательно увеличить полосу пропускания фильтра в **1,5 раза** и в **2 раза**.

Для данных случаев зарисовать временные диаграммы входного и выходного сигналов, амплитудно-частотный и фазочастотный спектры, АЧХ и ФЧХ фильтров. Сделать выводы о влиянии полосы пропускания фильтра на качество формируемого сигнала.

2. Исследование работы влияние заграждающих фильтров на подавление гармоник побочного излучения:

Настроить формирователь радиосигналов на частоту 1 гармоники **побочного излучения**, т.е. увеличить несущую частоту в 2 раза (установить $f_n = 2000$ кГц).

Включить клавишу «Инверсия $K(\omega)$ ON» (рис.31).

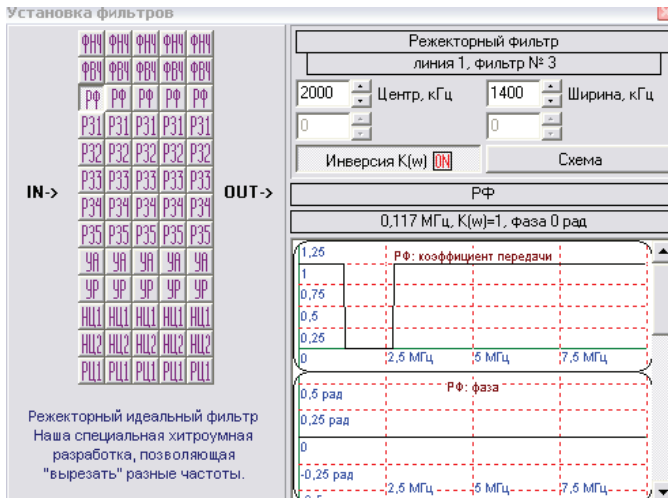


Рис.31

Обратить внимание на изменение **АЧС пропускаемой гармоники**.

Зарисовать временные диаграммы входного и выходного сигналов, амплитудно-частотный и фазочастотный спектры, АЧХ и ФЧХ фильтров.

Последовательно увеличить полосу подавления фильтра в **1,5 раза** и в **2 раза**.

Для данных случаев зарисовать временные диаграммы входного и выходного сигналов, амплитудно-частотный и фазочастотный спектры, АЧХ и

ФЧХ фильтров. Сделать выводы об эффекте подавления гармоник побочного излучения режекторным фильтром.

Контрольные вопросы

1. Поясните механизм возникновения интермодуляционных излучений.
2. Поясните механизм возникновения паразитных излучений.
3. Приведите модели различных нежелательных излучений.
4. Приведите параметры приемников, влияющих на ЭМС РЭС.
5. Дайте определение характеристики частотной избирательности по различным каналам приема.
6. Постройте математические модели оценки характеристики частотной избирательности по соседним каналам приема.

Литература

1. Ю.Е. Седельников. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Учебное пособие. Казань. Новое знание. 2006. 304 с.
2. М. Быховуский и др. Основы управления использованием радиочастотного спектра. Том 2. Обеспечение электромагнитной совместимости радиосистем. – М.: Красанд, 2012.
3. С.Б. Стукалов. Электромагнитная совместимость. Пособие по изучению дисциплины и контрольные задания М. МГТУ ГА. 2017. 32 с.
4. Д.Уайт. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. – М.: Книга по Требованию, 2012. 464 с.

Лабораторная работа №5. Исследование подавления внеполосных помеховых излучений РЭС

Цель работы: исследовать работу устройств подавления нежелательных внеполосных помеховых излучений в задачах *обеспечения электромагнитной совместимости РЭС*.

Краткие сведения из теории

При передаче речевых сообщений (при амплитудной модуляции) внеполосные излучения возникают в радиопередатчике из-за амплитудного ограничения сигнала. Амплитудное ограничение используется для повышения помехозащищенности путем снижения пик-фактора речевых сообщений. За счет ограничения увеличивается средняя мощность слабых составляющих сигнала (согласные звуки) и уменьшается средняя мощность пиковых составляющих (гласные звуки). При этом не снижается разборчивость речи, поскольку имеется информационная избыточность. Однако, окраска передаваемой речи несколько теряется.

При передаче речевых сообщений при частотной модуляции внеполосные излучения возникают из-за амплитудного ограничения на выходе усилителя низкой частоты.

При передаче телеграфных сообщений внеполосные излучения возникают из-за крутых фронтов телеграфных посылок. Для уменьшения внеполосных излучений рекомендуется заваливать фронты посылок в пропорции

$$\frac{t_{уст}}{t} = 0.15 \dots 0,2$$

где $t_{уст}$ – время нарастания и спада фронтов посылки;

t – общая длительность посылки.

Для заваливания фронтов посылок на выходе манипулирующего каскада обычно ставится фильтр нижних частот (рис.32).

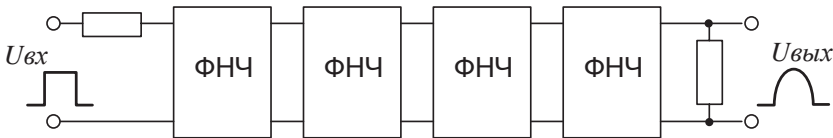


Рис.32

Этим способом обеспечивается изменение структура спектра, его ширины (табл.1) и подавление нежелательных излучений.

Таблица 4

Форма посылок	Ширина занимаемой полосы частот
Прямоугольная	20,6 1/t
Трапецеидальная тврш / тосн = 0,8	6,5 1/t
Треугольная	2,6 1/t
Косинусоидальная	2,5 1/t

1. Исследование эффектов подавления внеполосных помеховых излучений РЭС создаваемых последовательностями прямоугольных видеоимпульсов:

В данном задании исследуется процесс подавления фильтрами низких частот внеполосных помеховых излучений РЭС создаваемых последовательностями прямоугольных видеоимпульсов.

Для формирования последовательностей прямоугольных видеоимпульсов необходимо включить и настроить устройства формирования сигналов.

Для этого необходимо:

включить схему измерения (установлена на рабочем месте ПЭВМ), включающую многофункциональный генератор, формирующего сигналы с заданными параметрами, осциллограф и анализатор спектра. Главная панель приведена на рис. 33.

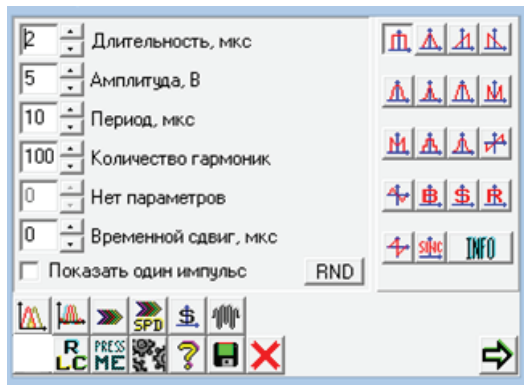


Рис. 33

Включить кнопку формирователя прямоугольных импульсов и убедиться в работе генератора по изображению сигнала на экране осциллографа.

Установить параметры сигналов:

длительность $t_i = 2$ мкс,

амплитуда $5B$,

период $T = 10$ мкс,

количество гармоник (для восстановления сигнала) 100 ,

временной сдвиг 0 мкс.

Перевести функциональный генератор в режим формирования последовательности прямоугольных импульсов, нажав кнопку модуляция (рис.34).

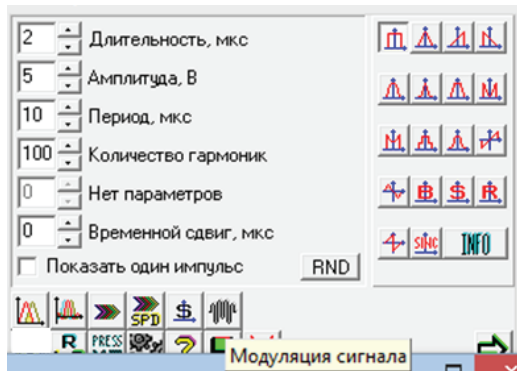


Рис.34

Нажатием зеленой кнопки «INFO» высветить информацию о типе сигнала (рис.35).

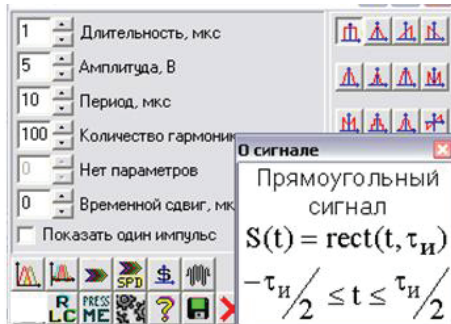


Рис.35

Записать информацию о типе сигнала.

Зарисовать временную диаграмму входного сигнала, амплитудно-частотный и фазочастотный спектры. Записать выводы о распределении энергии сигнала в частотном диапазоне.

Для исследования эффекта подавления фильтрами низких частот нежелательных радиосигналов включить кнопку **RLC** (нижний ряд, вторая слева). Включить кнопку «ФНЧ» (рис.36).

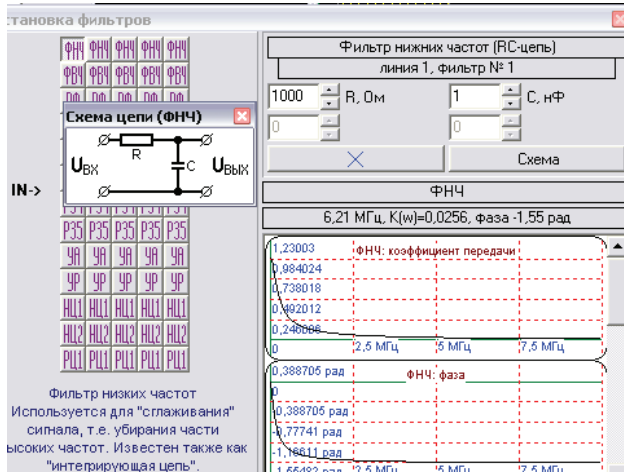


Рис.36

Установить сопротивление резистора R равным $100 \cdot n$ Ом, где ***n*** – номер рабочего места. Значение емкости C установить из условия граничной частоты фильтра $f_{гр} = 1/2\pi RC$. Для расчета воспользоваться формулой:

$$C = \frac{1}{2\pi R f_{гр}}$$

Зарисовать временные диаграммы входного и выходного сигналов, амплитудно-частотный и фазо-частотный спектры, АЧХ и ФЧХ фильтров.

2. Исследование качества действия фильтров подавления внеполосных излучений при многокаскадном включении:

Последовательно включить дополнительно второй ФНЧ, затем третий ФНЧ.

Для данных случаев зарисовать схемы фильтров, временные диаграммы входного и выходного сигналов, амплитудно-частотный и фазо-частотный спектры, *результатирующие* АЧХ и ФЧХ фильтров.

Сделать выводы о качестве подавления фильтрами нежелательных внеполосных помеховых излучений в зависимости от количества каскадов.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте основное излучение радиопередающих устройств.
2. Дайте определение побочных каналов излучения.
3. За счет чего формируются основной и побочный каналы приема?
4. Поясните физические процессы, обуславливающие прямое прохождение помех в приемных трактах.
5. Классификация электромагнитных помех.
6. Типовые параметры электромагнитных радиоволн передатчиков РЭС.
7. Характеристики излучения радиопередающих устройств.
8. Математические модели описания параметров электромагнитной совместимости.

Литература

1. М. Быховуский и др. Основы управления использованием радиочастотного спектра. Том 2. Обеспечение электромагнитной совместимости радиосистем. – М.: Красанд, 2012.
2. Д.Уайт. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. – М.: Книга по Требованию, 2012.
3. С.Б. Стукалов. Электромагнитная совместимость. Пособие по изучению дисциплины и контрольные задания М. МГТУ ГА. 2017. 32 с.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1. Электромагнитная совместимость (ЭМС) технических средств — способность технических средств одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных электромагнитных помех и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

2. Электромагнитная помеха (ЭМП) (electromagnetic disturbance) — электромагнитные явления, которые ухудшают или могут ухудшить качество функционирования технических средств (радиоэлектронных средств, электрической сети, приборов и устройств потребителей).

3. Уровень ЭМП — значение величины помехи, измеренное в регламентированных условиях.

4. Влияние помехи (electromagnetic interference — ЕМИ) — снижение показателей качества функционирования технических средств при воздействии помехи.

5. Устойчивость к ЭМП, помехоустойчивость (immunity) — способность технических средств сохранять заданное качество функционирования при воздействии помех.

6. Электромагнитный шум: изменяющееся во времени электромагнитное явление, которое не содержит информации и может налагаться на полезный сигнал или объединяться с полезным сигналом.

7. Нежелательный сигнал: сигнал, который может ухудшить прием полезного сигнала.

8. Мешающий сигнал: сигнал, который ухудшает прием полезного сигнала.

9. Радиообстановка:

- электромагнитная обстановка в полосе радиочастот.

- совокупность электромагнитных полей, создаваемых в данной области пространства работающими радиопередатчиками.

10. Радиопомеха: электромагнитная помеха, спектральные составляющие которой находятся в полосе радиочастот.

КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ

Международным союзом электросвязи (*ITU*) разработана классификация радиоизлучений. Нормами характеристик излучений являются:

тип модуляции несущей, обозначаемый буквами латинского алфавита (*первый знак* условного обозначения класса излучения),

характер модулирующего сигнала, отображаемый арабскими цифрами (*второй знак*)

тип передаваемой информации, указываемый латинскими буквами (*третий знак*).

Первый знак

- излучение немодулированной несущей обозначается буквой *N*,
- амплитудно-модулированный сигнал — буквой *A*,
- сигнал с частично подавленной одной из боковых полос — *C*,
- однополосный сигнал с подавленной несущей — буквой *J*,
- частотно и фазомодулированные сигналы — буквами *F* и *G* соответственно,
- комбинированная импульсная модуляция — буквой *V*.

Второй знак

- нет модуляции 0;
- Одноканальная передача цифровой информации без поднесущей обозначается цифрой 1;
- с поднесущей — цифрой 2;
- одноканальная передача аналоговой информации — цифрой 3;
- двухканальная (или более) передача, содержащая квантованную или цифровую информацию — цифрой 7;
- двухканальная (или более) передача аналоговой информации — цифрой 8;
- сложная система с одним или несколькими каналами, содержащими квантованную или цифровую информацию, совместно с одним или несколькими каналами, содержащими аналоговую информацию — цифрой 9.

Третий знак условного обозначения класса излучения указывает на тип передаваемой информации:

- телефония обозначается буквой *E*,
- телеграфия для приема на слух — буквой *A*,
- телеграфия для автоматического приема — буквой *B*,
- факсимиле — *C*.

СОДЕРЖАНИЕ

Организационно-методические указания.....	3
1. Лабораторная работа № 1. Исследование эффектов блокирования радиоэлектронных устройств	5
2. Лабораторная работа № 2. Исследование перекрестных искажений в радиоэлектронных устройствах.....	14
3. Лабораторная работа №3. Исследование ослабления помех фильтрами ВЧ сигналов в задачах электромагнитной совместимости.....	21
4. Лабораторная работа № 4. Исследование ослабления помех развязывающими фильтрами в задачах электромагнитной совместимости	27
5. Лабораторная работа №5. Исследование подавления внеполосных помеховых излучений РЭС	33
Приложение.....	38