

ДИСЦИПЛИНА	Схемотехника электронных устройств полное название дисциплины без аббревиатуры
ИНСТИТУТ	Институт радиотехнических и телекоммуникационных систем
КАФЕДРА	Радиоволновых процессов и технологий полное название кафедры
ГРУППА/Ы	РРБО-01-18, РРБО-02-18, РРБО-03-18, РРСО-01-18, РРСО-02-18, РРСО-03-18 номер групп/ы, для которых предназначены материалы
ВИД УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА	Лабораторные работы лекция; материал к практическим занятиям; контрольно-измерительные материалы к практическим занятиям; руководство к КР/КП, практикам
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	Бабенко Валерий Павлович фамилия, имя, отчество
СЕМЕСТР	6 указать номер семестра обучения

Введение

Для изучения схемотехники требуется проведение экспериментов – проверка на практике знаний, полученных в теоретическом курсе. Самостоятельная разработка электронных устройств, сборка и наладка схемы, подключение измерительных приборов, исследование характеристик даёт незаменимый опыт общения с аппаратурой, понимание происходящих в ней процессов, прогнозирование её работы. В связи с ограниченными возможностями реальной лаборатории актуальным является применение виртуальной лаборатории с использованием программ моделирования. Виртуальная лаборатория даёт возможность лучше понимать и закреплять теоретический материал, совершенствовать учебный процесс, легко подгонять практический курс к нуждам конкретных учащихся, развивать и дополнять его. Ошибки экспериментатора в реальной лаборатории могут привести к большим материальным потерям. Компьютерное схемотехническое моделирование легко справляется с подобными трудностями. Поэтому моделирование широко используется в практических разработках и в обучении. Студент застрахован от случайного поражения током, а приборы не выйдут из строя из-за неправильно собранной схемы.

Программы виртуального схемотехнического моделирования, такие как MicroCapV, DesinLab 8.0, CircuitMaker 6.0, ElectronicsWorkbench широко используются в процессе подготовки специалистов. Каждая из программ предназначена для решения определенного круга задач и имеет свои достоинства и недостатки. В учебной практике высшей школы по электронным дисциплинам наиболее часто используются Workbench (EWB) и его модификация Multisim. Причин этому несколько: простой, интуитивно понятный интерфейс; легкость создания принципиальных схем; возможность пополнения баз компонентов посредством изменения параметров существующих библиотечных элементов; рабочий стол представляет электронную лабораторию, оборудованную контрольно-измерительными приборами, по внешнему виду и характеристикам приближенных к их промышленным аналогам [1]. EWB и Multisim различаются лишь временем выпуска и рядом усовершенствований. Однако, Multisim предъявляет больше требований к компьютеру, требует большего времени для освоения, достаточно сложен для начинающих, в том числе для студентов.

Для учебных целей достаточно пакета EWB 5.0, или 5.12, которые легко найти в Internet. Программа EWB рассчитана для работы в среде Windows 95/98/XP и занимает около 16 Мбайт дисковой памяти. Для размещения временных файлов требуется дополнительно 10-20 Мбайт свободного пространства на диске. При большом разнообразии версий EWB в интернете, рекомендуется использовать professional версию EWB 5.12 PRO.

Используемая версия в формате Portable не требует инсталляции.

Возможные проблемы и способы их устранения

При работе с программой EWB в операционной системе WINDOWS XP и старше следует соблюдать определенные правила:

- Папка с программой должна быть в корне диска. Названия папок без пробелов;
- Правой кнопкой откройте свойства файла WEWB32.exe/совместимость установите галочку в окне совместимость с WIN95, 98;
- По умолчанию элементы в программе выглядят по американскому стандарту (MIL/ANSI). Чтобы правильно отображались элементы европейского (немецкого и похожего на него русского) стандарта DIN в файл EWB.INI любым текстовым редактором допечатать строчку Din=on. Или в свойства ярлыка программы добавить в конце WEWB32.exe /din.
- Для каждого элемента можно задать точность параметров или измерений (правая кнопка мыши/componentproperties/value/tolerance).
- Для электронных компонент можно задать конкретную модель из библиотеки EWB.
- Для WINDOWS черный хвост за объектами можно убрать, поставив галочки в свойствах приложения на вкладке Совместимость/Отключить/визуальное оформление и «Отключить композицию рабочего стола» (windows-aero).
- Мешает утилита SetPoint (настройка клавиатур, мышей фирмы Logitech). Как только выключить SetPoint, то запущенный процесс WEWB32.EXE практически сразу выводит окно.
- Конфликтует с запущенным GoogleChrome.

Полезные советы

- Чтобы на схеме появились идентификаторы компонентов и нумерация узлов, войдите в меню Circuit/Schematic Options и отметьте галочкой Show reference ID, Show nodes;
- Чтобы скопировать схему, график, фрагменты рабочего стола EWB войдите в меню Edit/Copy as Bitmap, правой кнопкой мыши захватите нужный участок изображения и отпустите кнопку. Фрагмент скопирован в буфер обмена, его можно использовать при оформлении отчета;
- Для копирования активного окна меню EWB используйте метод копирования элементов экрана Screenshot, нажав одновременно кнопки клавиатуры ALT и PrtScr.
- При возникновении сообщений «Timestep too small» (очень небольшой шаг интегрирования) либо «No convergence in the transient analysis» (нет сходимости при анализе переходного процесса) **сначала проверьте схему на работоспособность и отсутствие ошибок**. Если все нормально, а сообщение появляется, необходимо в меню Analysis\Analysis Options\Transient поменять значения последующих характеристик:
- ITL4 - Transient time point iterations (количество итераций) в сторону роста до 50 ... 1000. Повышение шага ведет к повышению времени расчета.
- TRTOL - Transient error tolerance factor (фактор допустимой ошибки) в сторону уменьшения до 0.01 ... 0,1.

О программе EWB

ElectronicsWorkbench позволяет строить схемы различной степени сложности при помощи следующих операций[7]:

- Выбор элементов и приборов из библиотек;
- Перемещение элементов и схем в любое место рабочего поля;
- Поворот элементов и групп элементов на углы, кратные 90^0 ;
- копирование, вставка или удаление элементов, групп элементов, фрагментов схем и целых схем;
- изменение цвета проводников;
- выделение цветом контуров схем для более удобного восприятия;
- одновременное подключение нескольких измерительных приборов и наблюдение их показаний на экране монитора;
- присваивание элементу условного обозначения;
- изменение параметров элементов в широком диапазоне.
- Все операции производятся при помощи мыши и клавиатуры.

В библиотеки компонентов программы входят пассивные элементы, транзисторы, управляемые источники, управляемые ключи, гибридные элементы, индикаторы, логические элементы, триггерные устройства, цифровые и аналоговые элементы, специальные комбинационные и последовательные схемы. Активные элементы могут быть представлены моделями как идеальных, так и реальных элементов. Возможно также создание своих моделей элементов и добавление их в библиотеки элементов.

В программе используется большой набор приборов для проведения измерений: амперметр, вольтметр, осциллограф, комбинированный измерительный прибор - мультиметр, Боде-плоттер (графопостроитель частотных характеристик схем), функциональный генератор, генератор двоичных кодов, логический анализатор и логический преобразователь. Описание работы программы можно найти на сайте[6].

Путем настройки приборов можно:

- изменять шкалы приборов в зависимости от диапазона измерений;
- задавать режим работы прибора;
- задавать вид входных воздействий на схему (постоянные и гармонические токи и напряжения, треугольные и прямоугольные импульсы).
- Графические возможности программы позволяют:
- одновременно наблюдать несколько кривых на графике;
- отображать кривые на графиках различными цветами;
- измерять координаты точек на графике;
- импортировать данные в графический редактор, что позволяет произвести необходимые преобразования рисунка и вывод его на принтер;
- позволяет разместить на рабочем пространстве схему таким образом, чтобы были четко видны все соединения элементов и одновременно вся схема целиком.

После построения схемы и подключения приборов анализ ее работы

начинается после нажатия выключателя в правом верхнем углу окна программы. Сделать паузу при работе схемы можно нажатием кнопки Pause под выключателем. Возобновить процесс можно повторным нажатием кнопки Pause. Повторное нажатие выключателя в правом верхнем углу прекращает работу схемы.

Выбор нужного компонента производится из поля компонентов, нужное поле компонентов выбирается нажатием левой кнопки мыши на одной из пиктограмм панели компонентов. При этом в поле компонентов появляются изображения соответствующих компонентов. После выбора поля компонентов нужный компонент при помощи мыши перемещается на рабочее поле. Выделение объекта осуществляется при помощи мыши (под объектом подразумевается как один компонент, так и группа компонентов). При выборе компонента нужно установить указатель мыши на нужный компонент и щелкнуть левой кнопкой мыши. Для выбора группы компонентов нужно установить указатель мыши в один из углов прямоугольной области, содержащей группу, и нажав левую кнопку мыши, растянуть рамку до необходимых размеров, после чего отпустить кнопку. Выбранный объект изменяет свой цвет на красный. Снять выделение можно щелчком мыши в любой точке рабочего поля.

Объект можно поворачивать на угол, кратный 90° . Для этого объект нужно предварительно выделить, а затем выбрать команду Rotate из меню Circuit, нажать Ctrl+R или на рабочей панели нажать кнопку. При этом объект повернется на 90° по часовой стрелке. При повороте группы компонентов на 90° поворачивается каждый компонент, а не вся группа целиком.

Копирование объектов осуществляется при помощи команды Copy из меню Edit, нажатием Ctrl+C или на рабочей панели нажать кнопку. Перед копированием объект нужно выделить. После выполнения команды выделенный объект копируется в буфер. Для вставки содержимого буфера на рабочее поле нужно выбрать команду Paste из меню Edit, нажать Ctrl+V или на рабочей панели нажать кнопку. После выполнения команды содержимое буфера появится на рабочем поле и будет выделено цветом.

Удаление объекта осуществляется командами Cut и Delete. Отличие состоит в том, что при выполнении команды Cut объект удаляется в буфер и может быть, затем вставлен обратно на рабочее поле, а при выполнении команды Delete объект удаляется совсем. Перед удалением объект также должен быть выделен.

Для соединения компонентов проводниками нужно подвести указатель мыши к выводу компонента. При этом на выводе компонента появится большая черная точка. Нажав левую кнопку мыши, переместите ее указатель к выводу компонента, с которым нужно соединиться, и отпустите кнопку мыши. Выводы компонентов соединятся проводником.

Все проводники в Electronics Workbench по умолчанию черного цвета, но цвет проводника можно изменить. Для этого нужно двойным щелчком на изображении проводника открыть окно, приведенное на рисунке, и в окне

мышью выбрать требуемый цвет.

EWB представляет собой удобное и практичное средство, позволяющее моделировать электрические схемы и анализировать их работу. Результаты моделирования можно вывести на принтер или импортировать в текстовый или графический редактор для их дальнейшей обработки.

Методические указания к практикуму

Ознакомиться с описанием соответствующей работы и установить, в чем состоит ее основная цель и задача.

Изучить теоретический материал, относящийся к данной работе, по лекционному курсу и соответствующим литературным источникам.

До проведения практических работ собрать электрическую схему. Подключить измерительные приборы и провести измерения в соответствии с заданием.

По каждой работе студентом индивидуально выполняется отчет в редакторе Word. Формат отчета следующий:

Титульный лист, содержащий название института, кафедры, дисциплины, название и номер работы, ФИО преподавателя и студента включая номер группы, год выполнения;

Последующие страницы отчета заполняются графиками, диаграммами и результатами промежуточных вычислений.

Каждый пункт задания содержит; постановку задачи, исследуемые схемы, необходимые расчеты, результаты измерений, графики, обсуждение результата, выводы.

Отчет оформляется каждым студентом индивидуально к следующему занятию в распечатанном виде.

Защита лабораторной работы заключается в собеседовании по теоретическим и практическим вопросам по тематике работы.

Лабораторная работа №1

«РСцепи с гармоническими и импульсными сигналами»

Цель работы –при предельно простой электрической схеме ознакомиться с измерительными приборами, методикой измерения аналоговых и импульсных сигналов и параметров.

Задание – собрать и отладить указанные ниже схемы (EWB) с величиной R и C , определяемыми индивидуальным заданием (вариант).

Провести исследование.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R (кОм)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1,0
C (нФ)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

№ вар.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R (кОм)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

С (нФ)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
--------	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1.1. Исследование RC цепей на гармонических сигналах

На вход RC цепочки подается синусоидальный сигнал от генератора частотой 1 кГц, напряжением 10 В.

Дифференцирующая RC цепь

Собрать согласно индивидуальному заданию схему (рис 1.1.) дифференцирующей RC цепочки, являющейся простейшим звеном фильтра высокой частоты (ФВЧ).

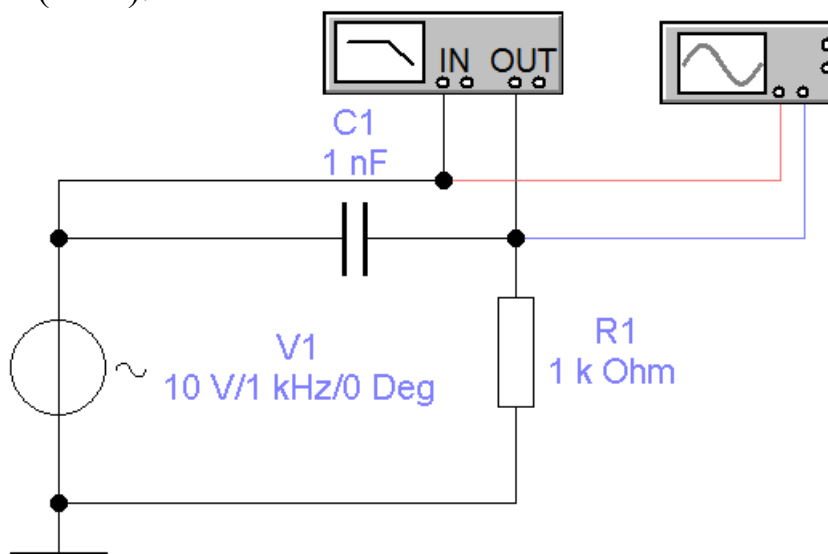


Рис 1.1. Схема дифференцирующей RC цепи

Вычислить по вашим данным расчетную частоту среза фильтра

$$f_{\text{ср расч}} = \frac{1}{2\pi \cdot R1 \cdot C1} = \frac{1}{6.28 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot 10^{-9} \text{ Ф}} = 0,169 \cdot 10^6 \text{ Гц} = 169 \text{ кГц}$$

С помощью осциллографа исследовать форму сигнала на входе и выходе.

С помощью VodePlotter исследовать амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики.

Советы:

Для качественного наблюдения осциллограмм (рис. 1.2) необходимо:

- раскрасить сигнальные провода в разный цвет, что, соответственно, позволит различать сигналы vx1 vx2;
- Выбрать скорость развертки;
- Выбрать усиление в каждом канале;
- Выбрать режим полного экрана, нажав клавишу Expand;

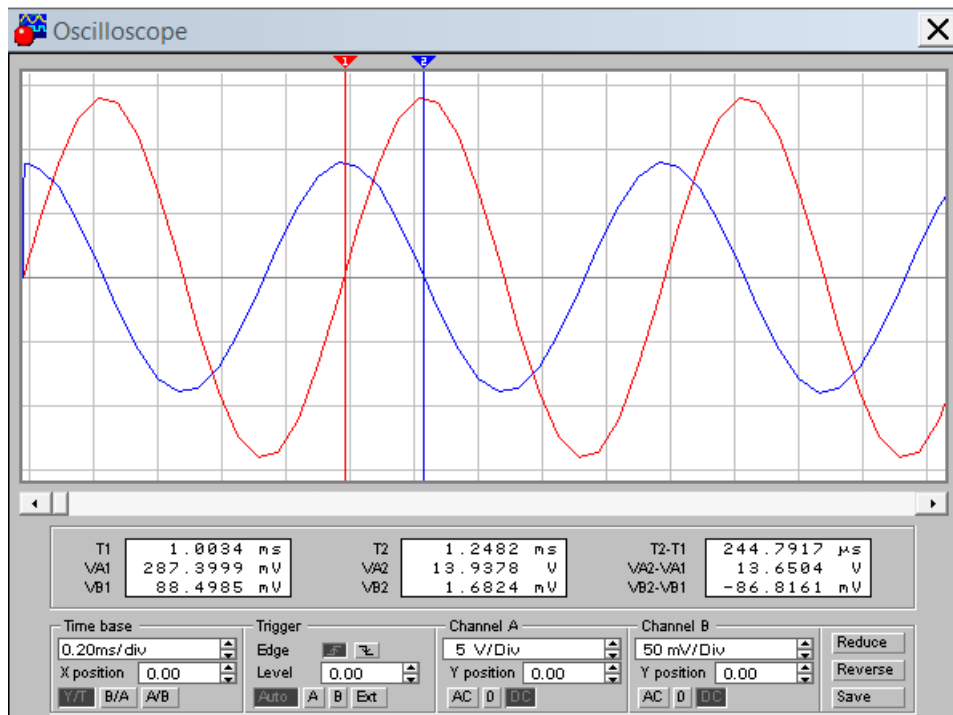


Рис 1.2. Осциллограммы сигналов: кр. – входной; син. – выходной

На исследуемой частоте 1 кГц (период $T=1 \text{ мс}=1000 \text{ мкс}$) наблюдается фазовый сдвиг между входным и выходным сигналом. Для измерения сдвига фазы совместим реперы с максимумами сигналов. В цифровом окне измерим временной интервал $T2-T1=244,8 \text{ мкс}$.

Вычислим величину фазового сдвига

$$\varphi = 360 \frac{T2 - T1}{T} = 360 \cdot \frac{244.8}{1000} = 88,1^\circ$$

Для качественного наблюдения АЧХ (рис 1.3) ограничить диапазон частот (окно F и I).

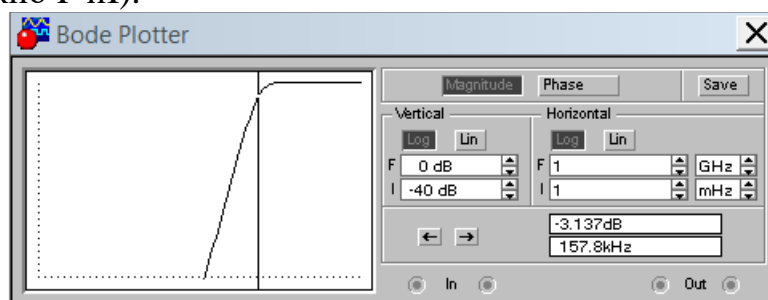


Рис.1.3. АЧХ фильтра

Измеренная частота среза $f_{cp}=157 \text{ кГц}$ неплохо совпадает с расчетной $f_{cp \text{ расч}} = 169 \text{ кГц}$. Ошибка из-за точности установки курсора.

Для качественного наблюдения ФЧХ (рис. 1.4) ограничить диапазон частот (окно F и I).

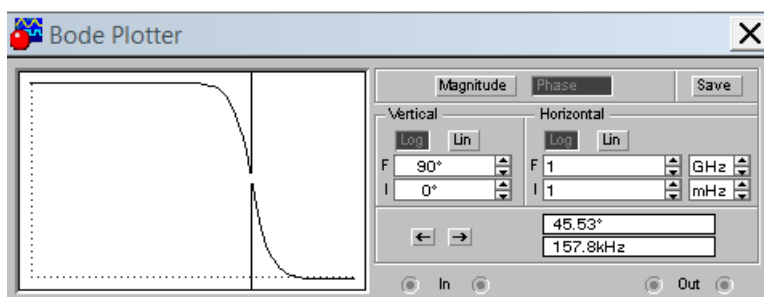


Рис. 1.4. ФЧХ фильтра

По ФЧХ частота среза составила $f_{cp}=157$ кГц

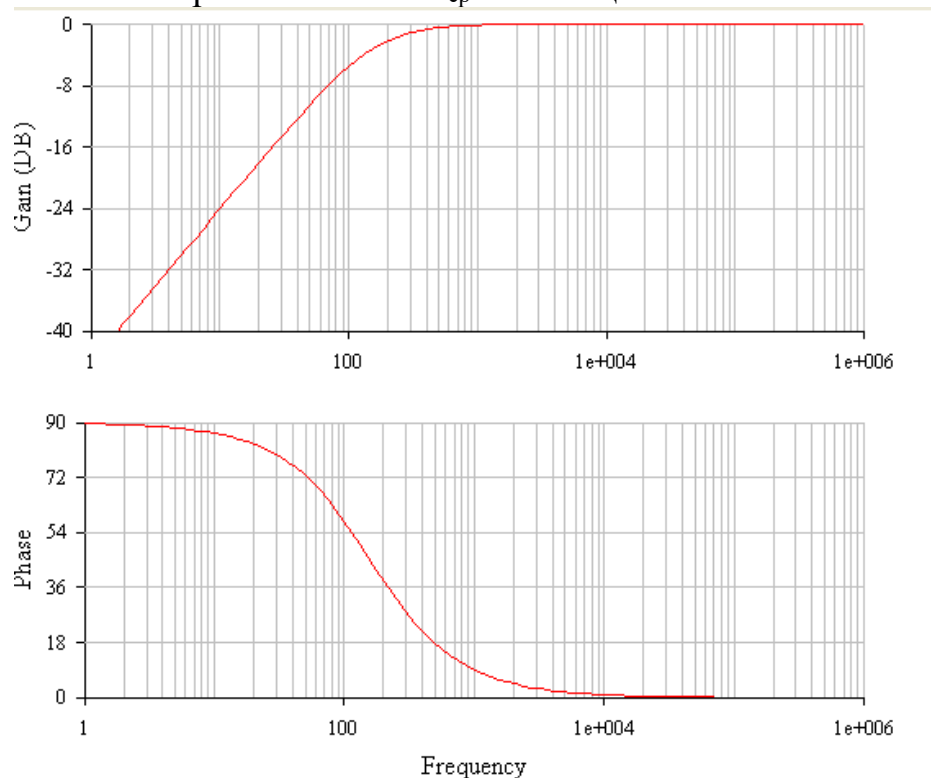


Рис 1.3. Результат моделирования АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RCцепи.

Определить частоту среза f_{cp} и фазовый сдвиг на границе полосы пропускания. Измерить коэффициент передачи фильтра в зоне прозрачности A_0 .

Вывод

Дифференцирующая RC цепь представляет собой фильтр верхних частот (ВЧ):

- коэффициент пропускания фильтра в зоне прозрачности $A_0=1$;
- частота среза фильтра ВЧ $F_{cp}=154$ Гц;
- фазовый сдвиг на границе полосы пропускания $\varphi_{cp}=45^\circ$.

Интегрирующая RCцепь

Собрать схему Рис 3.11 для исследования АЧХ и ФЧХ интегрирующей RCцепочки. Выходным сигналом является напряжение на емкости U_c .

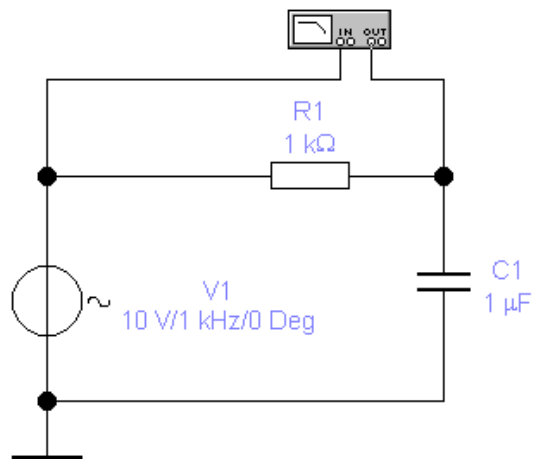


Рис. 1.4. Схема для исследования интегрирующей RC цепи.

Для контроля амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) используется BodePlotter. АЧХ цепи показана на рис 1.4.

Более детальное исследование АЧХ и ФЧХ проведем в режиме Analysis/ACFrequency. Результат моделирования представлен на рис 1.5.

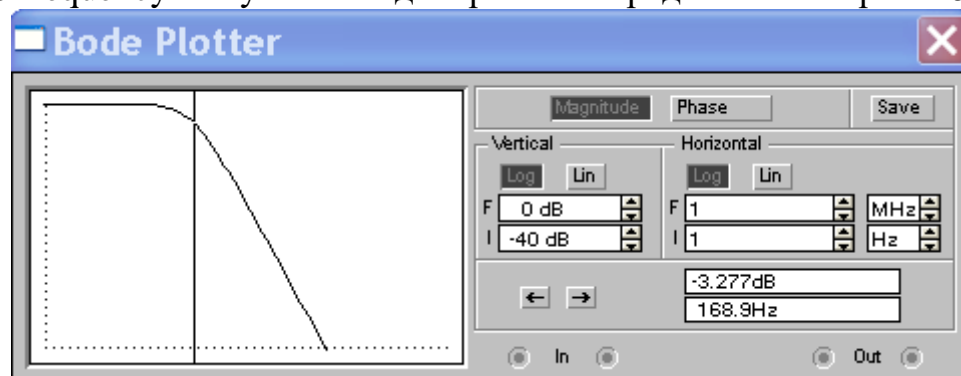


Рис.1.5. BodePlottercАЧХцепи

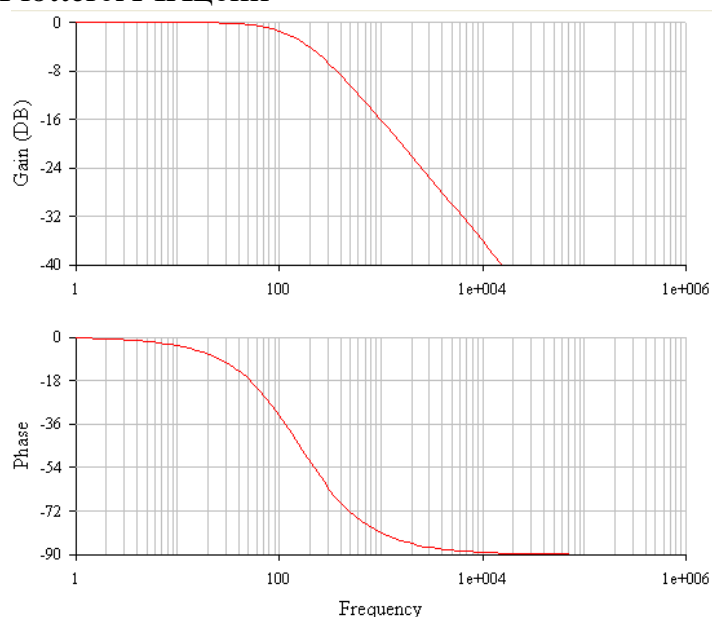


Рис 1.5. Результат моделирования АЧХ и ФЧХ интегрирующей RC цепи

Вывод

Интегрирующая RC цепь представляет собой фильтр нижних частот

(НЧ):

- коэффициент пропускания фильтра в зоне прозрачности $A_0=1$;
- частота среза фильтра НЧ $F_{cp}=154$ Гц;
- фазовый сдвиг на границе полосы пропускания $\varphi_{cp}=45^\circ$.

1.2 Исследование RC цепей на импульсных сигналах

Цель работы - ознакомиться с измерительными приборами, методикой измерения времени импульсных сигналов в RC цепях.

Задание – собрать и отладить указанные ниже схемы (EWB) с параметрами, определяемыми индивидуальным заданием в ПЗ1.

Дифференцирующая RC цепь

Ниже проведен пример исследования дифференцирующей RC цепи с некоторыми параметрами. Источником сигнала является FunctionGenerator из меню Instruments в режиме прямоугольных импульсов.

Выбрать амплитуду и частоту генератора, чтобы на экране осциллографа можно наблюдать продифференцированные импульсы.

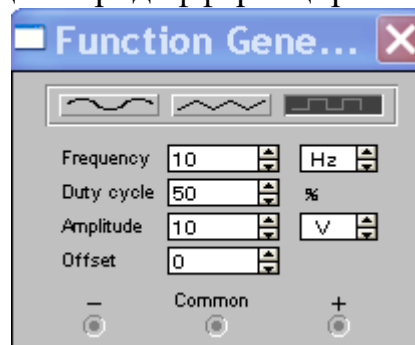


Рис. 2.1. Опции функционального генератора

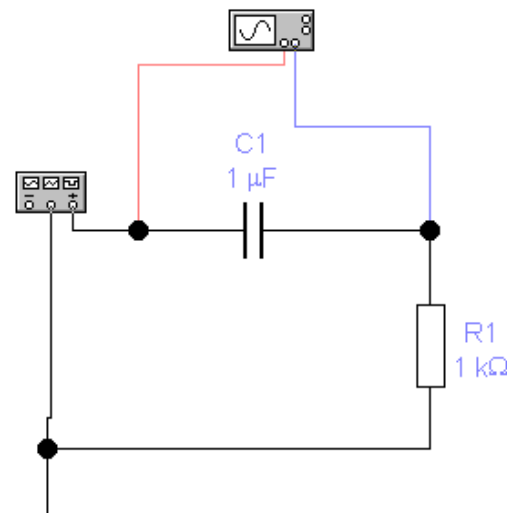


Рис. 2.2. Схема включения дифференцирующей RC цепи

Свойства дифференцирующей RC цепочки зависят от постоянной времени $\tau=RC$ и от соотношения длительности импульса $t_{и}$ и τ . При указанных параметрах схемы $\tau=10^3 \cdot 10^{-6}=10^{-3}$ с.

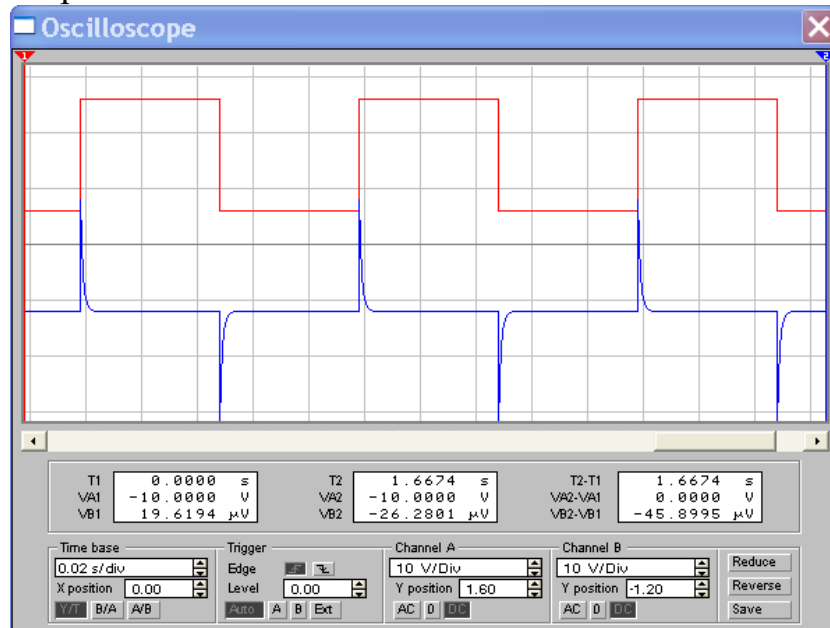


Рис. 2.3. Временная диаграмма для частоты 10 Гц

При частоте следования импульсов $f=10$ Гц, период повторения импульса $T_{и}=1/2f=1/(2 \cdot 10)=5 \cdot 10^{-2}$ с, $T_{и} \gg \tau$. На фронтах входного сигнала формируются короткие импульсы положительной и отрицательной полярности, длительность которых приблизительно равна $t_{и} = \tau$.

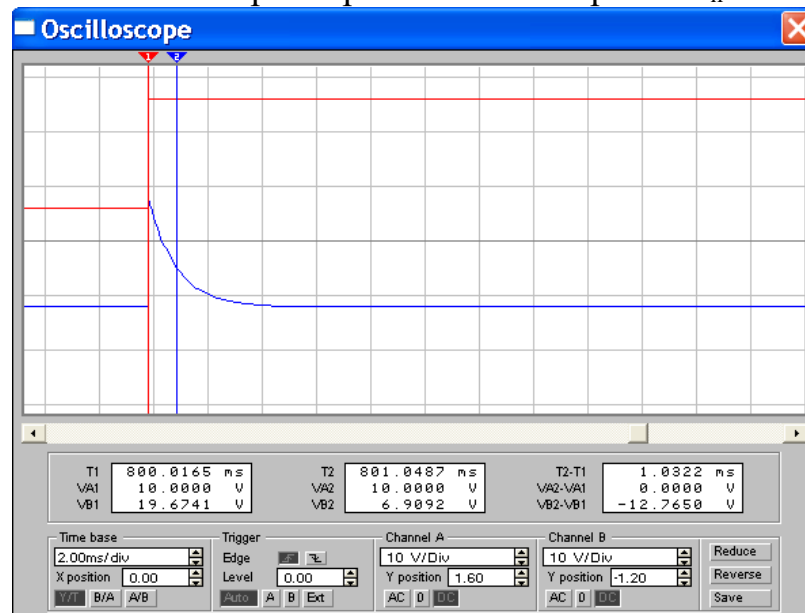


Рис. 2.4. Временная диаграмма для частоты 10 Гц при измерении длительности импульса

Для измерения длительности короткого импульса увеличим скорость развертки (рис 2.5). Реперами измеряем длительность импульса $t_{и}$ на уровне 0.5 от максимального. $t_{и}=1$ мс $=10^{-3}$ с $=RC=10^3 \cdot 10^{-6}$ с.

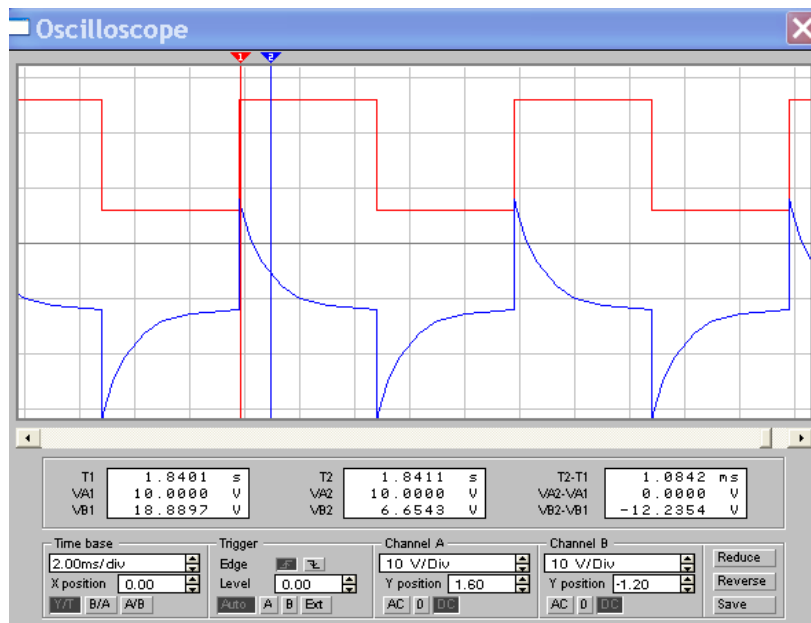


Рис. 2.5. Временная диаграмма для частоты 100 Гц

При увеличении частоты повторения импульсов источника до 100 Гц (т. е. уменьшения длительности входного импульса) длительность выходного импульса остается неизменной $t_{и}=1$ мс. Осциллограмма приведена на рис 2.5.

Дальнейшее увеличение частоты следования импульсов приводит к осциллограмме рис 2.7.

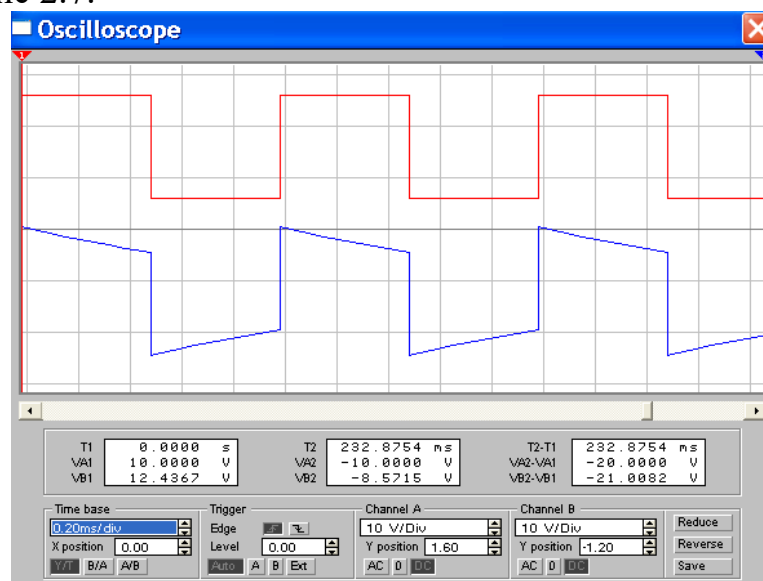


Рис. 2.6. Временная диаграмма для частоты 1000 Гц

На выходе наблюдается импульс, идентичный входному, но с заваленной вершиной. Если частоту увеличить до 10 кГц, форма сигнала на выходе практически повторяет входной сигнал.

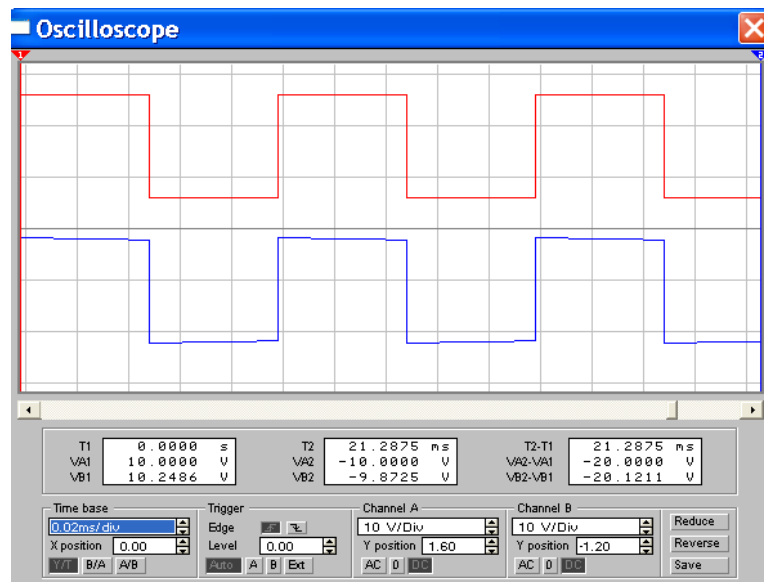


Рис. 2.7. Временная диаграмма для частоты 10000 Гц

Вывод;

- при $t_n \ll \tau$ дифференцирующая цепь ведет себя как формирователь коротких импульсов с длительностью $t_n = \tau = RC$.
- при $t_n \gg \tau RC$ цепь передает прямоугольные импульсы практически без искажения, является разделительной RC цепью, пропускающей переменную и не пропускающей постоянную составляющую сигнала.

Интегрирующая RC цепь.

Источником сигнала является FunctionGenerator из меню Instruments, включенный в режиме прямоугольных импульсов.

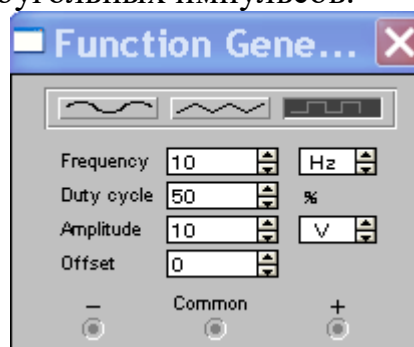


Рис. 2.8. Опции функционального генератора

Ниже приведен пример исследования интегрирующей RC цепочки с некоторыми параметрами.

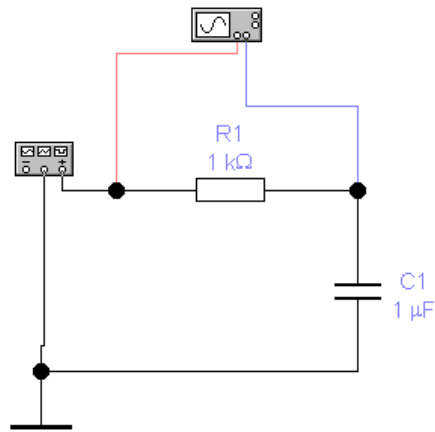


Рис 2.9.Схема включения интегрирующей RC цепи

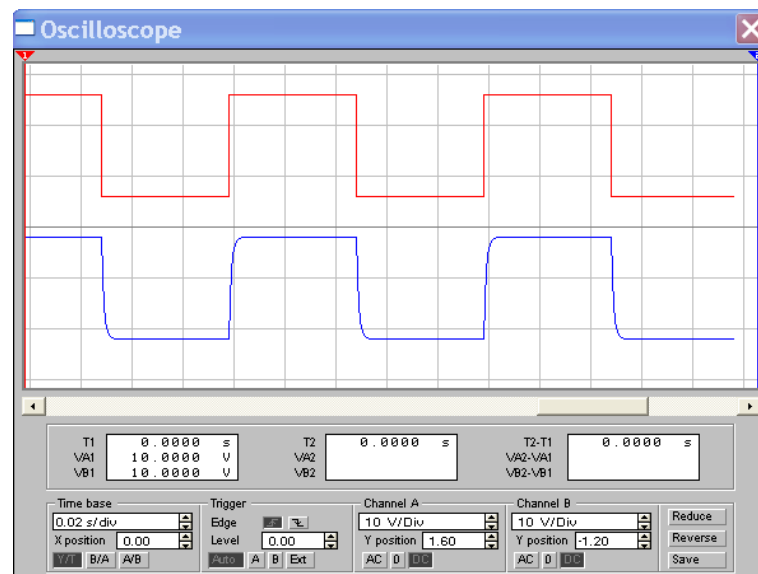


Рис 2.10. Временная диаграмма для частоты 10 Гц

Свойства интегрирующей RC цепи зависят от постоянной времени $\tau=RC$ и от соотношения длительности импульса $t_{\text{и}}$ и τ . При указанных параметрах схемы $\tau=10^3 \cdot 10^{-6}=10^{-3}$ с.

При частоте следования импульсов $f=10$ Гц, длительность импульса составляет $t_{\text{и}}=1/2f=1/(2 \cdot 10)=5 \cdot 10^{-2}$ с, $t_{\text{и}} \gg \tau$. Фронты выходного сигнала заваливаются. Длительность фронтов зависит только от постоянной времени τ и не зависит от длительности и частоты следования импульсов.

Для измерения длительности фронта увеличим скорость развертки (рис 2.11). Реперами измеряем длительность фронта $t_{\text{ф}}$ на уровне от 0.1 до 0.9 от максимального: $t_{\text{ф}}=3 \text{ мс}=3RC$, $t_{\text{и}}=1 \text{ мс}=10^{-3} \text{ с} = RC=10^3 \cdot 10^{-6} \text{ с}$.

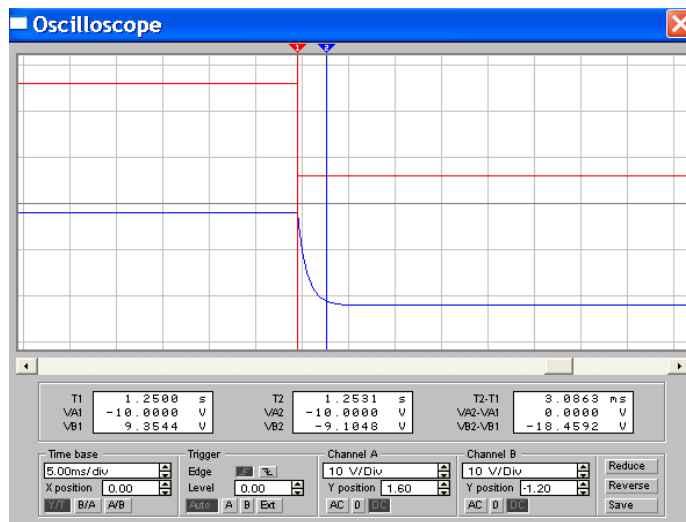


Рис 2.11. Временная диаграмма для частоты 10 Гц при измерении длительности фронта

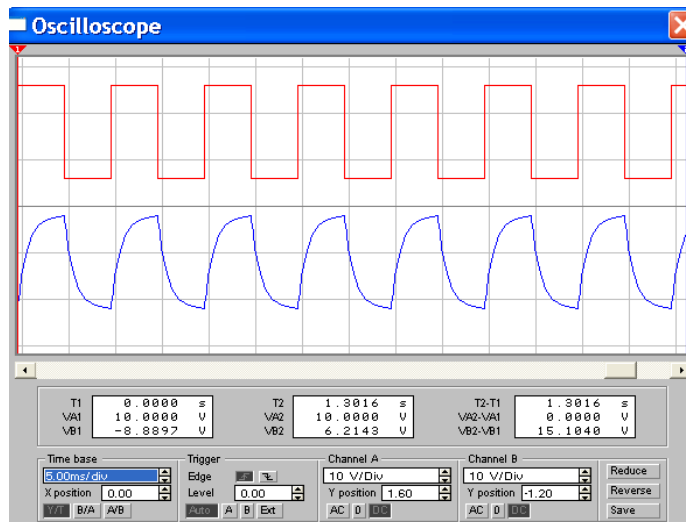


Рис 2.12. Временная диаграмма для частоты 100 Гц

При увеличении частоты источника до 100 Гц (т. е. уменьшения длительности входного импульса) форма выходного импульса существенно изменяется. Осциллограмма приведена на рис. 2.12.

Дальнейшее увеличение частоты следования импульсов приводит к осциллограмме рис 2.13.

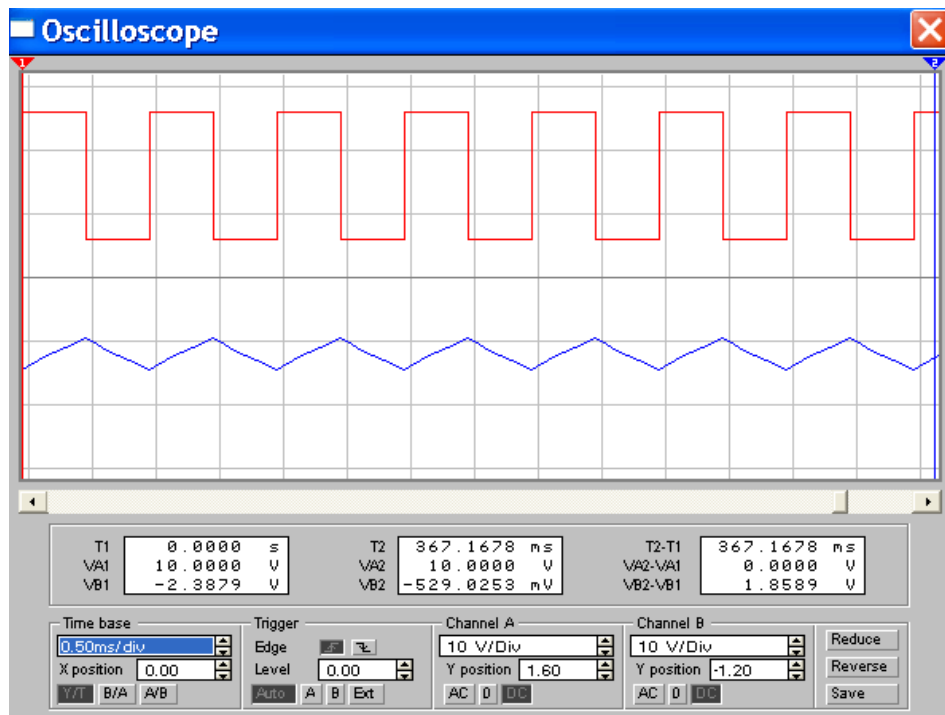


Рис 2.13. Временная диаграмма для частоты 1000 Гц

Сигнал на выходе становится линейно изменяющимся (треугольным), что означает более точное интегрирование входного сигнала.

Выводы;

- при длинных импульсах $t_{\text{и}} \gg \tau_{\text{RC}}$ цепь искажает фронты выходного сигнала $t_{\text{ф}} = 3\text{RC}$;
- при коротких импульсах $t_{\text{и}} \ll \tau_{\text{RC}}$ цепь интегрирует входной импульс, который приобретает треугольную форму. Часто используется в формирователях треугольного напряжения.

Контрольные вопросы

1. Назовите область применения ФНЧ;
2. Назовите область применения ФВЧ;
3. Что такое частота среза в фильтрах? Какое ослабление сигнала на частоте среза?
4. Что такое зона прозрачности фильтра?
5. Как измерить коэффициент передачи фильтра в зоне прозрачности A_0 ;
6. Какой фазовый сдвиг на границе полосы пропускания $\varphi_{\text{ср}}$;
7. Как изменяется импульсный сигнал при прохождении через дифференцирующую RC цепочку;

8. Назовите области применения дифференцирующей RC цепи;
9. Как изменяется импульсный сигнал при прохождении через интегрирующую RC цепочку;
10. Назовите области применения интегрирующей RC цепи;