


Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 12.09.2024 23:36:46
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
« 24 » 09 2024 г.



Моделирование и исследование структурных модулей технических систем

Методические указания по выполнению лабораторной
работы для студентов направления подготовки 11.03.03

УДК 681.51.01

Составители: В.Н. Усенков, Т.А. Ширабакина

Рецензент

Доктор технических наук, профессор *И.Е. Чернецкая*

Моделирование и исследование структурных модулей технических систем: методические указания по выполнению лабораторной работы для студентов направления подготовки 11.03.03/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.Н. Усенков, Т.А. Ширабакина.- Курск, 2024. –62 с.: ил.74, табл.7. – Библиогр.: с.50

Методические указания по выполнению лабораторной работы содержат теоретические сведения по рассматриваемой теме, указания и порядок выполнения работы. Приведено задание и требования к содержанию отчета. Для оценки полученных знаний сформулированы контрольные вопросы.

Методические указания соответствуют Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования направления подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств.

Предназначены для студентов направления подготовки 11.03.03 очной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *24.06.24* Формат
Усл.печ.л. 2,44 . Уч.-изд.л. 3,26 . Тираж *100* Заказ *560* Бесплатно
Юго-Западный государственный университет.
305040, г.Курск, ул 50 лет Октября, 94

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Исследование функциональных элементов в среде EWB	5
2 Построение частотных характеристик простых электрических цепей	13
3 Исследование статических характеристик электронных устройств	24
4 Переходные процессы в САР третьего порядка	34
5 Коррекция частотных характеристик электронных усилителей	38
Список использованных источников	50
Приложение 1 Свойства некоторых функциональных элементов САР	51
Приложение 2 Бланк для построения логарифмических частотных характеристик	61

ВВЕДЕНИЕ

В результате изучения дисциплины должны сформироваться представления о принципах функционирования, пределах устойчивости и качестве техни-

ческих систем, о взаимодействии объектов управления, элементов и технических средств автоматизации, о перспективах развития теории и систем управления в различных областях науки, техники и производства

Улучшение характеристик и качества систем может быть достигнуто введением в систему обратных связей. Как показывает опыт создания устройств с обратными связями, проблемы самовозбуждения и недостаточно качественной передачи сигналов встречаются весьма часто.

Соответственно, на начальных этапах проектирования целесообразно проводить моделирование элементов системы, первичный анализ устойчивости и показателей качества.

Моделирование разрабатываемого устройства может быть осуществлено:

- путем физического создания макета на предполагаемой для производства элементной базе;

- на специализированных аппаратных средствах - аналоговых вычислительных машинах;

- в виртуальной среде специализированного моделирования на цифровой ЭВМ.

Каждый из описанных вариантов имеет достоинства и недостатки. В рамках данной лабораторной работы по ряду причин предпочтение отдано третьему варианту.

Виртуальных сред для моделирования и исследования систем существует достаточно много, например, системы Simulink (MATLAB), SimInTech и MULTISIM.

Выбор MULTISIM (Electronics Workbench) в нашем случае обусловлен желанием проводить моделирование как на стандартных функциональных модулях САР (интегратор, сумматор,...), так и на моделях электронной компонентной базы (транзисторах, микросхемах,...).

Таким образом, лабораторная работа ориентирована на изучение среды Electronics Workbench для построения систем из структурных модулей; изучение свойств структурных модулей систем; исследование свойств простых систем на основе структурных модулей; построение и исследование ЛАЧХ (логарифмических амплитудно-частотных характеристик) и ЛФЧХ (логарифмических фазовых частотных характеристик), являющихся основой для исследования устойчивости и показателей качества системы.

1 ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СРЕДЕ EWB

Цель работы

Освоение среды моделирования электронных схем Electronics Workbench (EWB) в рамках компонентов, предназначенных для симуляции систем автоматического регулирования (САР).

Введение

Программная среда моделирования электронных схем Electronics Workbench (EWB) позволяет создавать модели электронных схем и исследовать их поведение. В аналоговой части EWB доступны как пассивные электронные компоненты (резисторы, конденсаторы и т.п.), так и активные элементы (транзисторы, микросхемы и т.п.). Кроме того, возможно использование измерительных инструментов – вольтметров, амперметров, осциллографа. Тестовые сигналы можно формировать с помощью функционального генератора. Имеются также средства моделирования цифровых схем.

Важной особенностью EWB является наличие элементов построения систем автоматического регулирования (САР), которые могут быть совмещены с измерительными инструментами. Полный набор элементов моделирования САР представлен на вкладке **Controls** (рис.1.1).

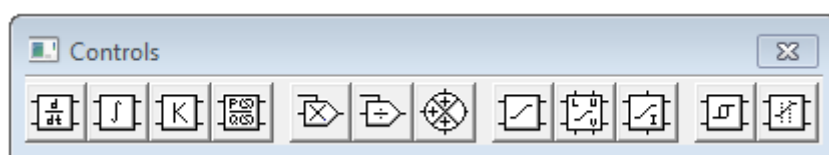


Рисунок 1.1 – Элементы моделирования САР

В рамках данной работы подлежат первичному изучению:

- усилитель;
- сумматор;
- интегратор;
- ограничитель уровня;
- вспомогательные элементы системы моделирования Electronics Workbench.

Указания к выполнению

Большинство элементов имеет четырехконтактную структуру, показанную на рис. 1.2. Левый верхний контакт предназначен для восприятия обрабатываемого сигнала. На правом верхнем контакте формируется выходной сигнал, определяемый функциональным назначением элемента. Оба нижних контакта соединены между собой внутри элемента и являются общим проводом.



Рисунок 1.2 – Обобщенная структурная схема четырехконтактных элементов

На рис. 1.3 показан принцип включения элемента в общую схему. Отметим, что источником и регистратором сигнала может быть и некий другой элемент САР.

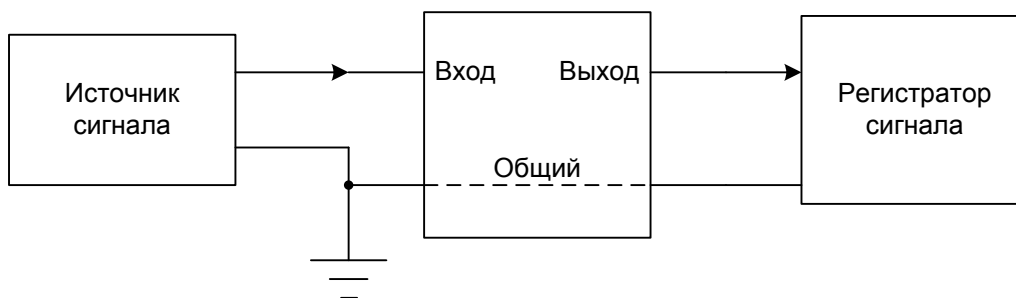


Рисунок 1.3 – Типовая схема подключения элемента

В ходе подготовки, выполнения и защиты работы необходимо изучить теоретический материал, описывающий функционирование элементов [1,4,5], провести исследования переходных характеристик и пояснить полученные результаты.

Порядок выполнения работы

1.1 Исследование усилителя

Исследование усилителя необходимо провести в следующем порядке:

- изучить теоретический материал по усилителю, функциональному генератору и осциллографу (см. соответствующий раздел Приложения 1);
- собрать схему в соответствии с шаблоном (рис.1. 4);
- сформировать функциональным генератором сигнал в соответствии с заданием.

Примечание: если задание не выдано, по умолчанию принять параметры, указанные на рисунке.

- после запуска наблюдать сигналы на входе и выходе с помощью осциллографа и зафиксировать изображения и показания приборов;
- перевести осциллограф в режим **expand** и настроить изображение сигналов таким образом, чтобы можно было различать сигналы. Для этого воспользоваться смещением лучей по вертикали, масштабированием чувствительности каналов (ось Y) и масштабированием развертки (ось X). Пример показан на рис.

5. Зафиксировав изображение осциллографа в отчете, измерить параметры сигналов и привести их значения;

- выполнить расчет коэффициента передачи усилителя на основании измеренных величин;

- изменить в свойствах усилителя значение коэффициента передачи в соответствии с вариантом задания.

Примечание: если задание не выдано, по умолчанию принять коэффициент равным 20.

- повторить ранее перечисленные пункты для нового значения коэффициента передачи.

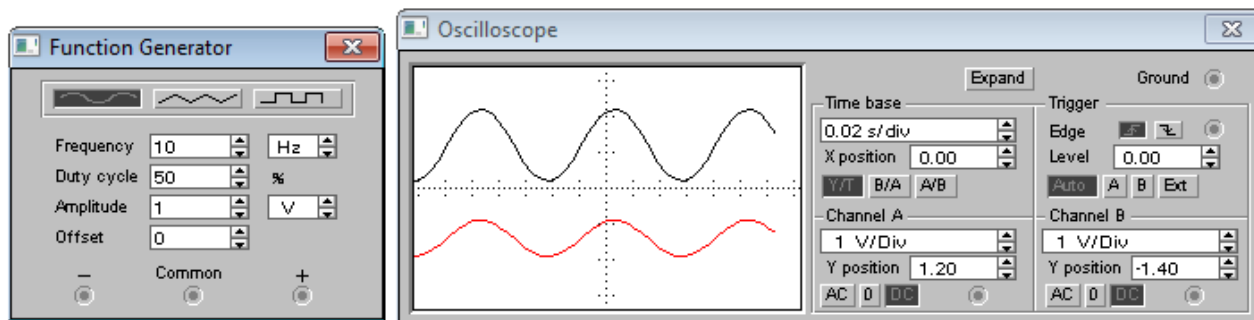
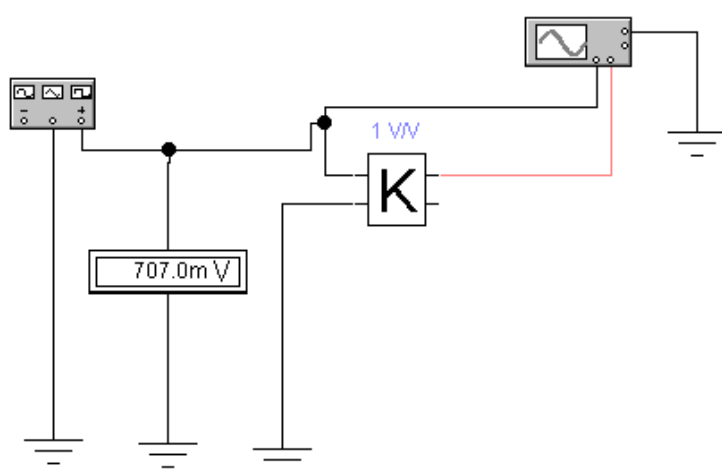


Рисунок 1.4 – Типовая схема исследования усилителя

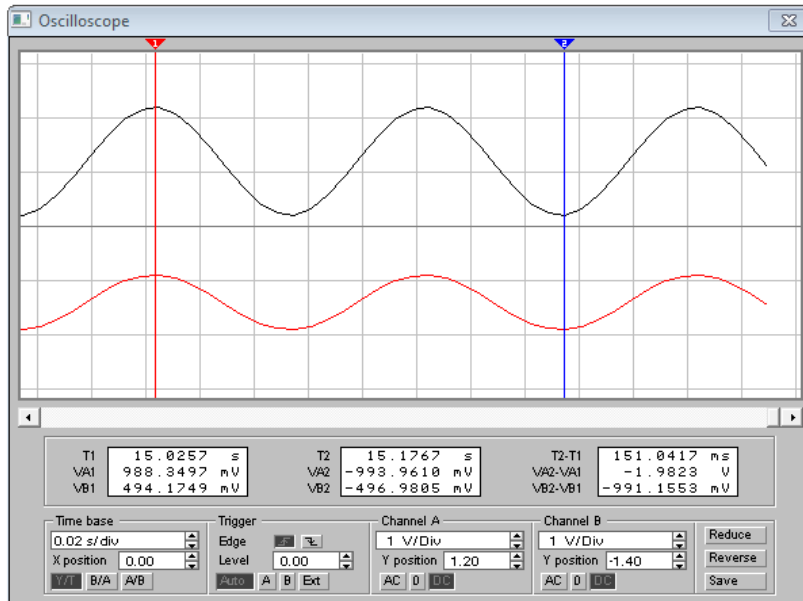


Рисунок 1.5 – Пример настройки параметров осциллографа в режиме Expand

1.2 Исследование сумматора

Исследование усилителя необходимо выполнить в следующем порядке:

- изучить теоретический материал по сумматору (см. соответствующий раздел Приложения 1).
- собрать схему в соответствии с шаблоном (рис. 1.6);
- задать полярность и значение напряжения U_1 в соответствии с вариантом задания (таблица 1.1).

Примечание: если задание не выдано, по умолчанию принять значения, указанные на рисунке.

- после запуска наблюдать сигналы на входе и выходе с помощью осциллографа и зафиксировать изображения и показания приборов;
- по результатам измерений убедиться в правильности работы сумматора, зафиксировав все расчеты в отчете;
- настроить вход А сумматора в режим инверсии сигнала и повторить ранее перечисленные пункты. Зафиксировать в отчете все выполненные действия и изображения.

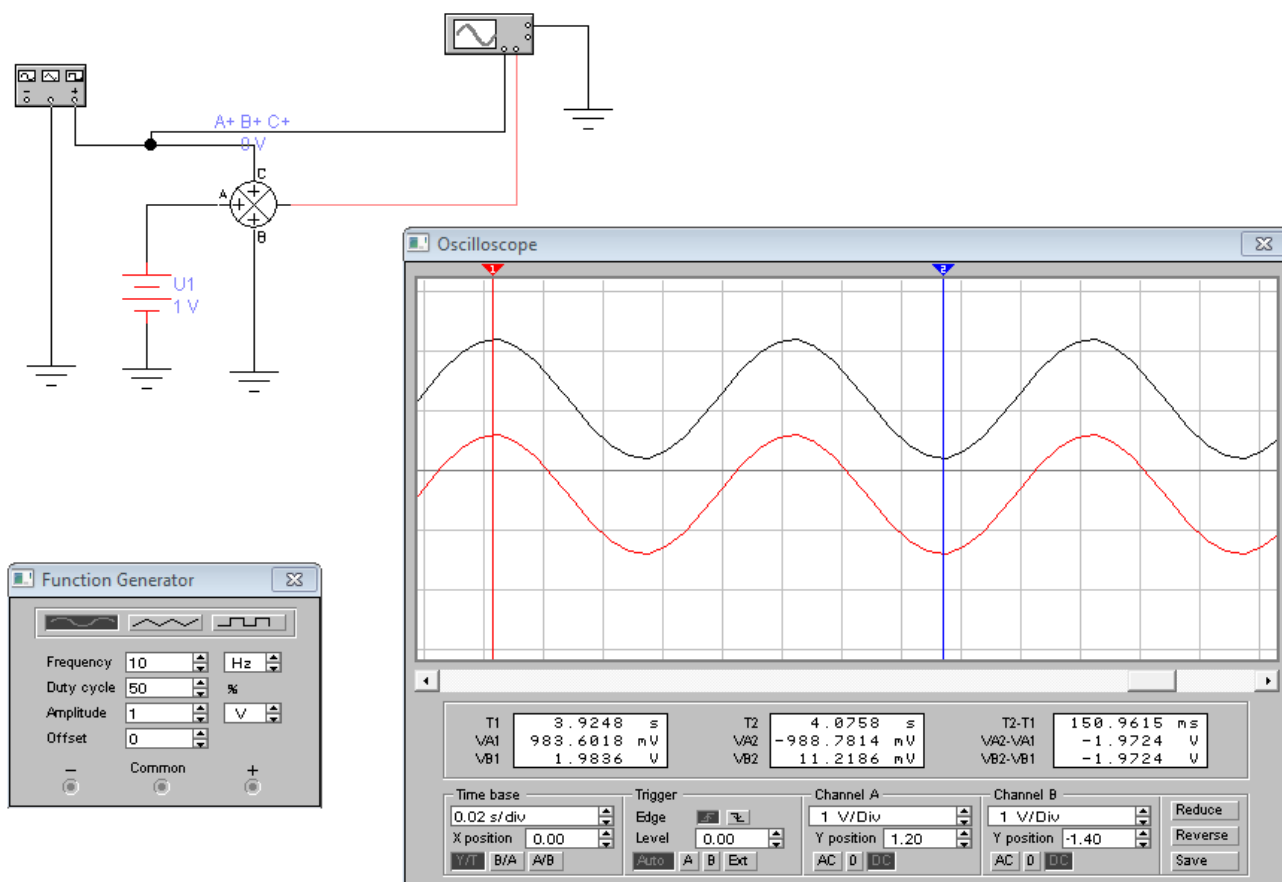


Рисунок 1.6 - Типовая схема исследования сумматора

Таблица 1.1 - Варианты заданий для исследования сумматора

№	Вид сигнала	Uвх	U1	Ka	Kb	Kc
1	Синусоидальный	1,5	1	1	-2	3
2	Треугольный	1,6	1	1	2	3
3	Прямоугольный	1,7	1	1	-2	3
4	Синусоидальный	1,8	1	1	2	3
5	Треугольный	1,9	1,5	1	-2	3
6	Прямоугольный	2,0	1,5	2	1	3
7	Синусоидальный	2,1	1,5	2	-1	3
8	Треугольный	2,2	1,5	2	1	3
9	Прямоугольный	2,3	-1	3	-2	1
10	Синусоидальный	2,4	-1	3	2	1
11	Треугольный	2,5	-1	3	-2	1
12	Прямоугольный	2,6	-1	3	2	1
13	Синусоидальный	2,7	-1,5	3	-1	2
14	Треугольный	2,8	-1,5	3	1	2
15	Прямоугольный	2,9	-1,5	2	-2	2
16	Треугольный	1.0	-1,5	2	1	1

1.3 Исследование интегратора

Исследование интегратора необходимо выполнить в следующем порядке:

- изучить теоретический материал по интегратору (см. соответствующий раздел Приложения 1);
- собрать схему в соответствии с шаблоном (рис. 1.7);
- задать параметры исследуемого сигнала в соответствии с вариантом задания.

Примечание: если задание не выдано, по умолчанию принять следующие значения: *двуполярный симметричный прямоугольный сигнал амплитудой 1V*;

- после запуска наблюдать сигналы на входе и выходе с помощью осциллографа и зафиксировать изображения и показания приборов для занесения в отчет;
- по результатам измерений убедиться в правильности работы интегратора, зафиксировав все расчеты в отчете;
- изменить форму сигнала на треугольную и повторить исследование;
- изменить форму сигнала на синусоидальную и повторить исследование.

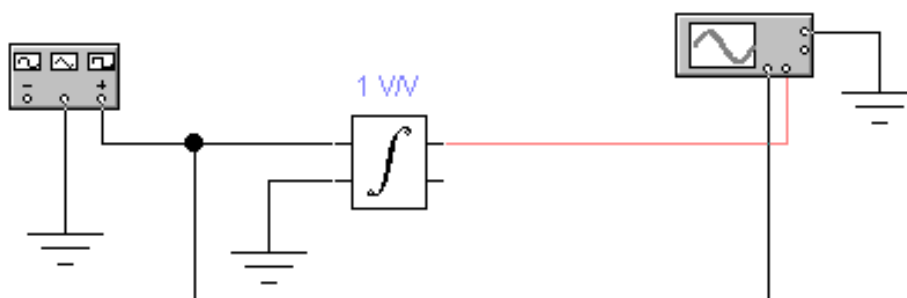


Рисунок 1.7 - Схема для исследования интегратора

1.4 Исследование перемножителя

Исследование элемента выполняется в следующем порядке:

- изучить теоретический материал по перемножителю (см. соответствующий раздел Приложения 1);
- собрать схему в соответствии с шаблоном (рис. 1.8);
- задать параметры исследуемого сигнала в соответствии с вариантом задания (таблица 1.2)

Примечание: если задание не выдано, по умолчанию принять значения из рисунка.

- после запуска наблюдать сигналы на входе и выходе с помощью осциллографа и зафиксировать изображения и показания приборов для занесения в отчет;
- по результатам измерений убедиться в правильности работы перемножителя, зафиксировав все расчеты в отчете;
- изменить коэффициент передачи перемножителя в соответствии с вариантом задания

Примечание: если задание не выдано, по умолчанию принять значения коэффициента равным 5.

- повторить ранее перечисленные пункты для нового значения коэффициента передачи.

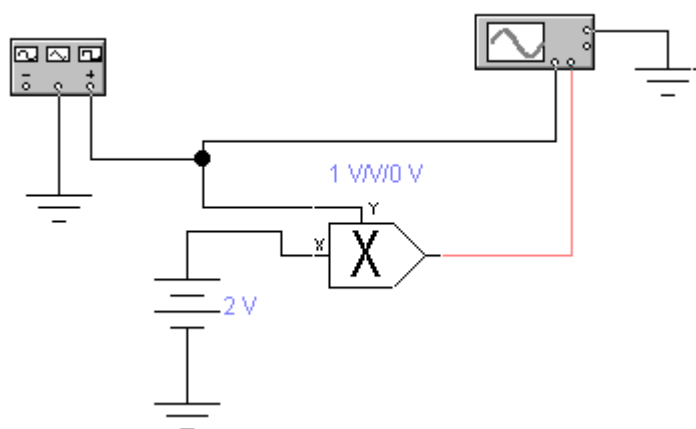


Рисунок 1.8 - Схема для исследования перемножителя

Таблица 1.2 - Варианты заданий для исследования перемножителя

№	Вид сигнала	Uвх	U1	K1	K2
1	Синусоидальный	1,5	1	1	-2
2	Треугольный	1,6	1	1	2
3	Прямоугольный	1,7	1	1	-2
4	Синусоидальный	1,8	1	1	2
5	Треугольный	1,9	1,5	1	-2
6	Прямоугольный	2,0	1,5	2	1
7	Синусоидальный	2,1	1,5	2	-1
8	Треугольный	2,2	1,5	2	1
9	Прямоугольный	2,3	-1	3	-2
10	Синусоидальный	2,4	-1	3	2
11	Треугольный	2,5	-1	3	-2
12	Прямоугольный	2,6	-1	3	2
13	Синусоидальный	2,7	-1,5	3	-1
14	Треугольный	2,8	-1,5	3	1
15	Прямоугольный	2,9	-1,5	2	-2
16	Треугольный	1.0	-1,5	2	1

1.5 Исследование ограничителя уровня сигнала

Исследование ограничителя уровня сигнала выполнить в следующем порядке:

- изучить теоретический материал по ограничителю (см. соответствующий раздел Приложения 1);
- собрать схему в соответствии с шаблоном (рис. 1.9);
- задать параметры исследуемого сигнала в соответствии с вариантом задания

Примечание: если задание не выдано, по умолчанию принять следующие значения: синусоидальный сигнал амплитудой 2V, порог ограничения 1V.

- после запуска наблюдать сигналы на входе и выходе с помощью осциллографа и зафиксировать изображения и показания приборов для занесения в отчет;
- по результатам измерений убедиться в правильности работы ограничителя уровня сигнала, зафиксировав все расчеты и изображения в отчете;
- изменяя величину порога, найти границу ограничения сигнала, зафиксировав все расчеты и изображения в отчете.

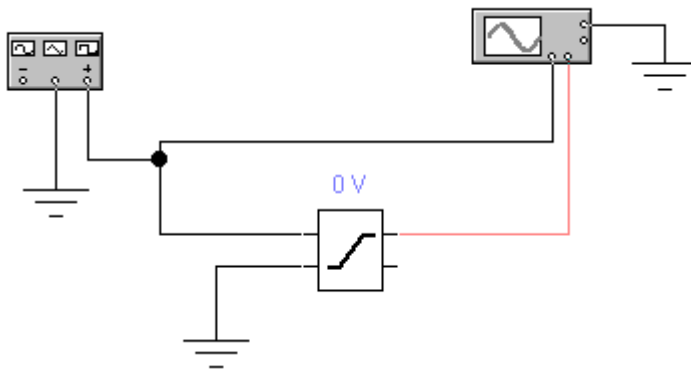


Рисунок 1.9 - Схема для исследования ограничителя уровня сигнала

Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

- титульный лист по стандарту университета;
- название и цель работы;
- вариант задания;
- описание каждого выполненного шага работы с поясняющими рисунками, на которых зафиксированы схемы, диаграммы, параметры настройки оборудования;
- расчеты, начиная с формул и их результаты;
- выводы о соответствии эксперимента и теоретических данных;
- заключение.

Контрольные вопросы

1. Перечислите функциональные элементы САР, доступные в системе моделирования
2. Как расширить количество входов сумматора?
3. Как реагирует интегратор на синусоидальный сигнал?
4. Как реагирует интегратор на прямоугольный сигнал?
5. Для чего используется ограничитель уровня сигнала?
6. Что будет на выходе перемножителя при подаче на входы одного и того же сигнала?

2 ПОСТРОЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОСТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

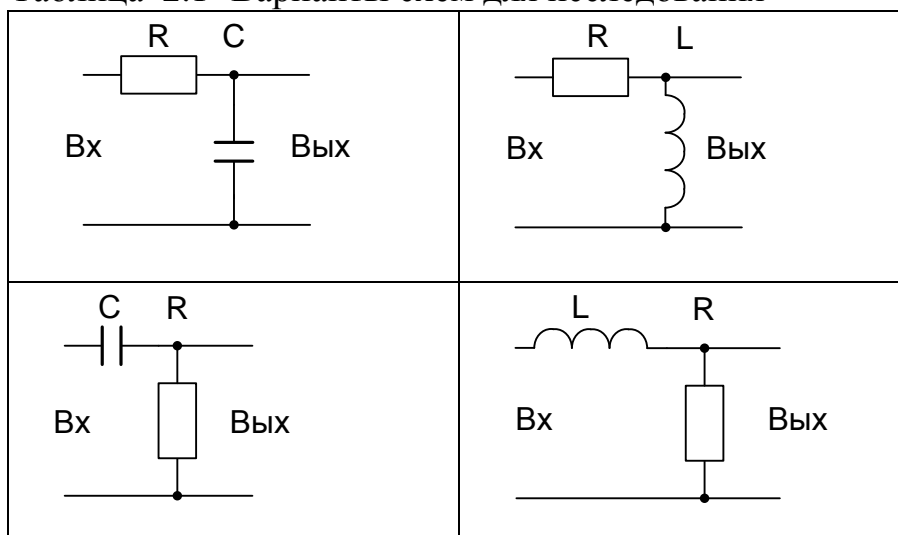
Цель работы

Изучение способов построения частотных характеристик, приобретение навыков их построения, исследование характеристик простых цепей, содержащих один частото независимый и один частото зависимый элемент. Ввиду важности темы для понимания дальнейшего материала особое внимание следует уделить закреплению полученных знаний, умений и навыков.

Введение

Исследованию подлежат простейшие цепи, приведенные в таблице 2.1. Более сложные схемы часто могут быть представлены как комбинация исследуемых цепей.

Таблица 2.1- Варианты схем для исследования



Варианты заданий приведены в таблице 2.2. Кроме того, возможны индивидуальные варианты по указанию преподавателя.

В работе предусмотрено изучение трех способов построения частотных характеристик (ЧХ). Каждый из этих способов применяется в практической деятельности разработчиков электронных устройств в зависимости от сложившихся условий и характера задач.

Таблица 2.2 - Варианты заданий

№	R, kOhm	C, μ F	L, H	Цепи для исследования
1	2	0,5	2,0	RC, CR
2	3	0,75	1,5	RC, RL
3	4	0,2	1,0	RL, LR
4	5	0,1	0,5	RL, RC
5	20	0,05	0,20	LR, CR

№	R, kOhm	C, μ F	L, H	Цепи для исследования
6	30	0,075	0,15	RC, CR
7	40	0,02	0,10	RC, RL
8	50	0,01	0,05	RL, LR
9	4	0,2	1,0	RL, RC
10	5	0,1	0,5	LR, CR
11	20	0,05	0,20	RC, CR
12	30	0,075	0,15	RC, RL
13	40	0,02	0,10	RL, LR
14	3	0,75	1,5	RL, RC
15	4	0,2	1,0	LR, CR

2.1 Построение частотных характеристик вручную

Пояснения к процедуре построения ЧХ

Схема, для которой осуществляется построение ЧХ, включается между источником сигнала (функциональный генератор XFG1) и средствами регистрации сигнала (осциллограф и вольтметр), как показано на рис.2.1.

Замечание: вольтметр необходимо настроить для работы на переменном токе

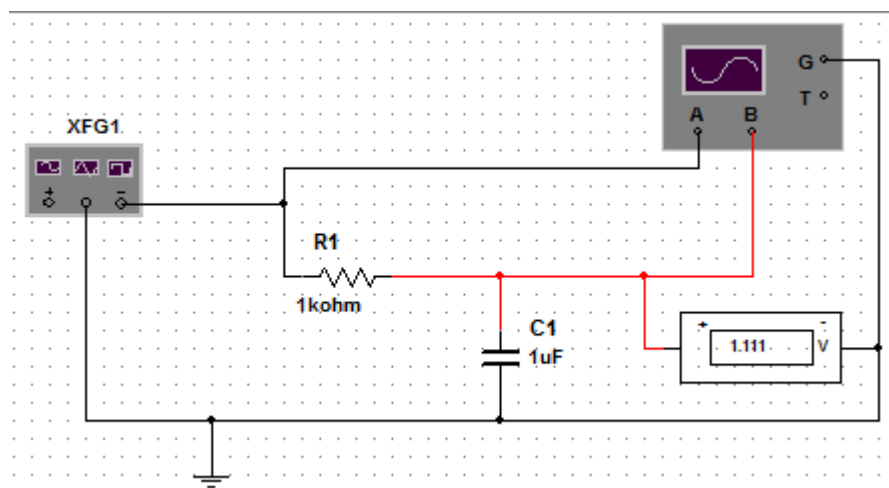


Рисунок 2.1 - Схема исследования RC-цепи

Исследование заключается в установке нескольких частот входного сигнала. Для установки частоты используются свойства функционального генератора. На рис. 2.2 установлены:

- частота 1kHz;
- амплитуда 10V;
- синусоидальная форма сигнала.

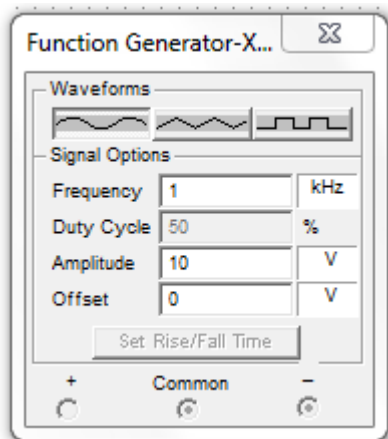


Рисунок 2.2 - Настройка параметров генератора для фиксированной частоты

После запуска схемы осциллограф настраивается на удобное наблюдение сигнала с целью выполнения измерений параметра сигнала.

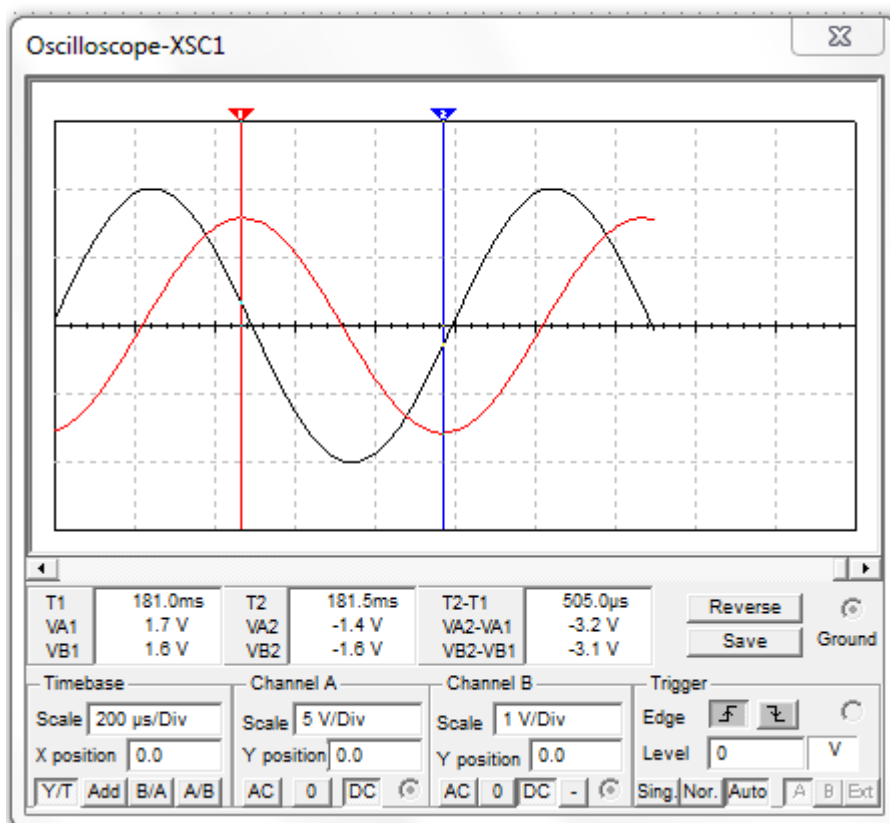


Рисунок 2.3 - Установка маркеров для расчета амплитуды выходного сигнала

На рис. 2.3 показана установка маркеров для измерения **двойной амплитуды** выходного сигнала.

На рис. 2.4 показана установка маркеров для измерения времени запаздывания выходного сигнала относительно входного, что позволит рассчитать сдвиг фаз между ними.

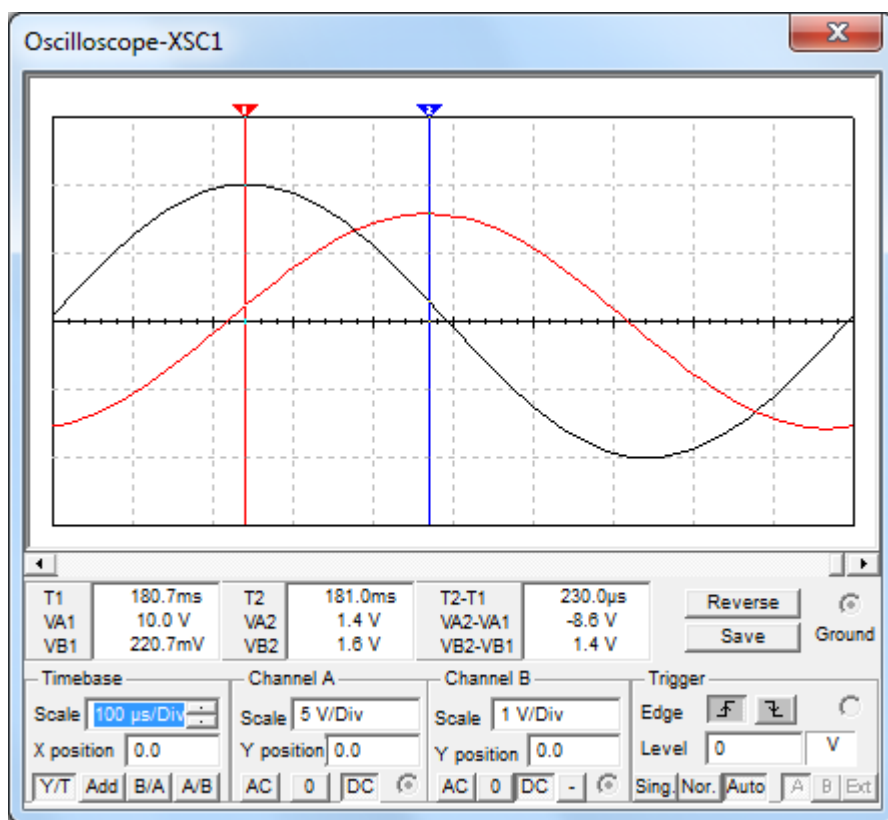


Рисунок 2.4 - Установка маркеров для расчета сдвига фаз

Задание

1. Ознакомиться с постановкой задачи и исходными данными.
2. Собрать схему в соответствии с вариантом для исследования в среде EWB, задав параметры примененных компонентов.
3. Проверить правильность функционирования схемы. Зарисовать временные диаграммы для входа и выхода исследуемой схемы.
4. Определить частотные свойства схемы, изменяя частоту входного сигнала и наблюдая форму сигнала на выходе. Зафиксировать эюры сигнала в характерных точках.

Для построения АЧХ необходимо заполнить таблицу 2.3.

Таблица 2.3 - Результаты исследования АЧХ при $U_{вх}=1V$

№	Частота, Hz	$U_{вых}$, mV (ампл.)	$U_{вых}$, mV (эфф.)	K_u

Для построения ФЧХ необходимо заполнить таблицу 2.4.
Таблица 2.4 - Результаты исследования ФЧХ при $U_{вх}=1V$

№	Частота, Hz	Период, ms	Время опережения / запаздывания, ms	Сдвиг фаз, °

Количество частотных отметок зависит от конкретного варианта. Измерение амплитуды и данных для расчета фазового сдвига осуществляется одновременно для каждой используемой частоты.

Графы K_u и Сдвиг фаз – расчетные, их следует заполнить по окончании исследований на основе собранных данных.

Графики необходимо построить на бланке, приводимом в Приложении.

Указания к выполнению

При сборе схемы в EWB следует стремиться к поэтапному ее наращиванию, убеждаясь в работоспособности промежуточных вариантов.

При использовании осциллографа целесообразно пользоваться обоими его каналами, наблюдая одновременно входной и выходной сигналы. Для удобства наблюдения следует сместить лучи каналов осциллографа так, чтобы сигналы не перекрывались. Кроме того, удобно задать разный цвет для каждого луча (опция задания цвета для цепей электрической схемы).

Напряжение для исследования приводимых схем должно иметь синусоидальную форму. Величину напряжения можно задать в диапазоне 1...10V.

При снятии частотных зависимостей необходимо выбрать достаточное количество точек (вариаций частоты входного сигнала), чтобы график в отчете характеризовал свойства исследуемой цепи.

При выборе частот следует ориентироваться на частоту, определяемую по формулам:

$$f=1/(2*\pi*R*C), \text{ - для RC и CR цепей;} \quad (1)$$

или

$$f=R/(2*\pi*L), \text{ - для RL и LR цепей,} \quad (2)$$

где f - частота; R - сопротивление резистора; C - емкость конденсатора; L – индуктивность катушки; $\pi = 3,1415$.

Для построения характеристик необходимо выбрать **не менее** 5 точек с частотой, меньшей расчетной, и не менее 5 точек с частотой, большей расчетной. Минимальное и максимальное значение частоты должно отличаться от расчетной частоты на 3 декады (в 1000 раз) и для большинства случаев это диапазон 1Hz – 1MHz.

Контрольные вопросы к разделу «Построение частотных характеристик вручную»

1. Как зависит амплитуда выходного сигнала от частоты входного сигнала для каждой из исследованных схем?
2. Влияет ли амплитуда входного сигнала на частотные свойства схем?
3. Что характеризует частота, рассчитанная с помощью формул (1) и (2)?
4. Можно ли использовать для исследования частотных свойств сигнал несинусоидальной формы?

2.2 Построение упрощенных асимптотических частотных характеристик (диаграмм Боде)

Трудоемкость ручного построения ЧХ очевидна. С целью ускорения проведения оценочных суждений была предложена методика упрощенного построения графиков (диаграмм Боде).

Для построения АЧХ простых RC - RL цепей следует рассчитать частоту излома по формулам:

$$f=1/(2*\pi*R*C),$$

или

$$f=R/(2*\pi*L),$$

где f - частота; R - сопротивление резистора; C - емкость конденсатора; L - индуктивность катушки; $\pi = 3,1415$.

Далее, на бланке с *логарифмическим масштабом по обеим осям* отмечают точку, соответствующую максимальной амплитуде сигнала на выходе. Для цепи с интегрирующими свойствами проводят горизонтальную прямую левее этой точки и прямую, убывающую с наклоном 20 dB/dec (20 децибел на декаду), правее этой точки (рисунок 2.5, верхний график).

Для цепи с дифференцирующими свойствами горизонтальная прямая идет правее точки, а наклонная – левее.

Фазовая характеристика представляет скачок на 90° на частоте излома. Знак скачка зависит от того, дифференцирующими или интегрирующими свойствами обладает исследуемая цепь. Для цепи с интегрирующими свойствами приведена иллюстрация на рисунке 2.5, на нижнем графике.

Задание

1. В соответствии с ранее исследованным вариантом построить диаграммы Боде для всех случаев. Построения произвести на бланках с логарифмическим масштабом (Приложение 2).
2. Сравнить диаграммы Боде с результатами ручного построения и сделать выводы.

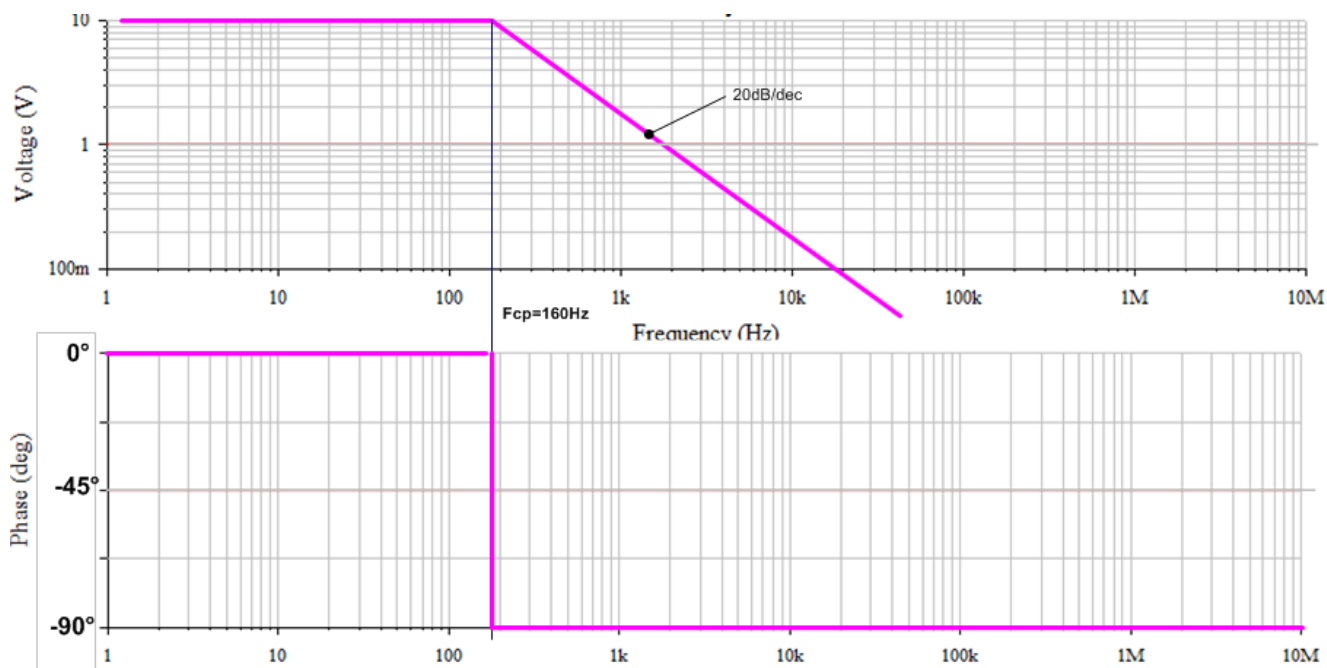


Рисунок 2.5 - Диаграмма Боде для RC цепи

Контрольные вопросы к разделу "Построение упрощенных асимптотических частотных характеристик"

1. Почему удобен логарифмический масштаб при построении графиков ЧХ?
2. Почему необходим логарифмический масштаб при построении диаграмм Боде?
3. На какой частоте диаграмма Боде максимально отличается от реальной АЧХ?
4. Приведите количественную оценку максимальной величины отклонения упрощенной диаграммы от реальной.

2.3 Построение частотных характеристик с помощью инструмента AC Analyses

При исследованиях ЧХ в натуральных экспериментах часто приходится снимать графики в ручном режиме. В ряде случаев возможно использование специального (дорогостоящего) оборудования для снятия ЧХ.

На этапе начального проектирования использование моделей и средств моделирования многократно упрощает эту задачу.

Рассмотрим основные шаги автоматического построения графиков АЧХ в EWB (multisim)).

С целью удобства предварительно целесообразно подключить механизм отображения номеров цепей в исследуемых схемах в соответствии рисунком 2.6 (опция Show node names).

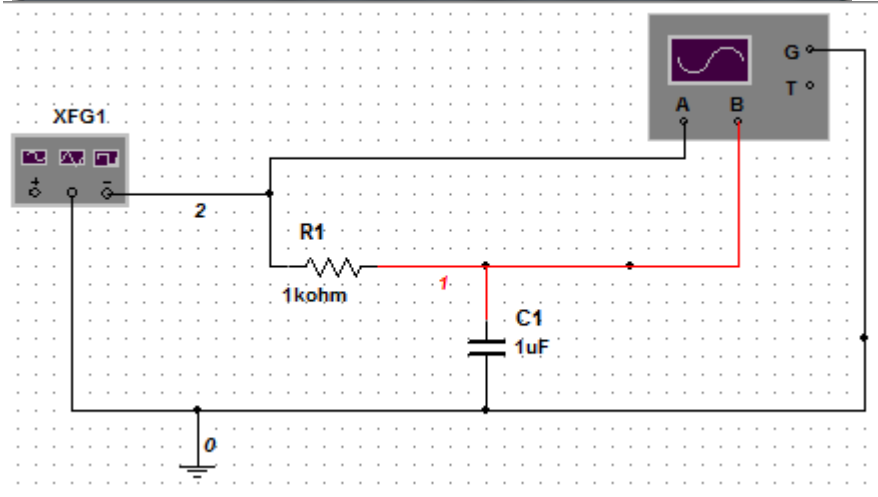
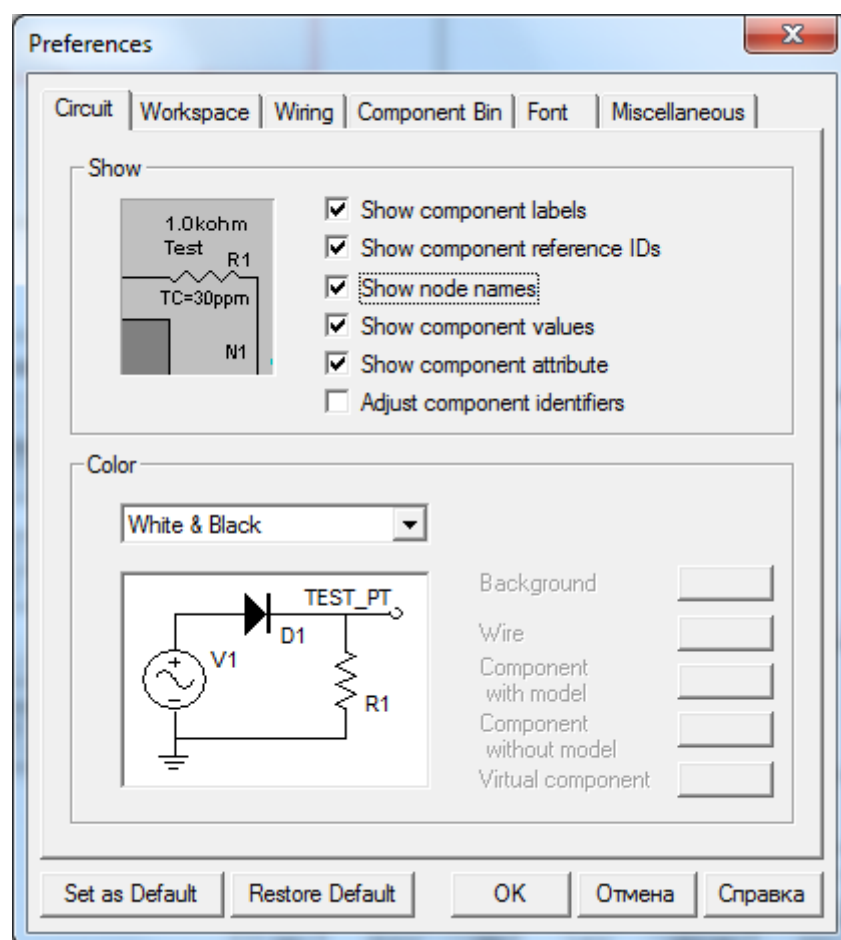


Рисунок 2.6 - Опция прописывания номеров цепей на схеме

Вызов инструмента для построения ЧХ осуществляется через меню в соответствии с рисунком 2.7.

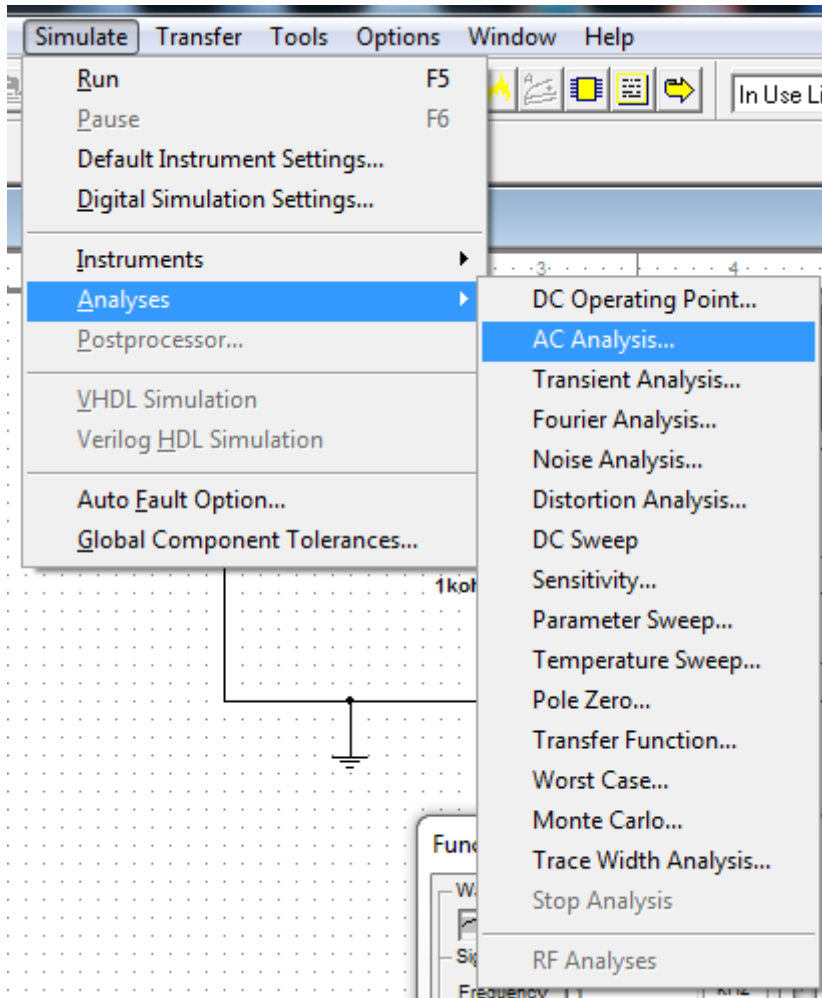


Рисунок 2.7 - Вызов инструмента расчета частотных характеристик

Перед осуществлением построения необходимо задать диапазон частот, для которого актуально построение ЧХ в каждом конкретном случае. На рисунке 2.8 показано, как задать диапазон 1 Hz – 10 MHz.

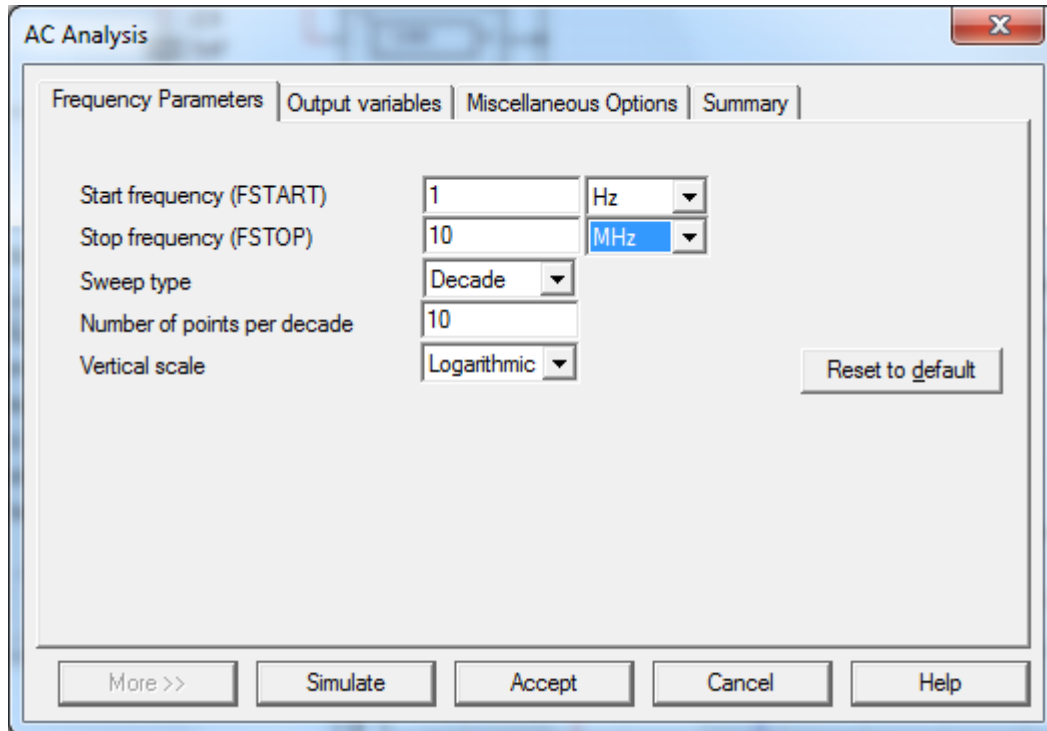


Рисунок 2.8 - Настройка параметров частотных характеристик

Обязательным условием является задание номера цепи схемы, для которого строится ЧХ (рисунок 2.9).

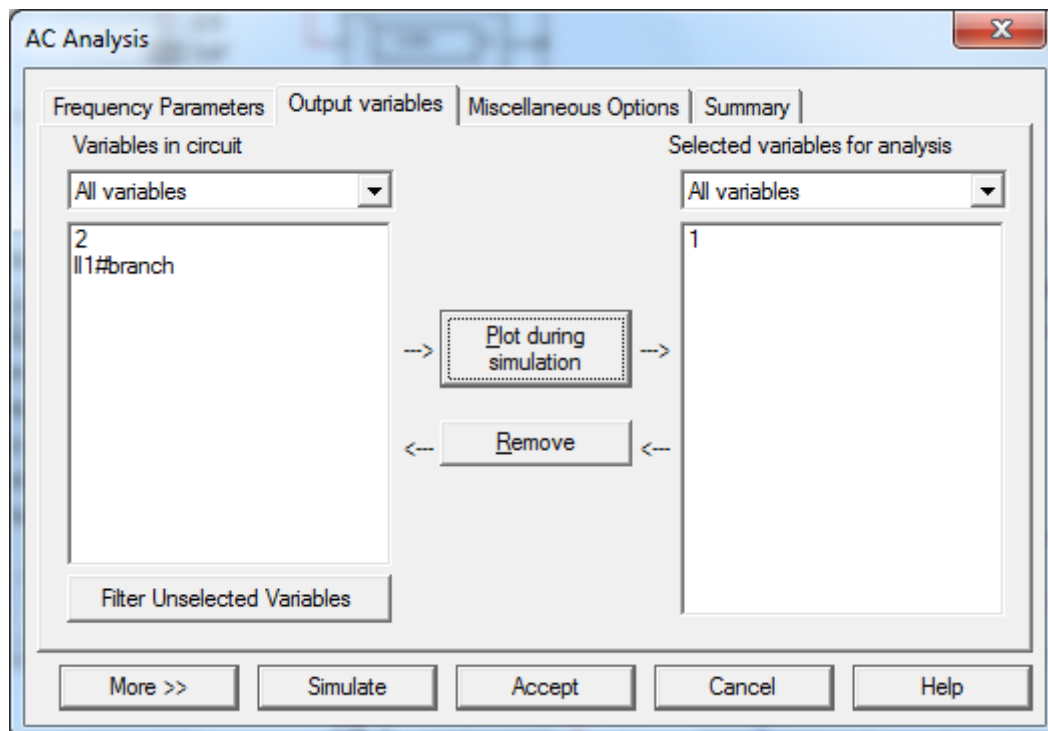


Рисунок 2.9 - Выбор цепи для построения ЧХ

Нажатие "кнопки" Simulate приводит к появлению окна с готовыми частотными характеристиками.

На рисунке 2.10 приведены ЛАЧХ и ЛФЧХ для RC цепи, использованной в качестве примера.

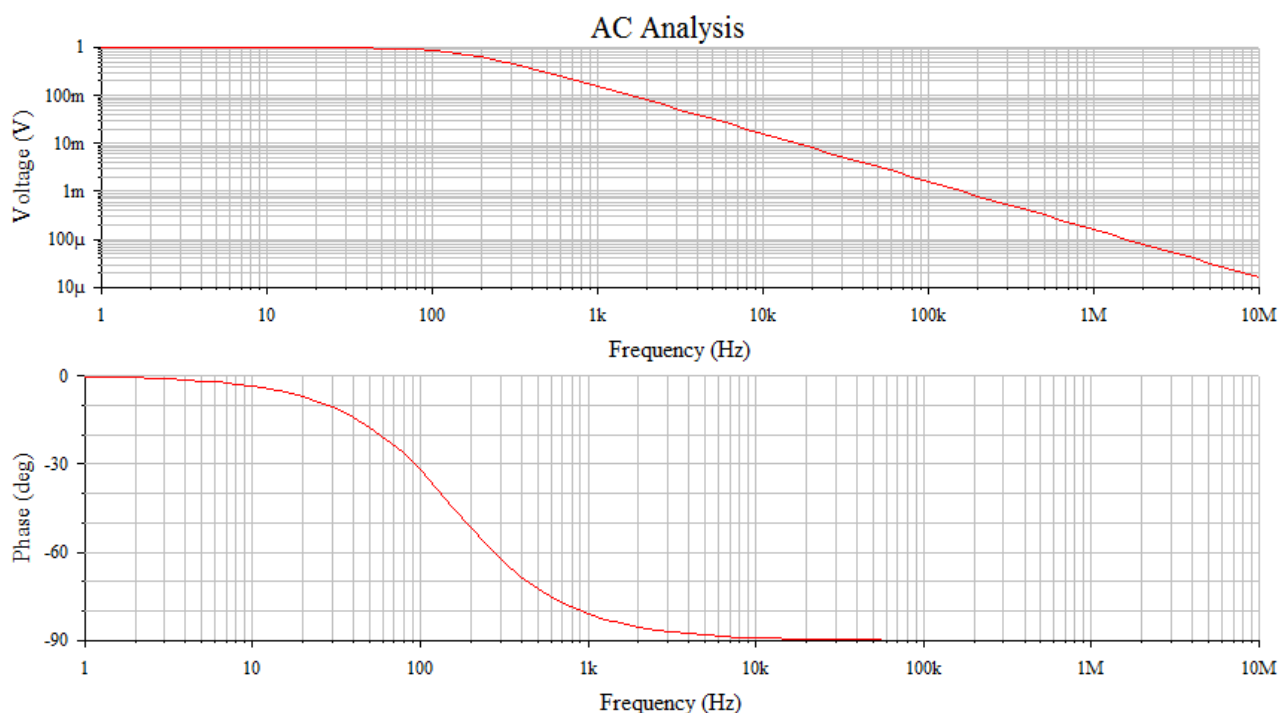


Рисунок 2.10 - Результаты расчета частотных характеристик

Задание

Для всех ранее рассмотренных вариантов цепей выполнить построение ЧХ с помощью данного инструмента.

Сравнить построенные вручную графики с диаграммами Боде и расчетными графиками инструмента AC Analyses. Сделать выводы.

Контрольные вопросы к разделу "Построение частотных характеристик с помощью инструмента AC Analyses"

1. Приведите примеры оборудования, осуществляющего построение ЧХ в натуральных исследованиях.
2. Опишите возможности одного из найденных Вами устройств.

Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- вариант задания;
- цель работы;
- описание хода работ с приложением исследованных схем, полученных данных в табличном и графическом виде и описанием возникших проблем и их устранением (если имели место);
- текстовые пояснения по всем пунктам хода работы;

- выводы по результатам работ;
- аналитический вывод передаточных характеристик рассмотренных цепей;
- краткие ответы на контрольные вопросы (с приведением самих вопросов).

3 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Цель работы

Ознакомление с понятием статических характеристик, освоение способа построения статических характеристик с использованием осциллографа, исследование статических характеристик простых линейных и нелинейных цепей.

Введение

Статической характеристикой устройства называется зависимость выходного сигнала от входного сигнала в установившемся состоянии. На рис. 3.1 приведена схема, поясняющая получение статической характеристики устройства. Входной сигнал подается на вход исследуемого устройства и на вход X осциллографа, а сигнал с выхода исследуемого устройства – на вход Y осциллографа.

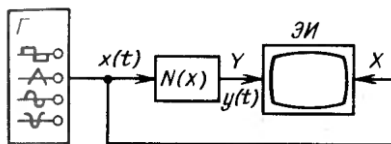


Рисунок 3.1 - Принцип получения статической характеристики

Виртуальный осциллограф среды EWB не имеет входа X, но возможность наблюдения статической характеристики, предусмотрена (рисунок 3.2).

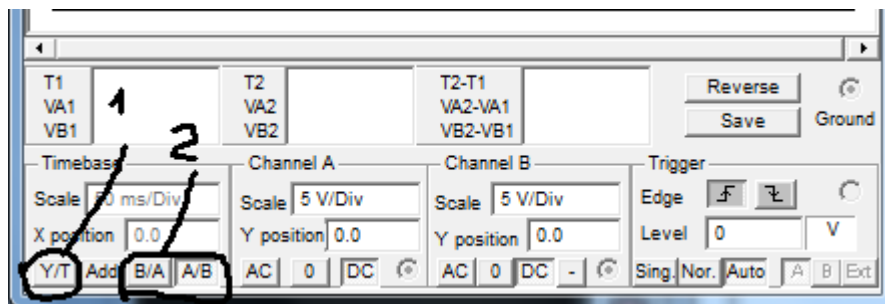


Рисунок 3.2 - Режимы работы генератора для наблюдения сигнала

Отмеченный цифрой 1 режим – это стандартный режим развертки сигнала во времени, а цифрой 2 отмечены режимы, заменяющие режим с входом X.

Разница между режимами В/А и А/В только в том, какой из входов каналов Y1 и Y2 будет использоваться в качестве входа X.

В качестве примера рассмотрим статические характеристики простой цепи – резистивного делителя напряжения (схема приведена на рисунке 3.3).

Источником сигнала является функциональный генератор. Для удобства наблюдения движения луча по экрану осциллографа частота сигнала выбрана низкой – 5 Hz. Амплитуда сигнала выбирается в зависимости от свойств исследуемой схемы.

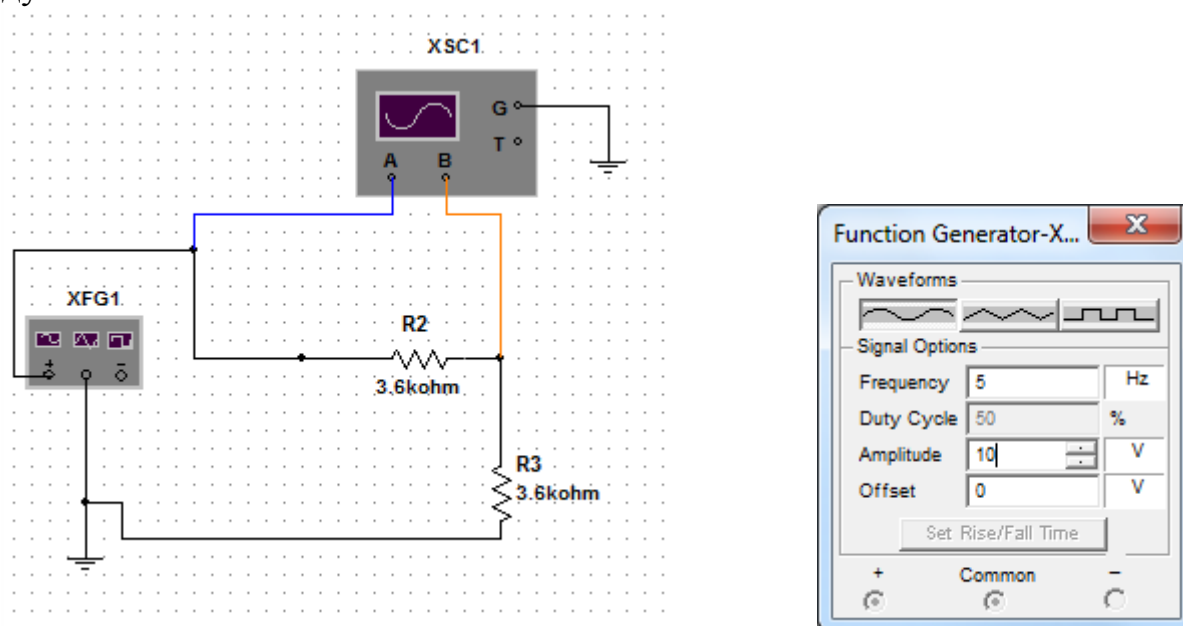


Рисунок 3.3 - Схема делителя напряжения и настройки функционального генератора

На рисунках 3.4, 3.5, 3.6 показаны диаграммы, получаемые при трех режимах работы осциллографа.

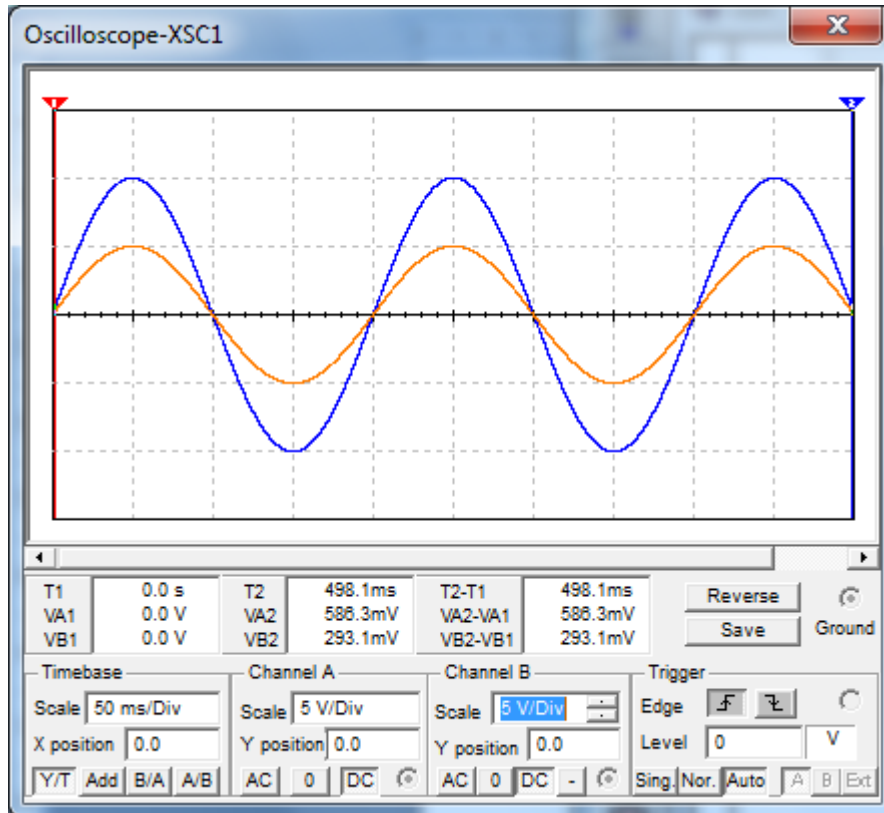


Рисунок 3.4 - Диаграммы при настройке осциллографа Y/T

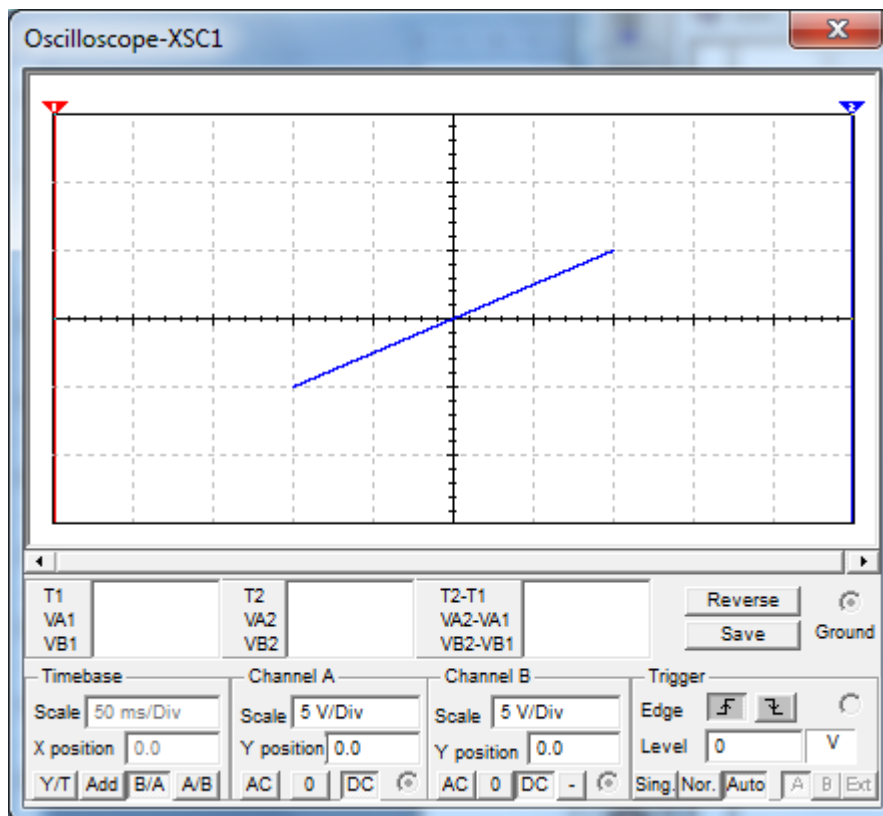


Рисунок 3.5 - Диаграммы при настройке осциллографа B/A

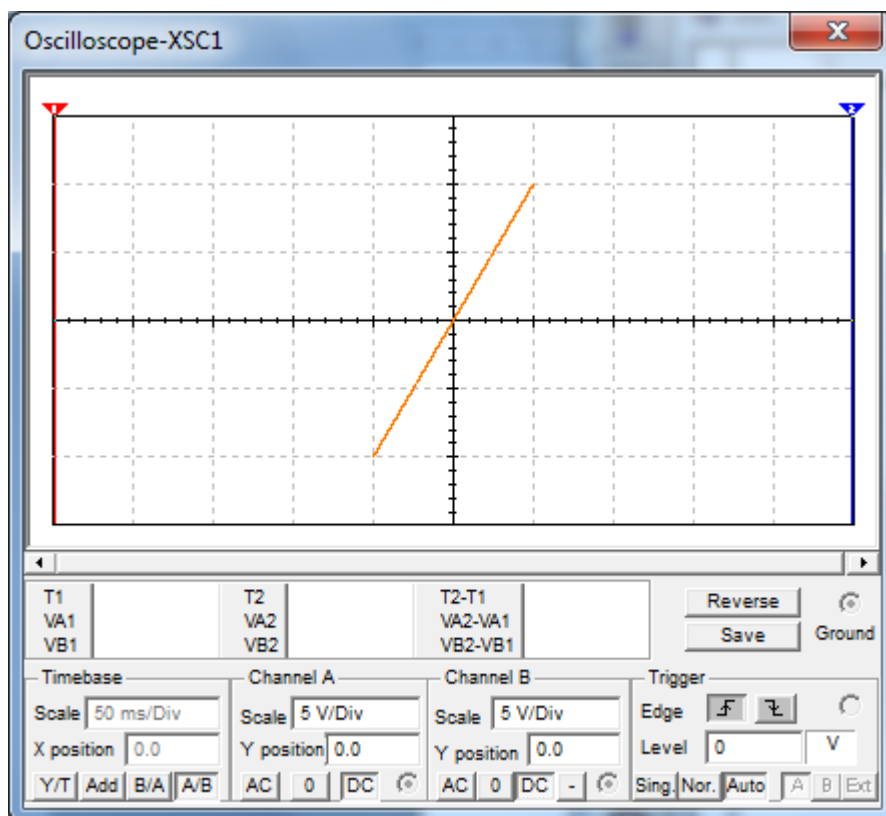


Рисунок 3.6 - Диаграммы при настройке осциллографа A/B

В процессе выполнения работы также необходимо фиксировать три аналогичные диаграммы. Базовым с точки зрения отображения статических характеристик будем считать режим В/А. Остальные диаграммы используются для улучшения понимания результатов.

В рассматриваемом случае исследуется заведомо линейная цепь, и по этой причине на базовой диаграмме наблюдаем прямую линию. Наклон линии характеризует коэффициент передачи сигнала, что хорошо видно при равных значениях чувствительности обоих каналов (5 вольт на деление).

Порядок выполнения работы

1. Исследовать статические характеристики цепи, приведенной в качестве примера, следуя описанию, и убедиться в совпадении результатов.
2. Исследовать статические характеристики схем, показанных на рисунках 3.7 – 3.14.
3. Для каждой схемы провести исследование не менее двух раз:
 - при указанных на схеме номиналах и значениях параметров;
 - при измененных значениях (по указанию преподавателя).
3. Зафиксировать для отчета по три диаграммы для каждой схемы.

4. Пользуясь малой скоростью луча на экране осциллографа, отметить направление движения стрелками (для режима В/А).
5. Выделить линейные и нелинейные схемы и дать объяснение форме диаграмм.

При выполнении исследований тщательно подходить к настройкам чувствительности осциллографа, чтобы на диаграмме был зафиксирован полный этап прохождения луча.

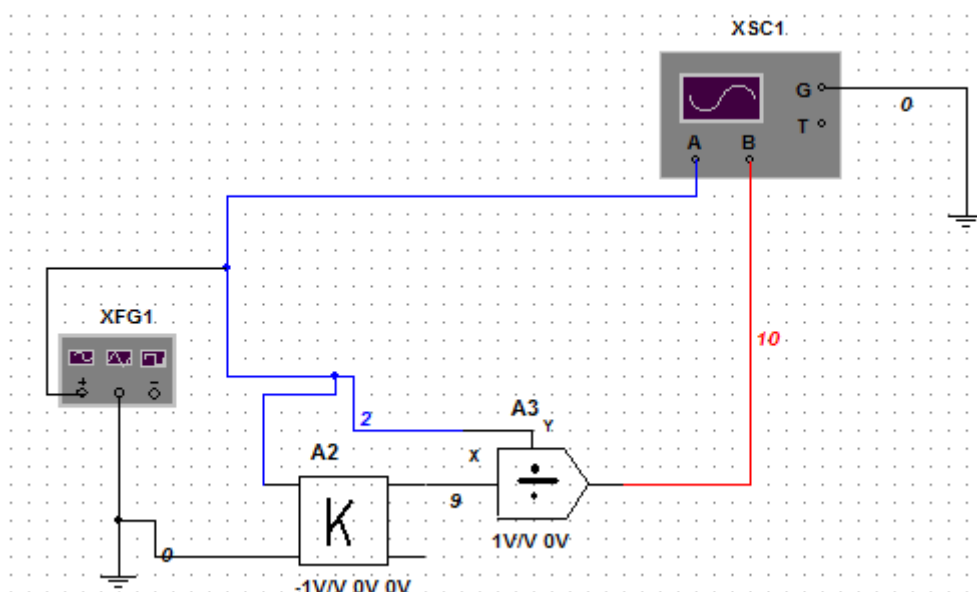


Рисунок 3.7 - Исследование блока деления сигналов

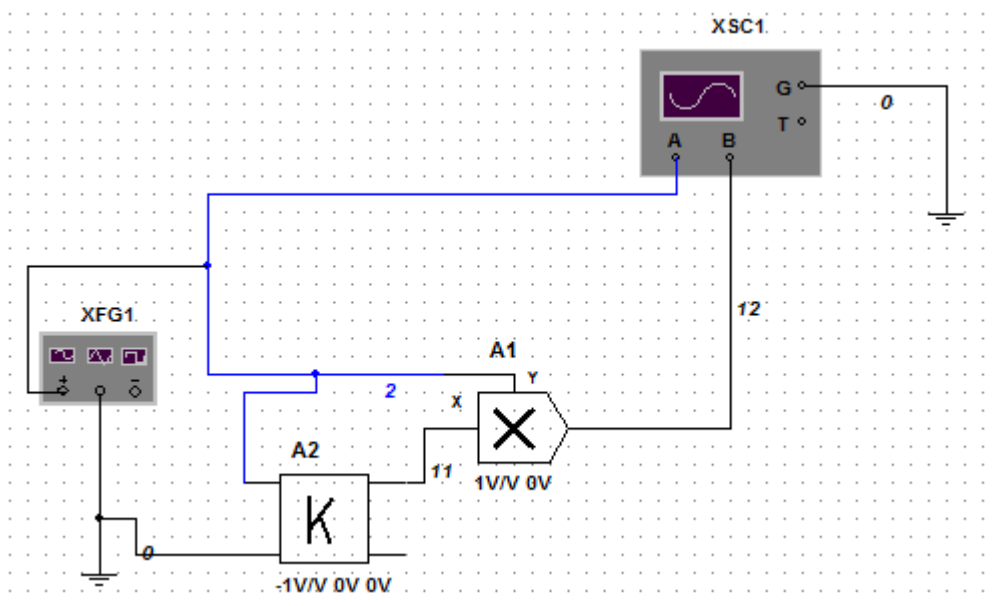


Рисунок 3.8 - Исследование блока умножения сигналов

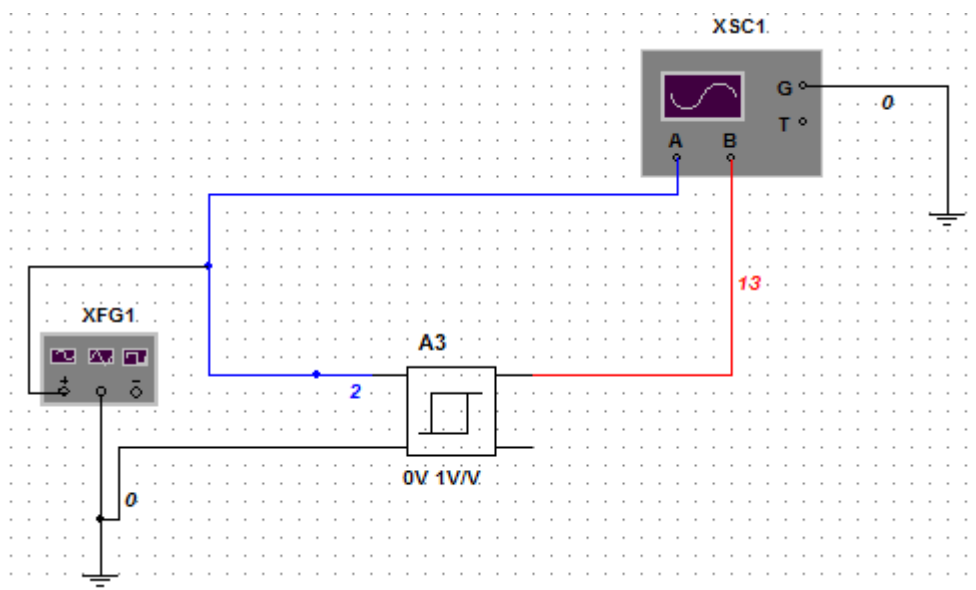


Рисунок 3.9 - Исследование блока функции гистерезиса

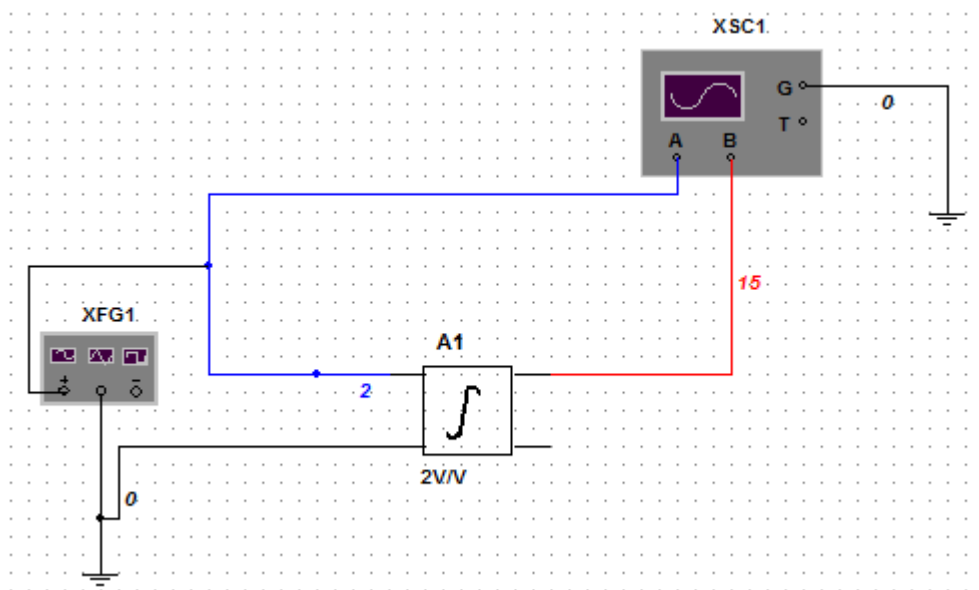


Рисунок 3.10 - Исследование блока интегратора

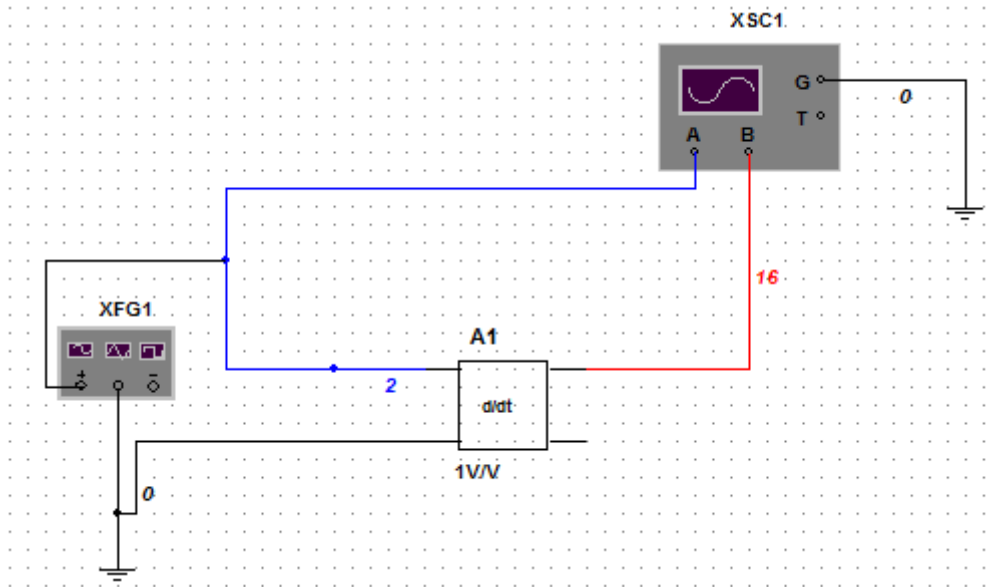


Рисунок 3.11 - Исследование блока дифференциатора

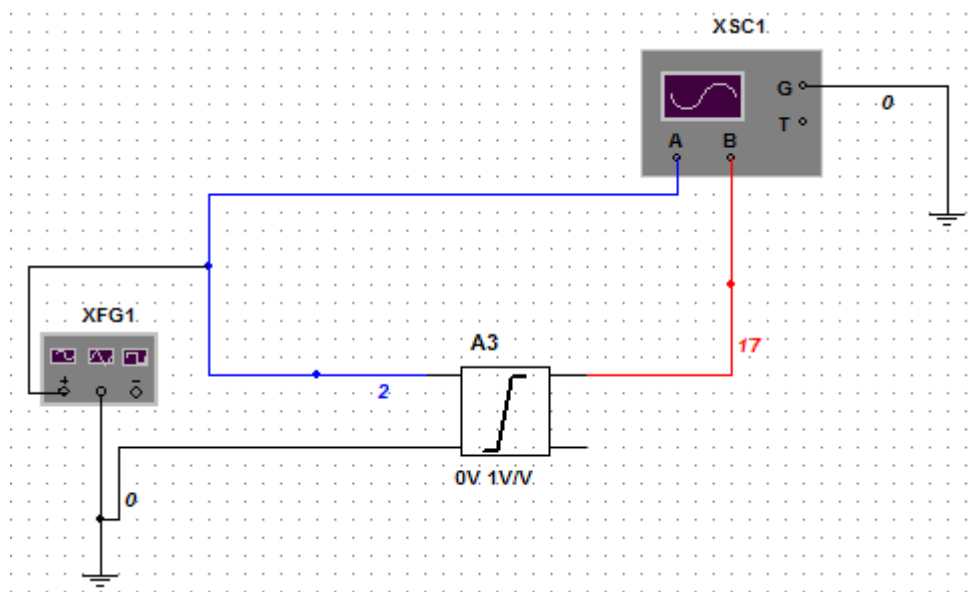


Рисунок 3.12 - Исследование блока ограничителя напряжения

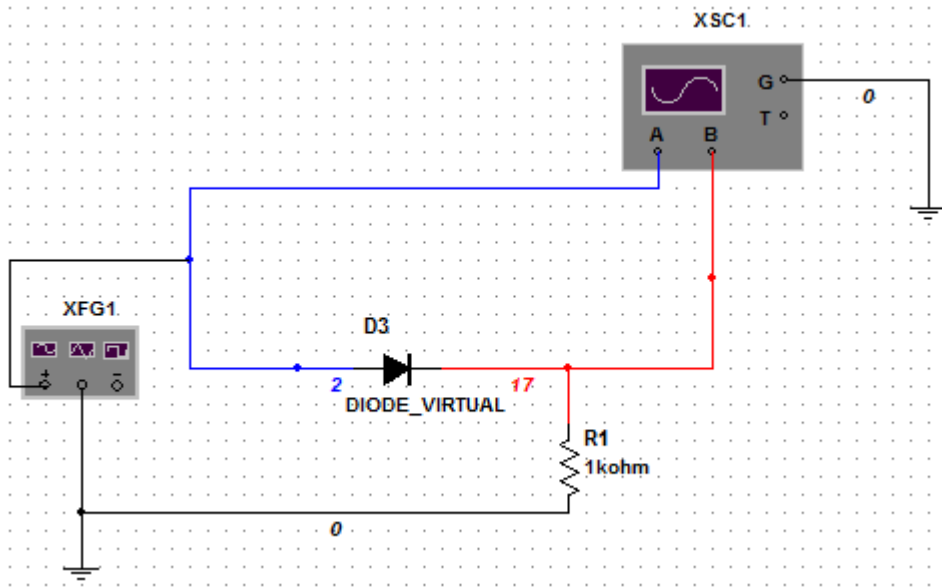


Рисунок 3.13 - Исследование выпрямителя по варианту 1

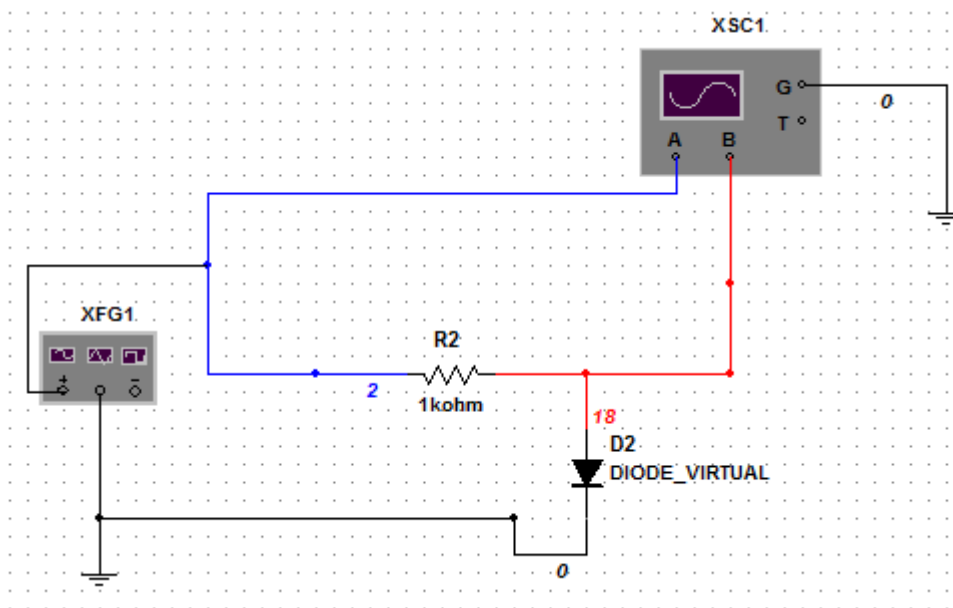


Рисунок 3.14 - Исследование выпрямителя по варианту 2

Контрольные вопросы

1. Приведите определение статической характеристики устройства.
2. Приведите пример линейной статической характеристики
3. Перечислите устройства, имеющие линейную статическую характеристику
4. Приведите пример нелинейной статической характеристики
5. Перечислите устройства, имеющие нелинейную статическую характеристику

Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- описание хода работ с приложением исследованных схем, полученных данных в табличном и графическом виде;
- текстовые пояснения по всем пунктам хода работы;
- выводы по результатам работ;
- краткие ответы на контрольные вопросы (с приведением самих вопросов).

4 ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В САР ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

Цель работы

Изучение видов переходных процессов в линейных САР, анализ устойчивости системы по критерию Найквиста с использованием диаграмм Боде.

Введение

Пример САР третьего порядка представлен на рисунке 4.1. Система содержит три структурно одинаковых последовательно соединенных каскада, каждый из которых включает сумматор, интегратор и усилитель напряжения. Свойства каждого каскада определяются коэффициентами K_1 , K_2 и K_3 .

Усилительный элемент K_4 определяет конечное усиление всей системы.

Усилительный элемент K_5 необходим для формирования замкнутой петли обратной связи. На рассматриваемой схеме он отключен, так как его вход подключен к общему проводу, вследствие чего на выходе присутствует напряжение, равное 0, которое не оказывает влияния на работу первого (левого по схеме) сумматора.

Таким образом, рассматриваемая система является разомкнутой.

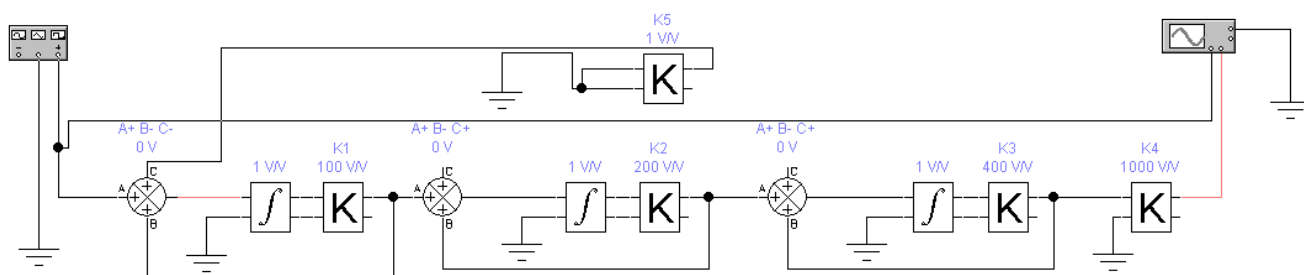


Рисунок 4.1 - САР третьего порядка с разомкнутой петлей обратной связи

Отметим, что каждый каскад описывается выражением $W(p)=1/(1+kp)$.

Амплитудно-частотная (АЧХ) и фазовая частотная (ФЧХ) характеристики в среде EWB могут быть построены с помощью инструмента АС

Frequency Analysis. При вызове инструмента следует осуществить настройки частотного диапазона для построения графиков и вид шкалы усиления (амплитуды). На рисунке 4.2 приведено окно для настройки.

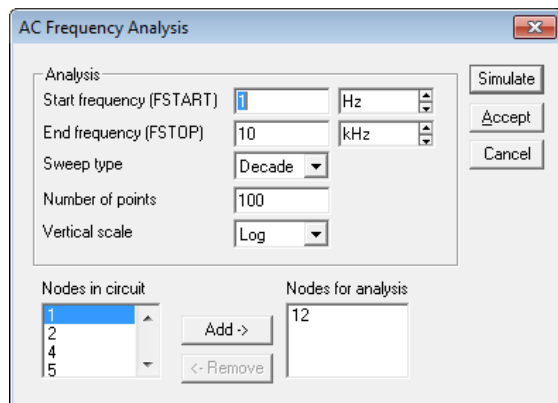


Рисунок 4.2 - Вариант настройки функции вывода графиков АЧХ

Пример логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) и логарифмической фазовой частотной характеристики (ЛФЧХ) для рассматриваемой системы показан на рисунке 4.3. Анализ диаграмм разомкнутой системы позволяет оценить устойчивость системы при замыкании петли обратной связи [1].

Реакция разомкнутой системы на прямоугольные импульсы показана на рисунке 4.4.

Вид диаграмм и реакция системы показывают, что система устойчива в разомкнутом состоянии.

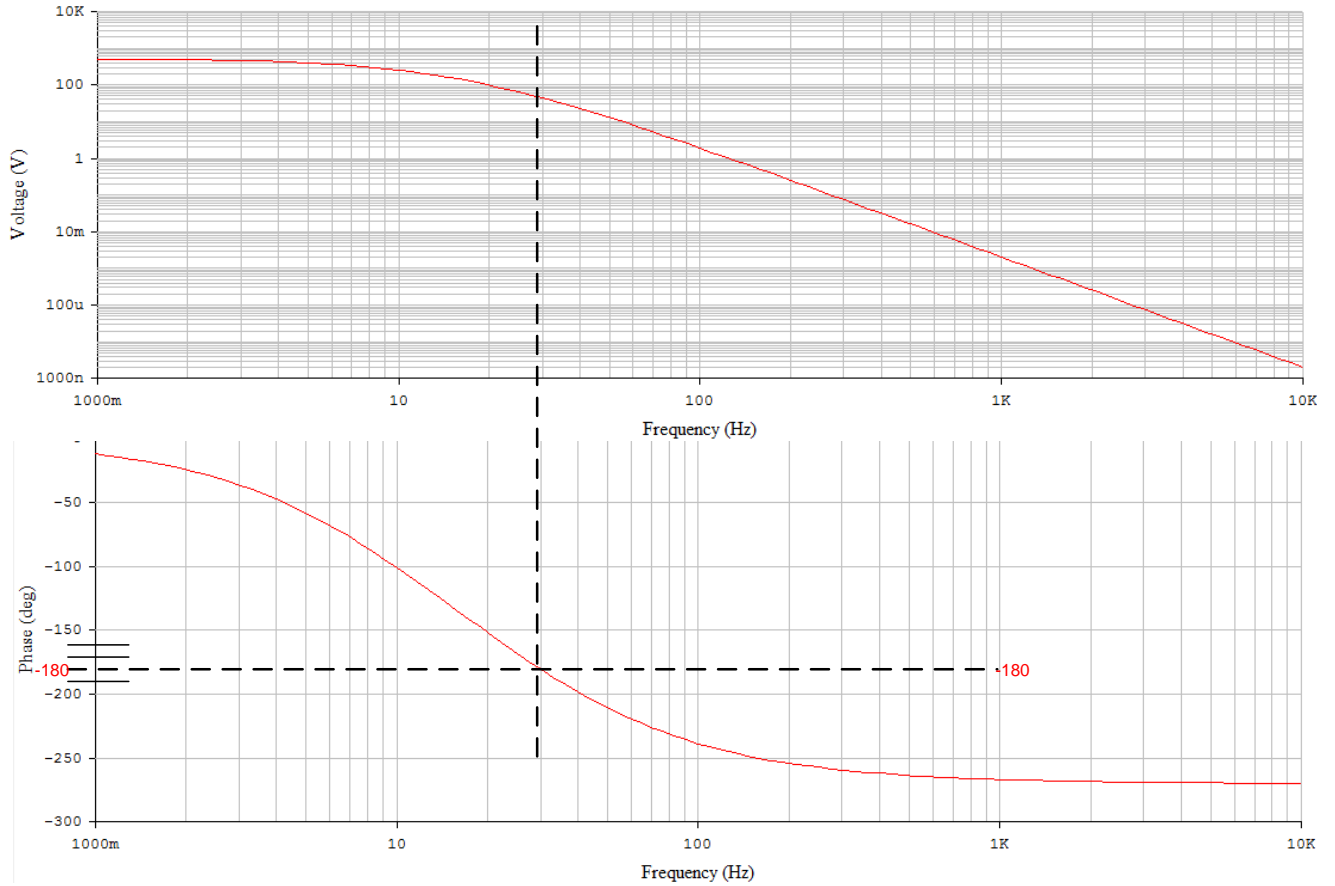


Рисунок 4.3 - ЛАЧХ и ЛФЧХ исследуемой САР с разомкнутой петлей обратной связи

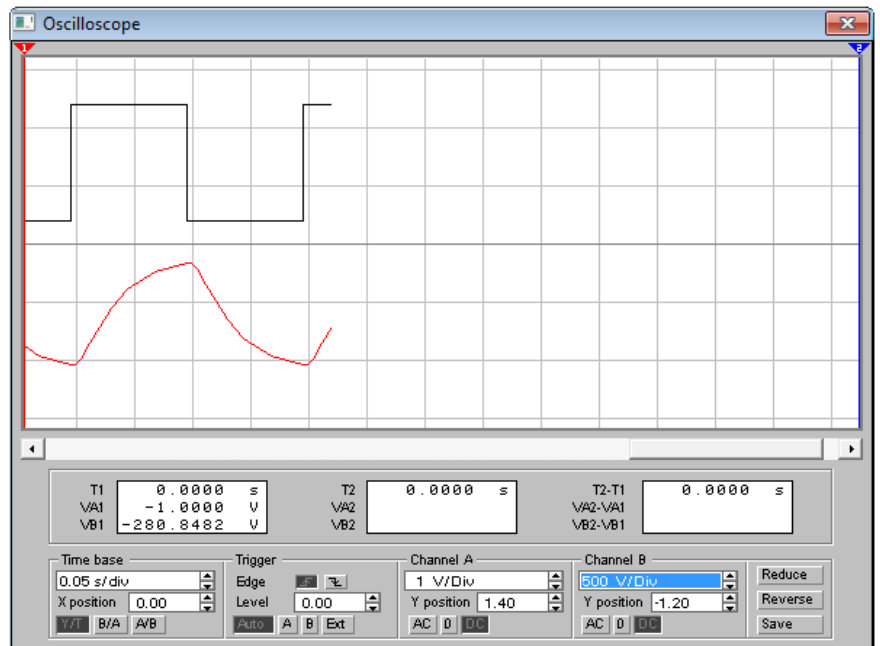
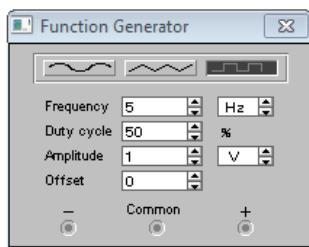


Рисунок 4.4 - Реакция САР третьего порядка с разомкнутой петлей обратной связи

Замыкание петли обратной связи осуществляется активизацией усилителя K5. Соответствующие изменения показаны на рисунке 4.5.

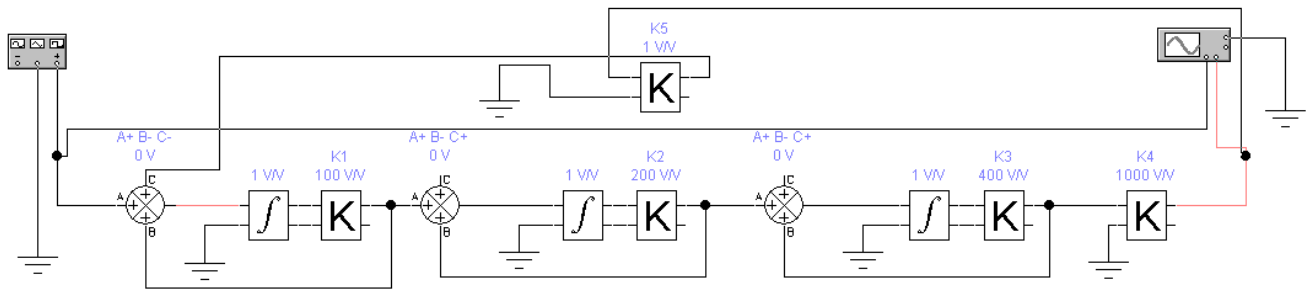


Рисунок 4.5 - САР 3-го порядка с замкнутой петлей обратной связи

От величины коэффициента K_5 зависит поведение замкнутой системы.

Далее на рисунках 4.6, 4.7, 4.8 показаны несколько вариантов:

- устойчивая система с отсутствием перерегулирования;
- устойчивая система с колебательным переходным процессом;
- неустойчивая система.

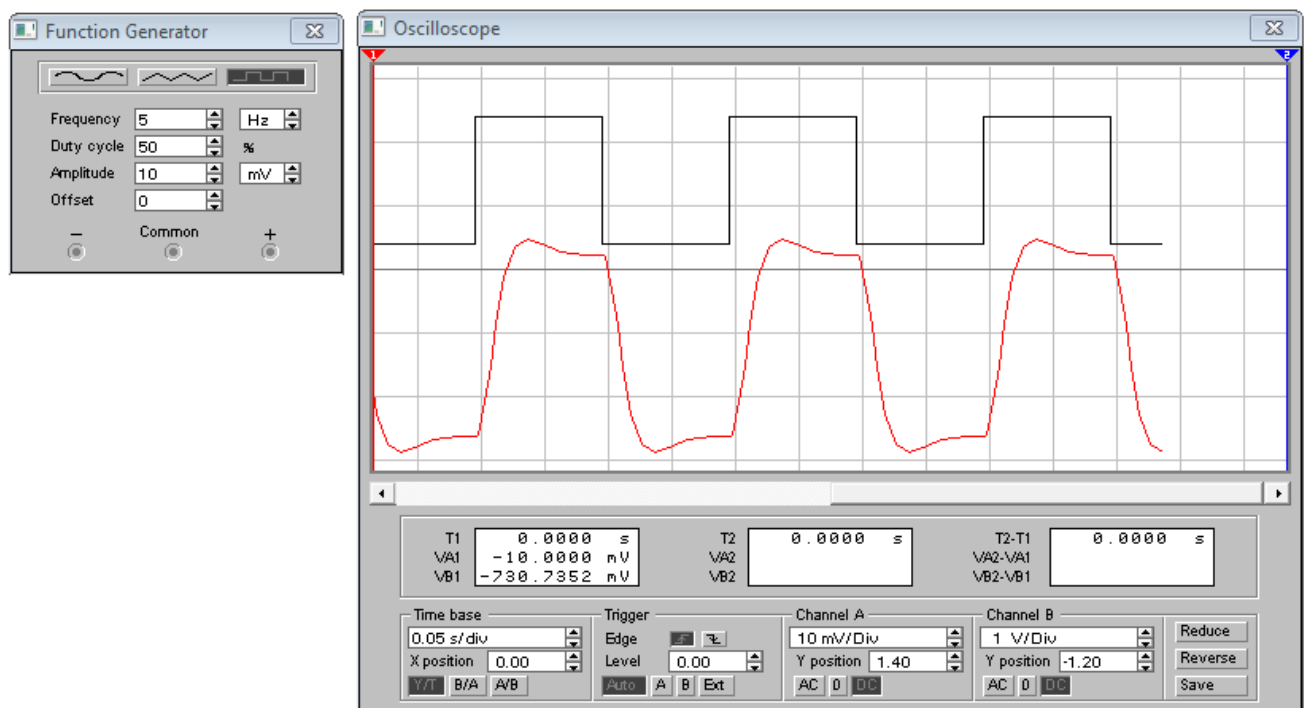


Рисунок 4.6 - САР третьего порядка с замкнутой петлей обратной связи при $K_5=0,01$

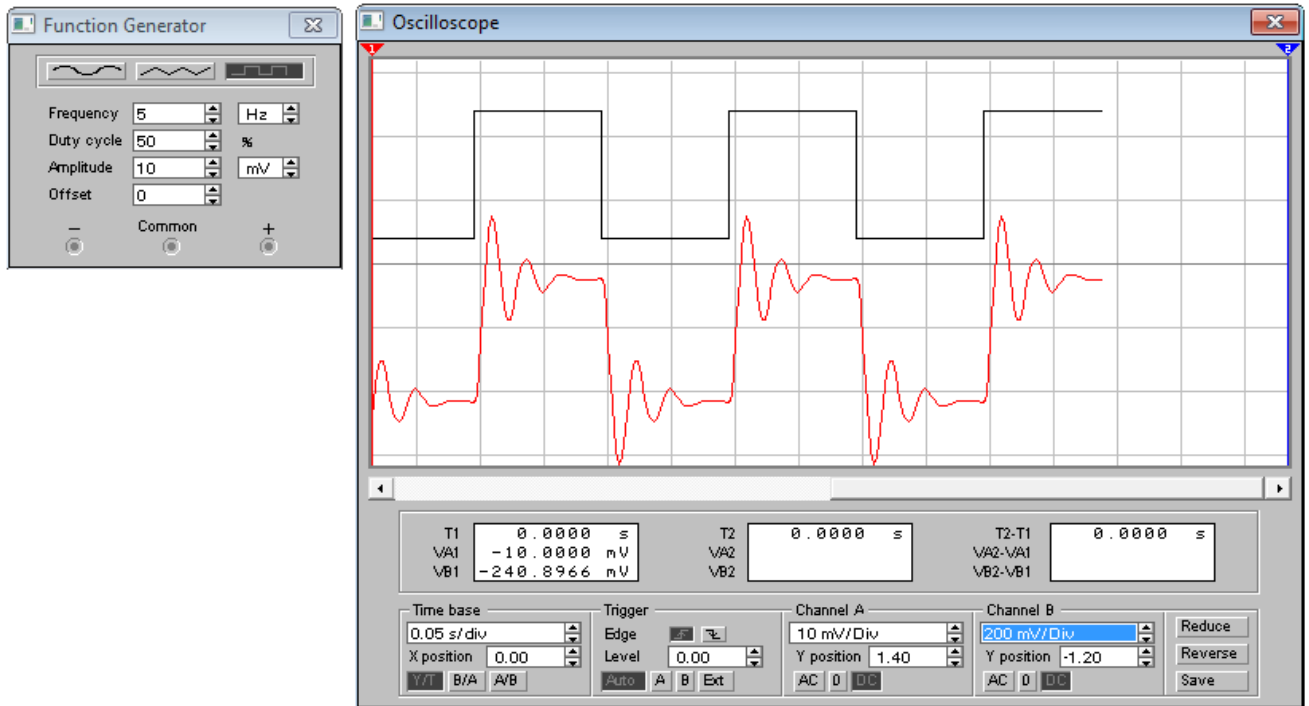


Рисунок 4.7 - САР третьего порядка с замкнутой петлей обратной связи при $K_5=0,1$

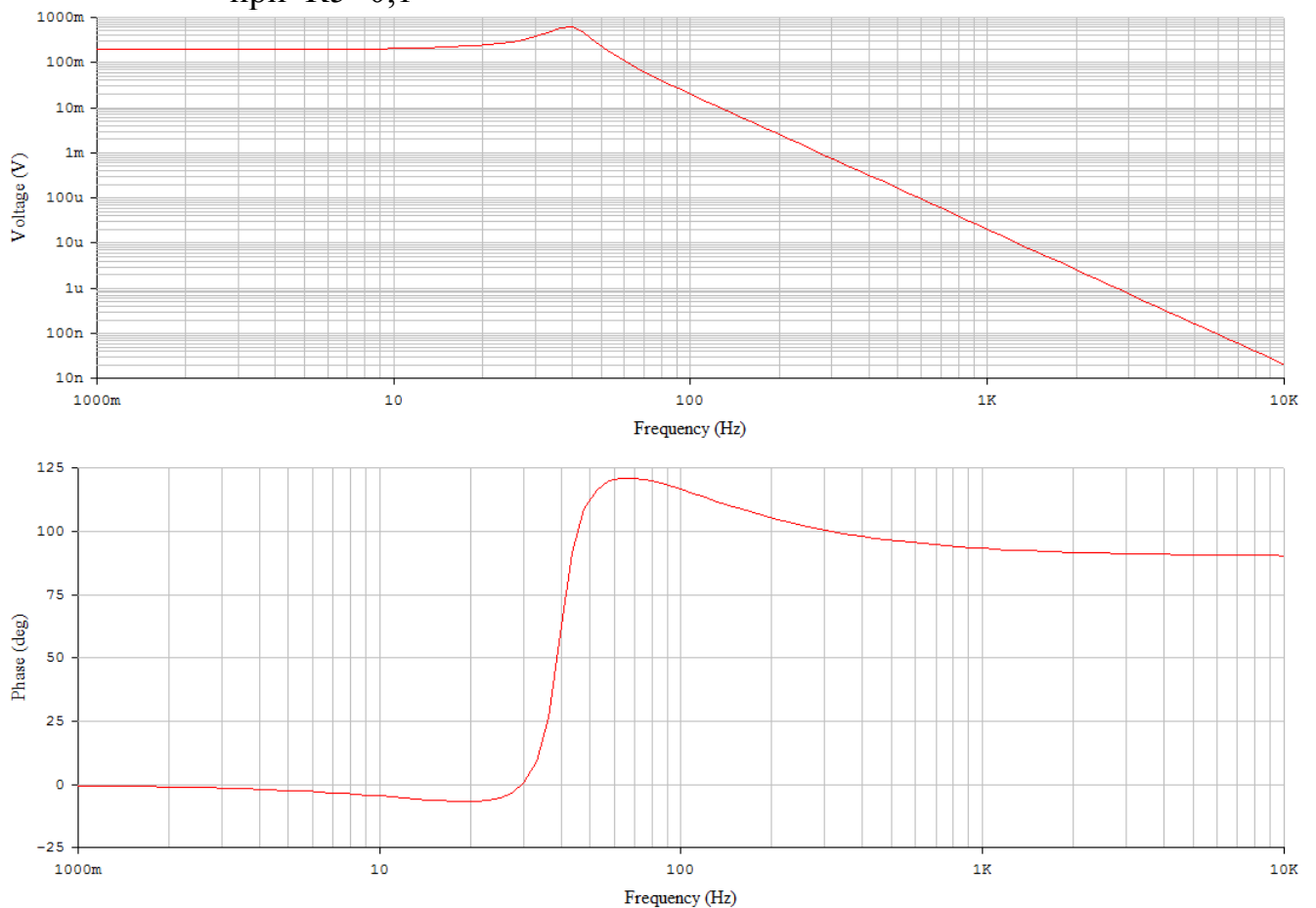


Рисунок 4.8 - ЛАЧХ и ЛФЧХ исследуемой САР с замкнутой петлей обратной связи при $K_5=0,1$

Неустойчивая система при моделировании прекращает функционирование с сообщением об ошибке (рисунки 4.9, 4.10).

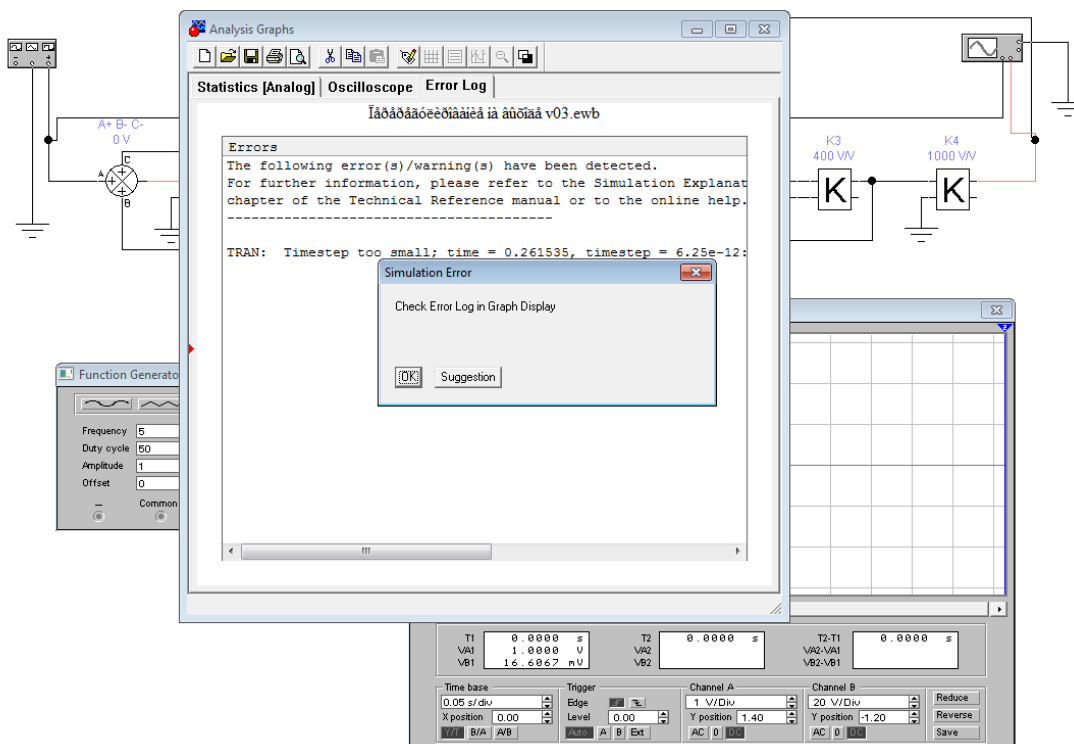


Рисунок 4.9 - Неустойчивая система: прерывание моделирования

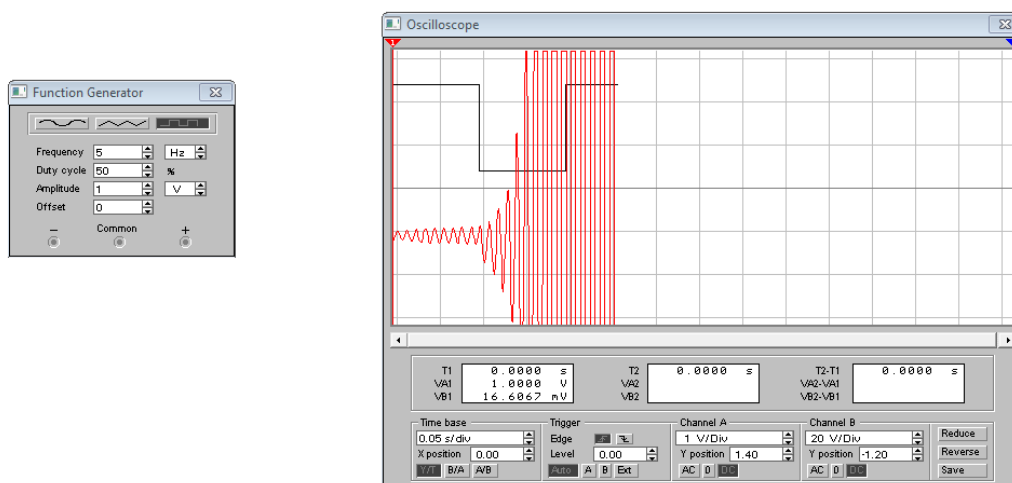


Рисунок 4.10 - Неустойчивая система: нарастание амплитуды колебаний

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретический материал по теме.
2. Собрать схему САР в варианте с разомкнутой петлей обратной связи.
3. Настроить коэффициенты K1-K4 в соответствии с заданием.

4. Построить ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы.
5. Провести анализ диаграмм на предмет нахождения границы устойчивости.
6. Рассчитать K_5 для случаев:
 - устойчивой системы без колебательного переходного процесса;
 - устойчивой системы с колебательным переходным процессом;
 - неустойчивой системы.
7. Провести моделирование по всем рассчитанным вариантам и убедиться в правильности расчетов.
8. В случае несоответствия результатов расчетным добиться требуемого путем экспериментального подбора коэффициента K_5 .

Контрольные вопросы

1. Что такое ЛАЧХ и ЛФЧХ?
2. Как сформулировать критерий устойчивости Найквиста при рассмотрении ЛАЧХ и ЛФЧХ?
3. Изменяются ли частотные характеристики на выходе системы при замыкании петли обратной связи?
4. Что представляет собой каждый из трех каскадов исследуемой САР на уровне математического описания?
5. Как связаны между собой коэффициент передачи усилительного звена каскада и его частные частотные характеристики?
6. Пусть коэффициент передачи усилительного звена каскада равен 480. Изобразите эквивалент каскада на основе цепи из резисторов и конденсаторов.

Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

- титульный лист по стандарту университета;
- название и цель работы;
- вариант задания;
- описание каждого выполненного шага работы с поясняющими рисунками, на которых зафиксированы схемы, диаграммы, параметры настройки оборудования;
- расчеты, начиная с формул и их результаты;
- выводы о соответствии эксперимента и теоретических данных;
- заключение.

5 КОРРЕКЦИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Введение

Схему электронного усилителя на высоких частотах можно представить как эквивалентный генератор, нагруженный на несколько апериодических РС-цепей. Обычно число таких цепей соответствует числу усилительных каскадов.

На рисунке 5.1 слева иллюстрируется аппроксимация ЛАЧХ и ЛФЧХ асимптотами (диаграмма Бode). Поскольку аппроксимированная ступенчатым образом ФЧХ непригодна для тонкой оценки устойчивости, она также представлена в сглаженном виде, а для проверки приведена реальная ФЧХ [2].

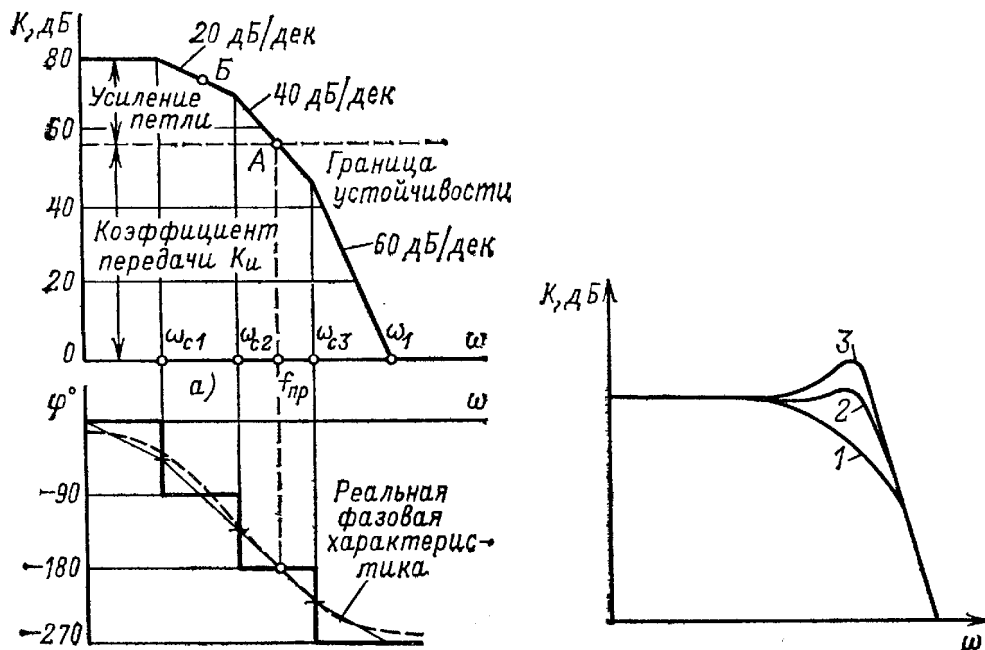


Рисунок 5.1 - Пример АЧХ усилителя с замкнутой и разомкнутой ОС

Справа (рис. 5.1) показаны АЧХ с замкнутой ОС для случаев абсолютно устойчивой системы (кривая 1), системы на границе устойчивости (кривая 3) и промежуточного варианта (кривая 2).

Критерий устойчивости усилителя с обратной связью выглядит следующим образом: фазовый сдвиг усилителя при разомкнутой петле обратной связи не должен превышать 180° на частоте, при которой коэффициент передачи цепи обратной связи равен единице. Этот критерий трудней всего удовлетворить, когда усилитель включен как повторитель, так как при этом коэффициент передачи в петле обратной связи равен коэффициенту усиления при разомкнутой петле обратной связи, т. е. наибольшему значению [3].

Усилитель без коррекции

Рассмотрим усилитель, проектируемый для единичного усиления и обеспечивающий малые искажения сигнала. Структурная схема усилителя показана на рисунке 5.2.

Частотные характеристики усилителя моделируются узлом на элементах $U1, R1, C1$ и узлом на элементах $U2, R2, C2$. Усиление обеспечивается узлом $A1$ с коэффициентом передачи -10000 и инвертированием сигнала. Сумматор $A2$ на входе позволяет завести отрицательную обратную связь для уменьшения

искажений. Большой коэффициент петлевого усиления предполагается использовать для обеспечения глубины обратной связи до 60 dB.

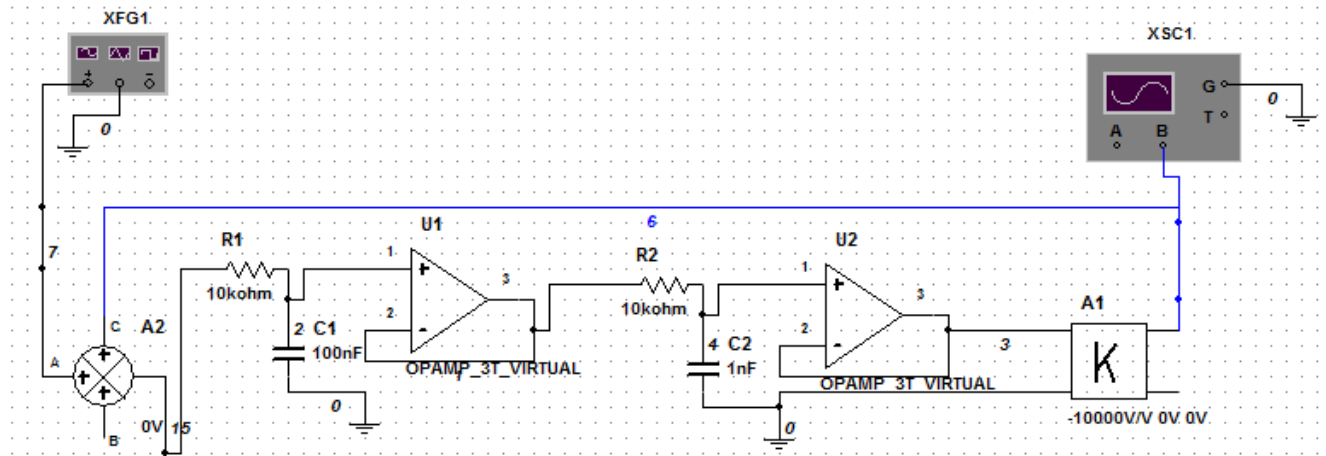


Рисунок 5.2 - Первоначальный вариант усилителя с замкнутой обратной связью

При подаче на вход прямоугольных импульсов на выходе наблюдается сигнал, не отвечающий критериям неискаженной передачи (рисунок 5.3). Из анализа рисунка следует вывод о недостаточной устойчивости спроектированного усилителя.

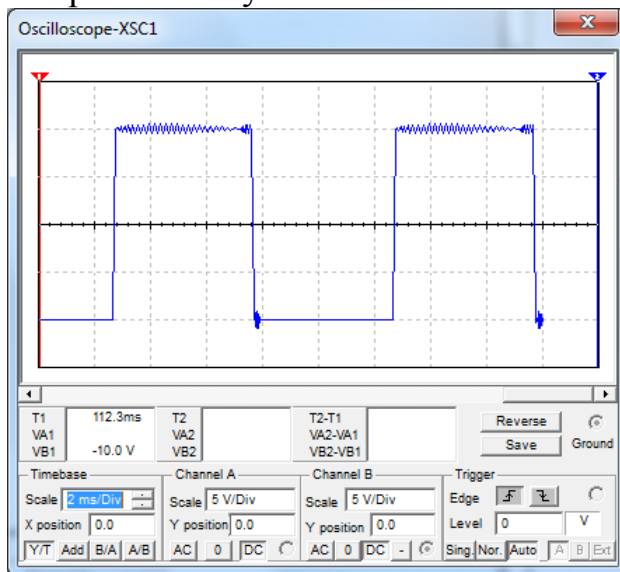


Рисунок 5.3 - Сигнал на выходе первоначального варианта усилителя

На рисунке 5.4 приведены частотные характеристики исследуемого варианта усилителя. Результаты получены средствами системы моделирования.

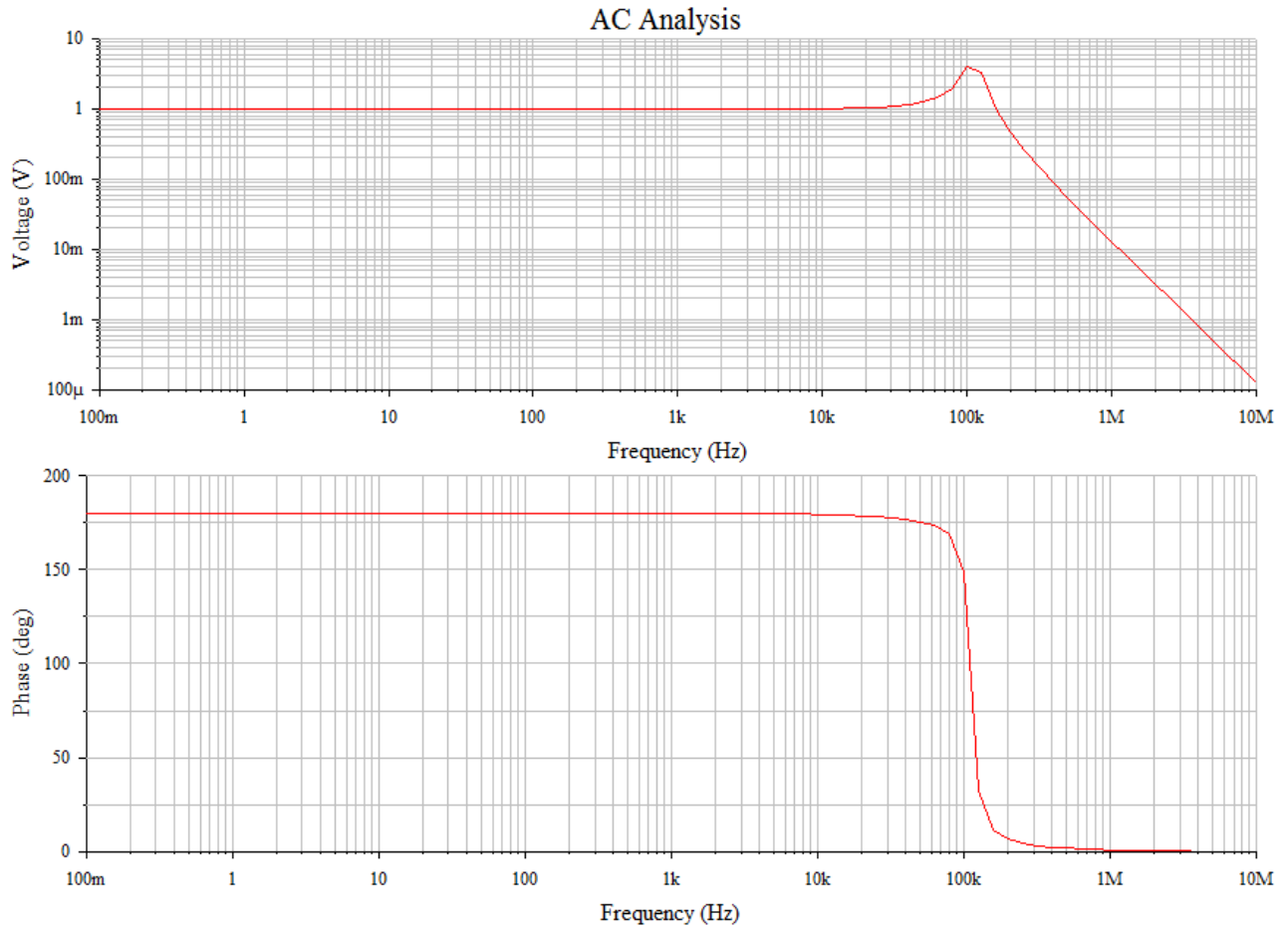


Рисунок 5.4 - Частотные характеристики усилителя с замкнутой обратной связью

На частоте около 100 kHz на АЧХ наблюдается пик, которому соответствует фазовый сдвиг на ФЧХ, приближающийся к критическому значению 180° .

Замечание: поскольку усилитель инвертирующий, следует учитывать коррекцию в 180° для каждого значения фазового сдвига на ФЧХ.

Для понимания причин недостаточной устойчивости следует рассмотреть частотные характеристики усилителя с разомкнутой обратной связью (рисунок 5.5).

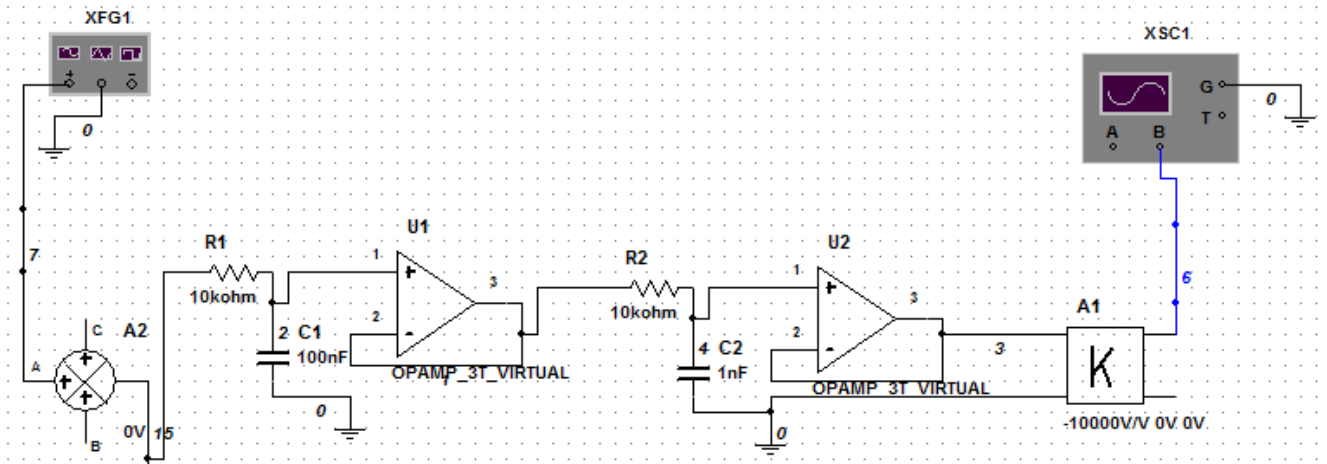


Рисунок 5.5 - Первоначальный вариант усилителя с разомкнутой обратной связью

На рисунке 5.6 показаны требуемые частотные характеристики, снабженные поясняющими комментариями.

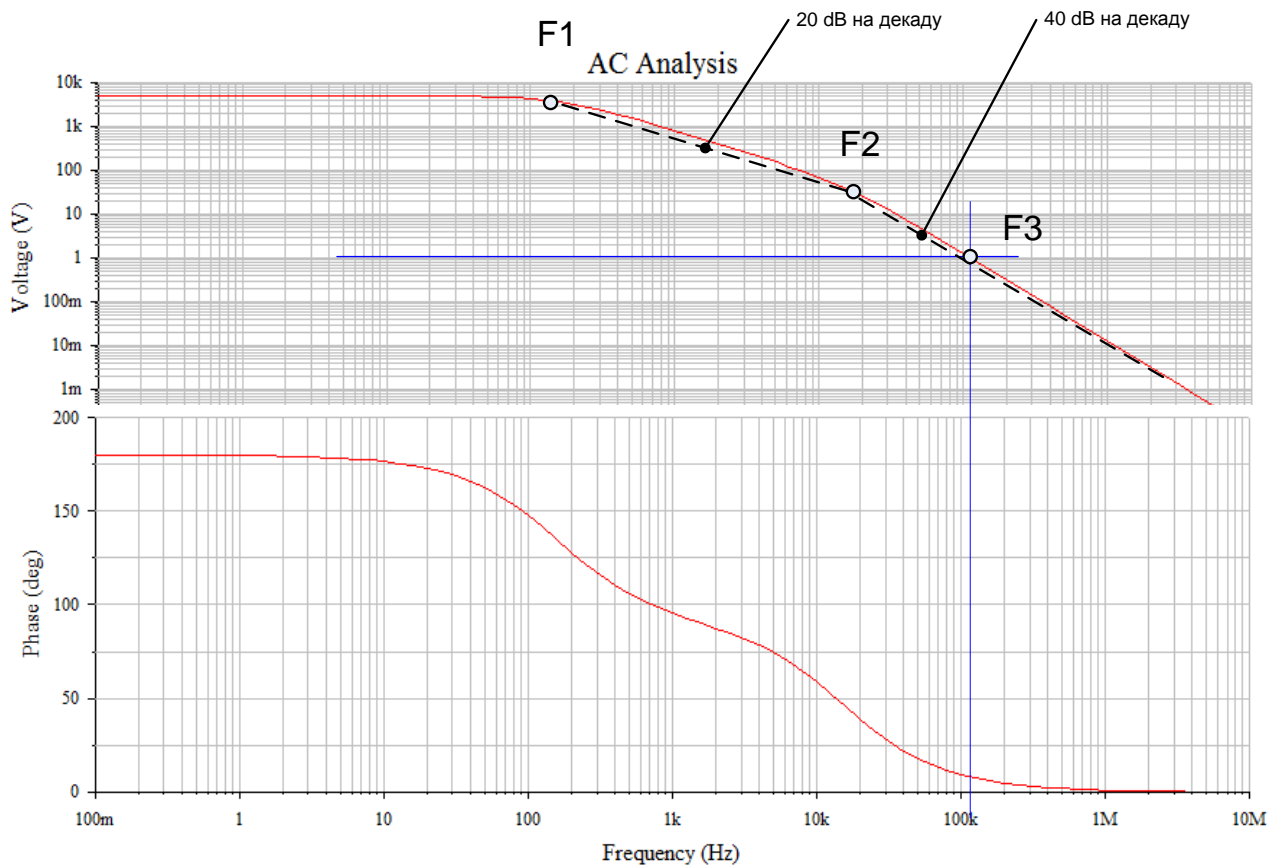


Рисунок 5.6 - Частотные характеристики усилителя с разомкнутой обратной связью

Как видно на рисунке, на частотах F1 и F2 наблюдаются изломы АЧХ:

- после F1 – ослабление сигнала с закономерностью - 20dB/dec, т.е. десятикратное увеличение частоты приводит к десятикратному ослаблению сигнала;

- после F2 - ослабление сигнала с закономерностью - 40dB/dec.

Частота F3 соответствует падению коэффициента передачи усилителя до 1. Фазовый сдвиг на этой частоте близок к величине 170°.

В соответствии с критерием устойчивости Найквиста для графиков логарифмических частотных характеристик, именно это обуславливает наблюдаемый эффект колебательности выходного сигнала при замыкании петли обратной связи.

Первый вариант коррекции

Достичь устойчивости можно, сформировав АЧХ таким образом, чтобы до частоты единичного усиления и вблизи нее наклон характеристики соответствовал величине 20 dB/dec. С этой целью введем в усилитель еще одно частотозависимое звено, частота среза которого смещена в сторону низких частот настолько, что пересечение на частоте единичного усиления новой характеристики наступает раньше частоты F1 – низшей частоты излома на первоначальной АЧХ.

На рисунке 5.7 узел коррекции выполнен на элементах U3, R3, C3.

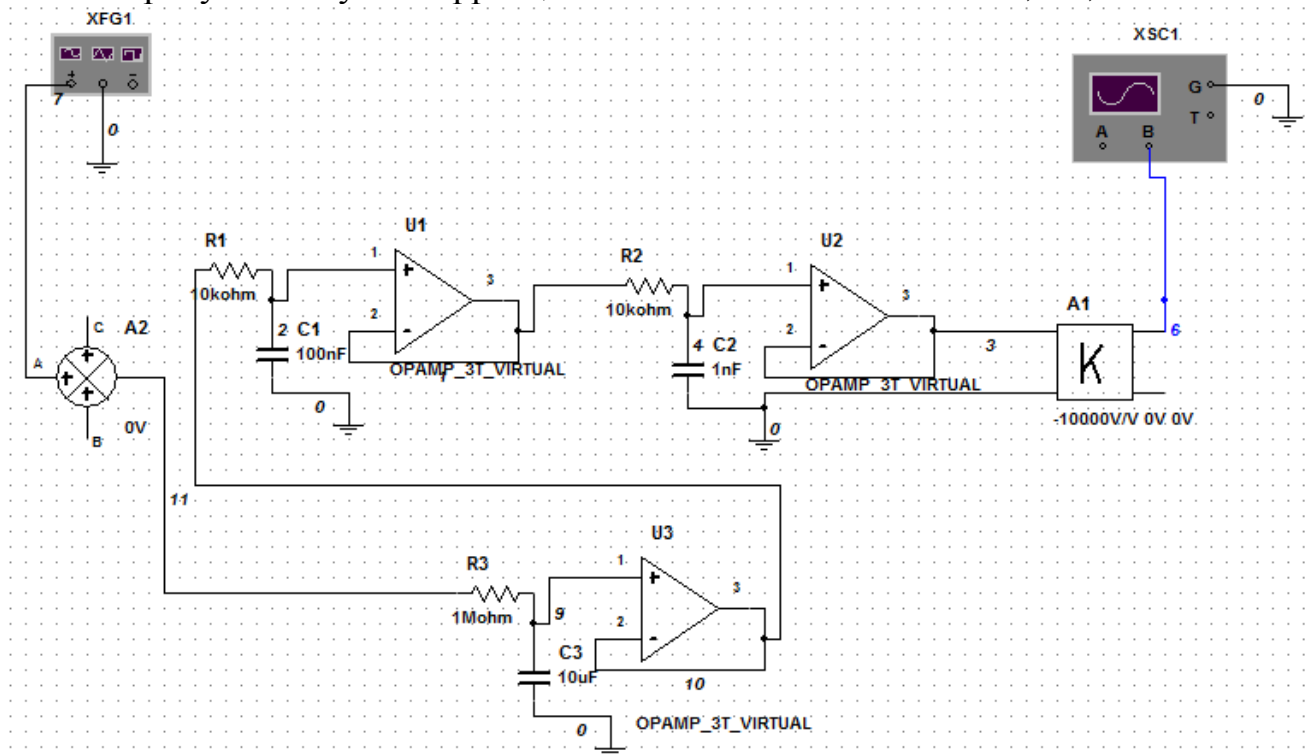


Рисунок 5.7 - Усилитель с узлом коррекции ЧХ и разомкнутой обратной связью

После введения частотной коррекции частотные характеристики выглядят следующим образом (рисунок 5.8).

Частота единичного усиления теперь приходится на отметку примерно 70 Hz. Наклон АЧХ в этой области соответствует величине 20dB/dec, а сдвиг фаз – порядка 120 °.

Переход к наклону 40dB/dec начинается с частоты примерно 160Hz, т.е. в точке единичного усиления есть запас величиной примерно в одну октаву. Усилитель при замыкании обратной связи будет устойчивым, но колебательность выходного сигнала будет обозначена.

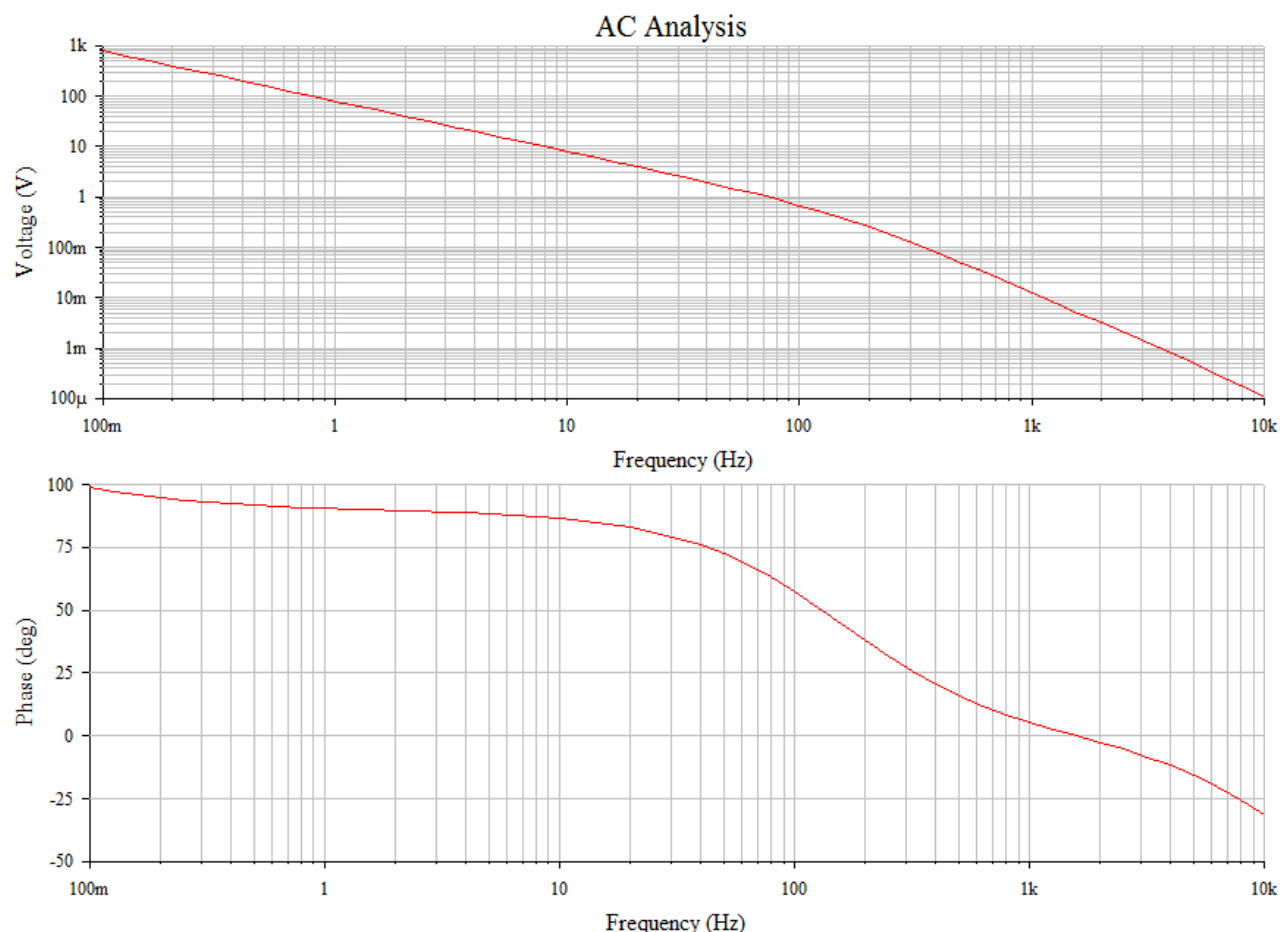


Рисунок 5.8 - Частотные характеристики усилителя с разомкнутой обратной связью при первом способе коррекции

Замыкание обратной связи осуществим в соответствии с рисунком 5.9. Сигнал с выхода поступает на сумматор, а поскольку усилитель обладает инверсией, обеспечивается отрицательная обратная связь.

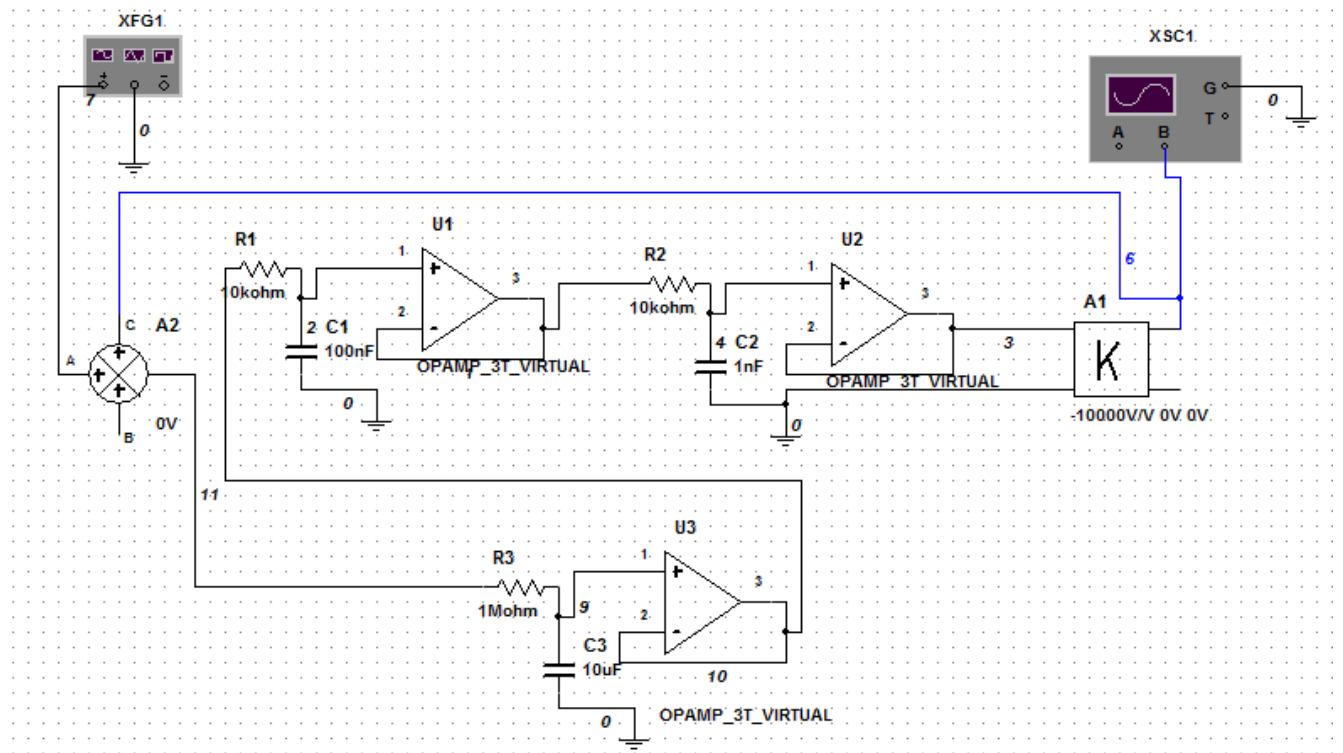


Рисунок 5.9 - Усилитель с замкнутой обратной связью

Соответственно, выходной сигнал после коррекции выглядит надлежащим образом. Небольшие выбросы на фронте и спаде являются приемлемыми для усилителей с единичным коэффициентом усиления (рисунок 5.10).

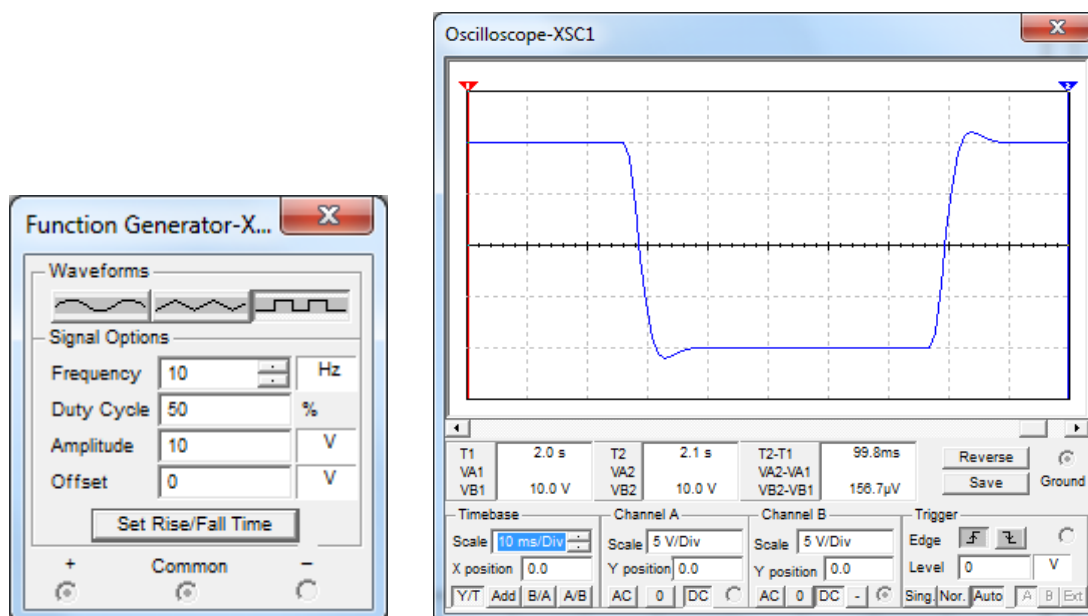


Рисунок 5.10 - Сигнал на выходе усилителя после введения коррекции по первому варианту

Недостаток такого варианта коррекции – сужение частотного диапазона, к которому обеспечен достаточный запас по глубине ОС, а следовательно и диапазона частот, в котором искажения будут ограничены до приемлемого уровня.

Второй вариант коррекции

Второй рассматриваемый вариант коррекции частотной характеристики заключается во введении корректирующего звена, обеспечивающего подъем АЧХ вблизи частоты единичного усиления. Схема скорректированного таким образом усилителя показана на рисунке 5.11.

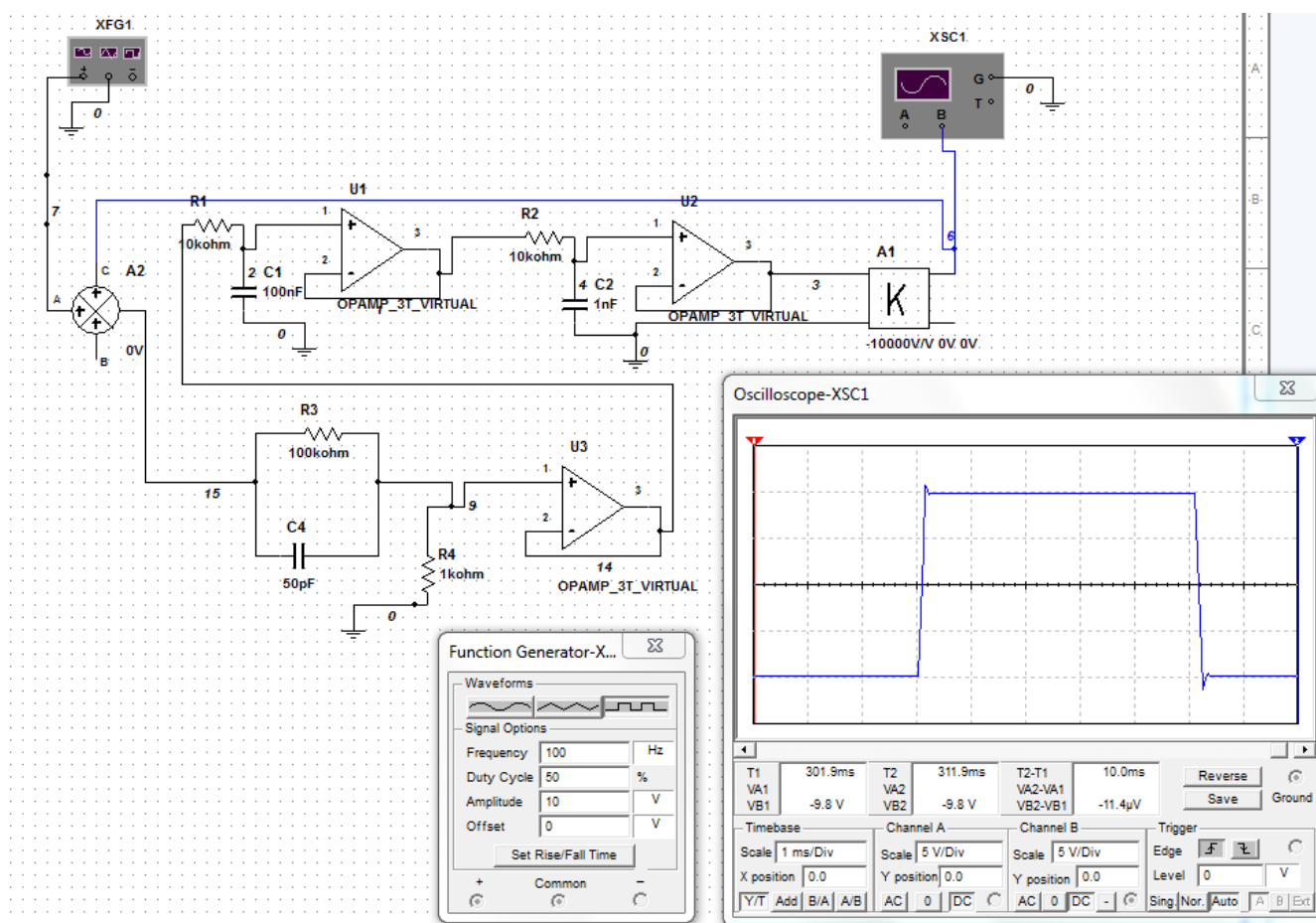


Рисунок 5.11 - Результаты испытания усилителя со скорректированной ЧХ по второму варианту

Прежняя схема усилителя остается без изменения, но имеется дополнение в виде звена коррекции, выполненного на элементах U3, R3, C4, R4.

Наличие конденсатора C4 определяет "подъем" усиления в области частот, задаваемой дополнительными элементами – R3 и R4 (в действительности, происходит ослабление сигнала на частотах ниже заданной частоты F4 и передача без ослабления на частотах выше заданной F5).

В результате выходной сигнал передается, как и в случае коррекции по первому варианту, с небольшим выбросом на фронте и спаде выходного сигнала.

На рисунке 5.12 показаны совмещенные графики ЧХ для первоначально варианта усилителя и для корректирующего звена.

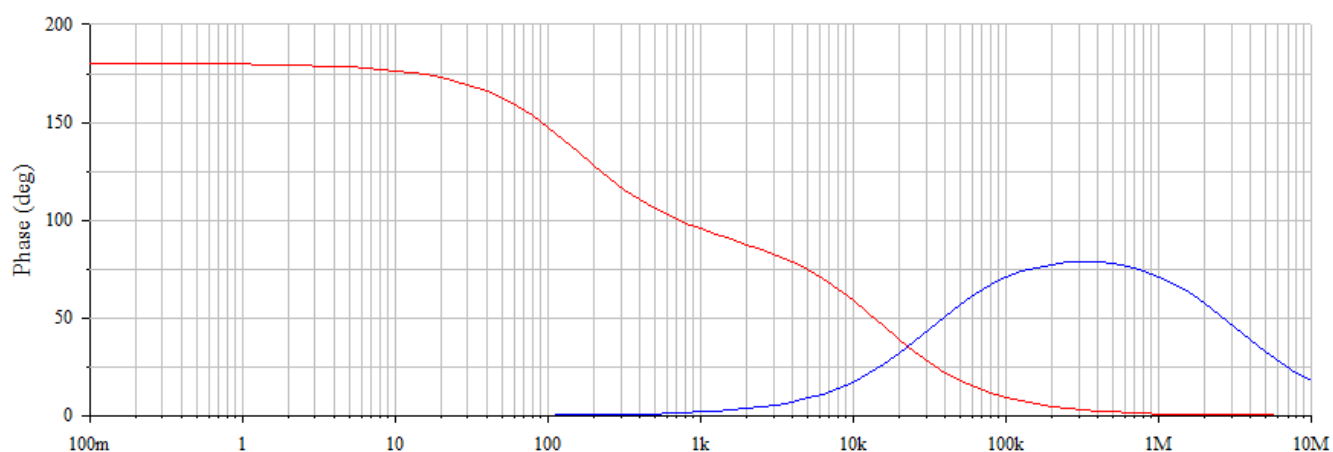
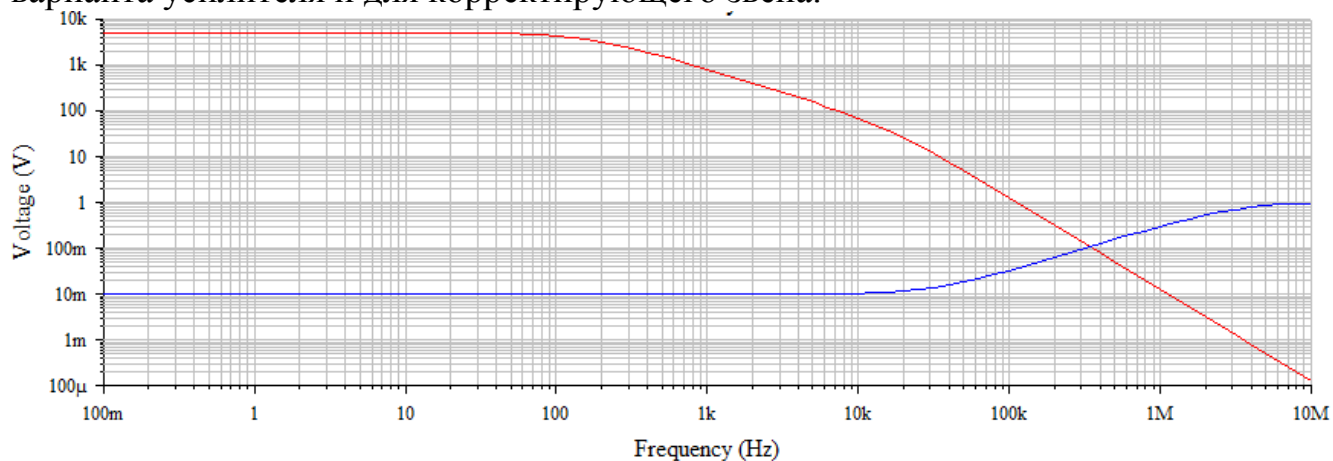


Рисунок 5.12 - Частотные характеристики усилителя и корректирующего звена

Как следует из рисунка, корректирующее звено формирует "подъем" АЧХ с наклоном 20 dB/dec начиная с частоты примерно 20kHz (ранее упоминалась как F4). После частоты примерно 3 MHz (ранее упоминалась как F5) коэффициент передачи этого звена становится единичным.

При последовательном соединении усилителя и корректирующего звена результирующие графики могут быть получены объединением обеих ЧХ.

При использовании системы моделирования проще разомкнуть ОС в ранее приведенной схеме и выполнить функцию расчета ЧХ. Результат этого показан на рисунке 5.13.

На рисунке проведены две поясняющие линии:

- горизонтальная, которая отмечает единичное усиление;
- вертикальная, которая отмечает пересечение линии единичного усиления и АЧХ усилителя.

Частота единичного усиления составляет примерно 7kHz, а фазовый сдвиг на этой частоте примерно 110°.

Как и в предыдущем варианте коррекции, получен приемлемый результат. Сравнивая оба варианта, констатируем:

- во втором варианте частотный диапазон передачи сигнала с допустимыми искажениями шире;
- во втором варианте запас по глубине обратной связи в низкочастотной зоне ниже.

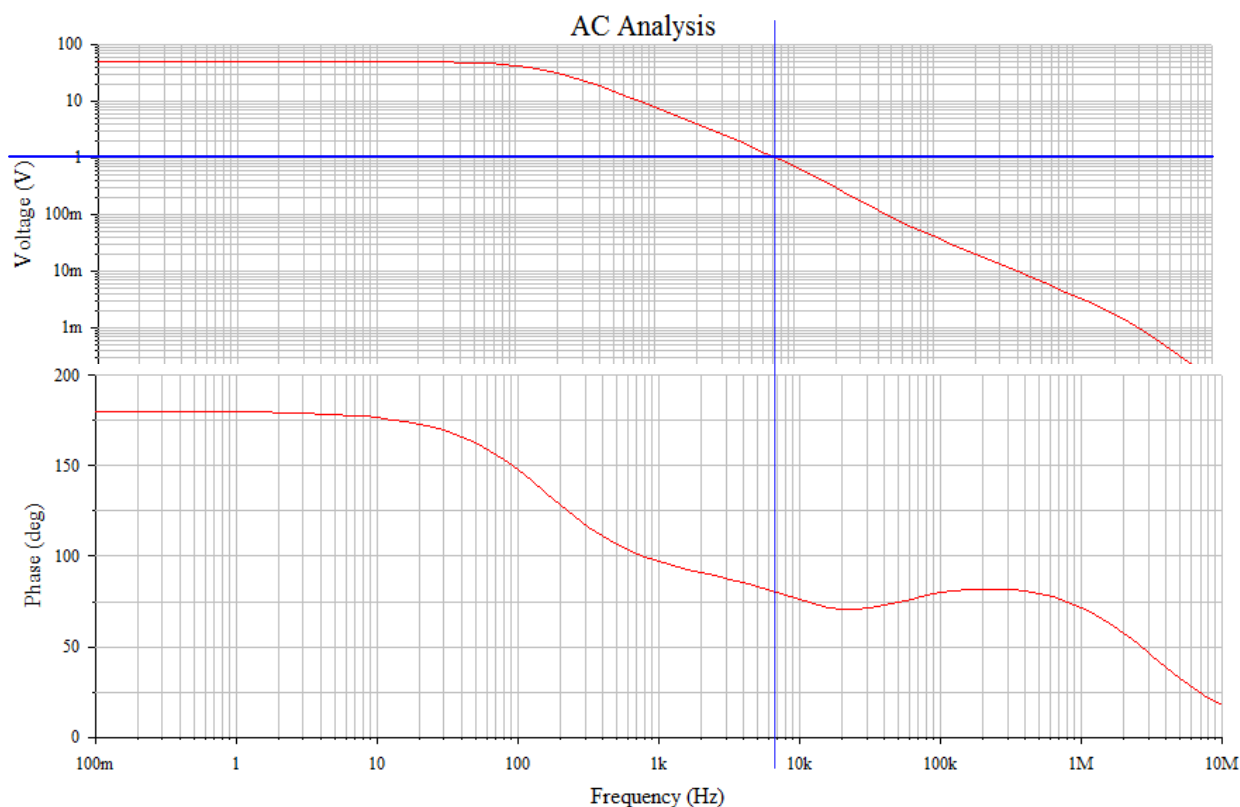


Рисунок 5.13 - Частотные характеристики усилителя с разомкнутой ОС при втором варианте коррекции

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическим материалом *до проведения исследований* в рамках плановой самостоятельной работы.
2. Рекомендуется повторить описанные во введении действия в системе симуляции. Включить в отчет все требуемые диаграммы.
3. Обязательно *повторить* эти исследования, изменив параметры элементов в соответствии с вариантом задания (таблица 5.1). Элементы узлов коррекции (R3, R4, C3, C4) рассчитать самостоятельно, обеспечив устойчивость усилителя. Включить в отчет все требуемые диаграммы и описание хода экспериментов.

Таблица 5.1 – Варианты заданий

№	R1	C1	R2	C2	К для не- чётных номеров варианта	К для чёт- ных номе- ров вари- анта
1,2						
3,4						
5,6						
7,8						
9,10						
11,12						
13,14						
15,16						

Примечание: для положительных коэффициентов K в задании обратную связь замыкать через вход сумматора, переведенный в режим инверсного входа (путем задания в свойствах коэффициента передачи данного входа в -1).

Контрольные вопросы

1. Диаграмма Боде. Дать краткое описание.
2. Усилитель содержит один каскад. Известна диаграмма Боде в виде аппроксимации асимптотами. Насколько отличается реальная АЧХ от аппроксимирующей в точке пересечения асимптот?
3. Узлы усиления K_1 и K_2 соединены в системе последовательно. Известны ЛАЧХ каждого усилителя в графическом виде. Как построить график результирующей ЛАЧХ – суммированием или перемножением?
4. Какова глубина обратной связи на частоте 100HZ (рисунок для первого варианта коррекции)?
5. Какова глубина обратной связи на частоте 100HZ (рисунок для второго варианта коррекции)?
6. Что такое запас устойчивости по фазе?
7. Что такое динамическая погрешность коэффициента передачи замкнутой системы?
8. Сформулируйте критерий устойчивости, применяемый в ходе данной работы, иллюстрируя ответ диаграммами Боде.
9. Какие другие критерии устойчивости Вам известны? Почему в электронике выбор сделан в пользу критерия Найквиста?
10. Как обеспечить коэффициент передачи усилителя больше 1? Приведите структурную схему усилителя как САР.
11. Известно, что усилитель устойчив при коэффициенте передачи 10. Будет ли сохранена устойчивость при увеличении коэффициента на 6 децибел?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления : учебное пособие / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. - СПб. : Профессия, 2003. – 752 с.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. — Изд. 2-е. — М.: Издательство БИНОМ. — 2014. - 704 с.
3. Нестеренко Б. К. Интегральные операционные усилители: Справочное пособие по применению. — М.: Энергоиздат 1982. — 128 с.
4. Титов, Д.В. Основы теории управления: учеб. пособие / Д. В. Титов, И .Е. Чернецкая, Т. А. Ширабакина ; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2022. – 204 с.
5. Федосенков, Б. А. Теория автоматического управления: классические и современные разделы : учебное пособие / Б. А. Федосенков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет». – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2018. – 322 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495195> (дата обращения: 19.06.2024). – Режим доступа: по подписке . – Текст : электронный.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Свойства некоторых функциональных элементов САР

Усилитель сигнала

Блок усиления сигнала по напряжению (сокращенно – усилитель) имеет вид четырехконтактного элемента, представленный на рисунке 1.



Рисунок 1 – Изображение усилителя

Нажатие правой кнопки мыши на изображении позволяет получить доступ к свойствам элемента. Для усилителя свойства показаны на рисунке 2.

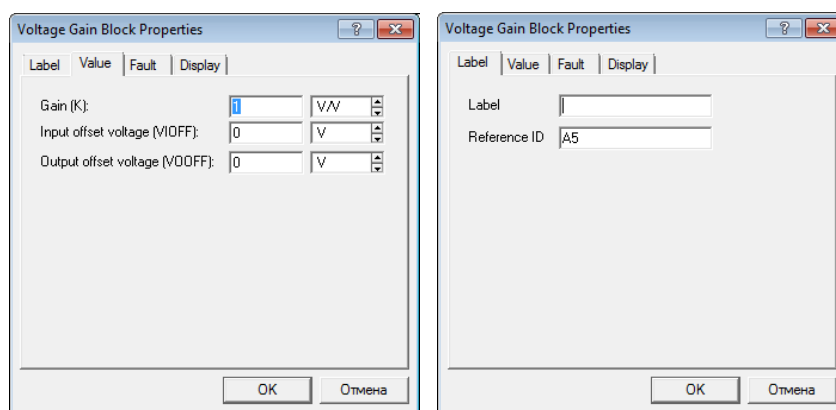


Рисунок 2 – Свойства усилителя по умолчанию

Основной параметр рассматриваемого усилителя – коэффициент усиления по напряжению. Его можно настроить требуемым образом, как показано на рисунке 3.

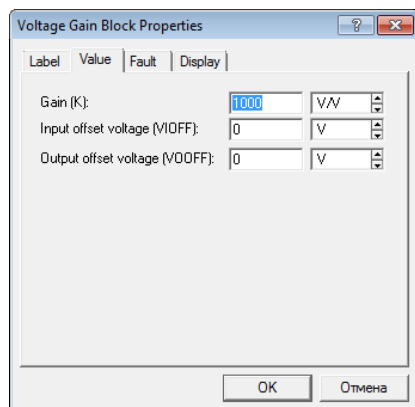


Рисунок 3 – Изменение параметров усилителя

Сумматор

Сумматор имеет вид, представленный на рисунке 4. Выводы, обозначенные буквами А, В и С являются входами сумматора. На выходе сумматора формируется сигнал, представляющий собой сумму всех входных сигналов. Если любой из входов оказывается неподключенным, то в суммировании он не участвует (на оборванном входе присутствует "нулевой" сигнал).

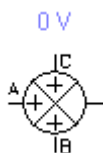


Рисунок 4 - Сумматор с тремя неинвертирующими входами

Нажатие правой кнопки мыши на изображении позволяет получить доступ к свойствам элемента. Для сумматора свойства показаны на рисунке 5.

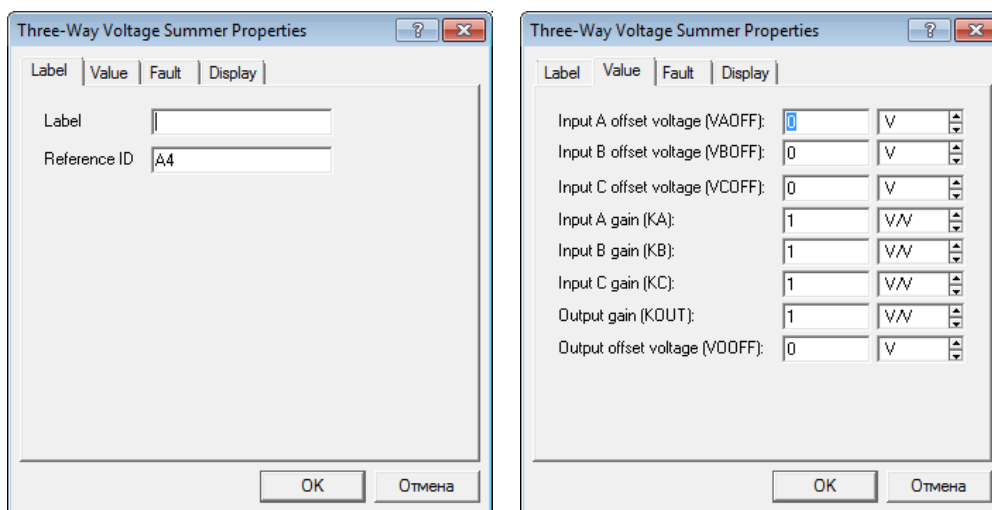


Рисунок 5 - Свойства сумматора по умолчанию

Величины параметров Input A gain, Input B gain, Input C gain могут быть настроены для придания сумматору особых свойств. Одним из часто требуемых свойств при построении моделей САП является инверсное назначение входа, что означает не суммирование данного сигнала, а его вычитание из результата. На рисунке 6 показано, как сделать вход С инверсным: придать параметру Input C gain значения -1.

К сожалению, такое изменение не отразится на внешнем виде элемента. Чтобы избежать путаницы при составлении схем, можно изменить наименование элемента в разделе Label.

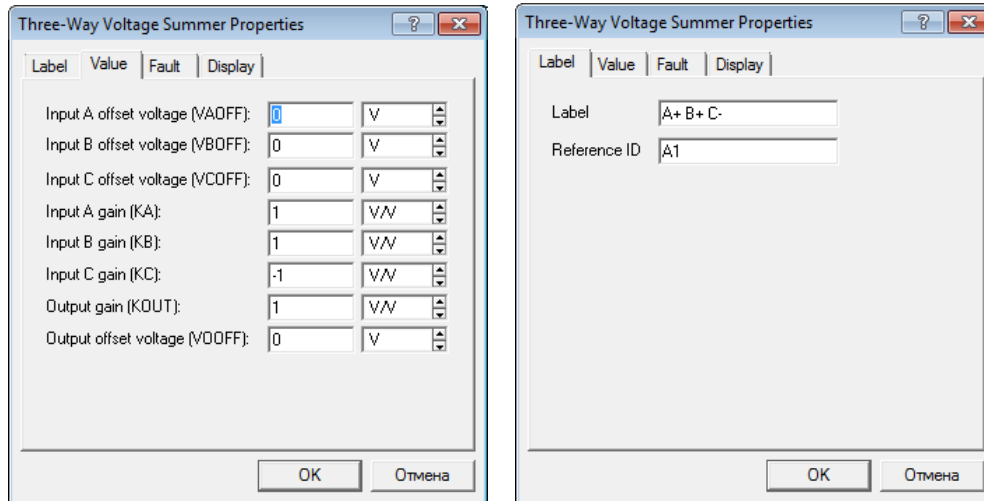


Рисунок 6 - Инверсный вход С сумматора

На рисунке 7 пояснение $A+ B- C+$, введенное пользователем, дает подсказку, что инверсным для данного элемента на схеме является вход В, а остальные входы являются прямыми.

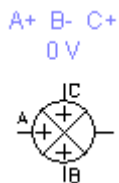


Рисунок 7 - Сумматор с прямыми входами А и С и инверсным В

Интегратор

Интегратор имеет вид, представленный на рисунке 8.

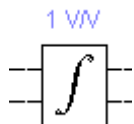


Рисунок 8 - Обозначение интегратора

Нажатие правой кнопки мыши на изображении позволяет получить доступ к свойствам элемента. Для интегратора свойства *не могут быть изменены* (рисунок 9)..

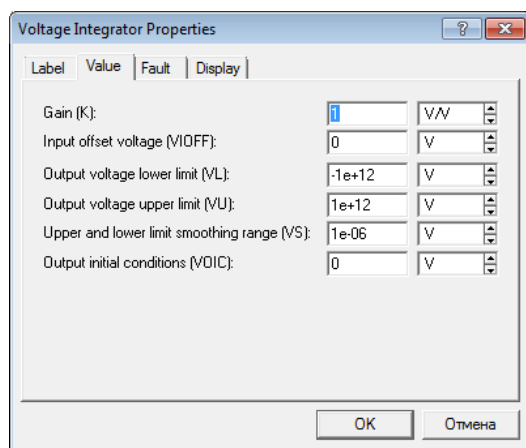


Рисунок 9 - Свойства интегратора

При построении схем САР применяют интеграторы с настраиваемым параметром коэффициента передачи (по другим методикам – с настраиваемой постоянной интегрирования).

В EWB настройку можно осуществить путем добавления последовательно соединенного усилителя, как показано на рисунке 10.

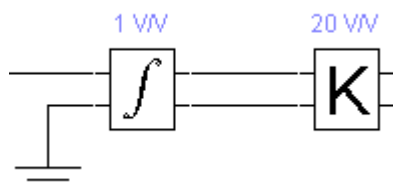


Рисунок 10 - Изменение коэффициента передачи интегратора

Рассмотрим различия между способами определения коэффициента передачи интегратора по разным методикам. В источнике [1] на странице 88 указано, что для установки АВК-6 "Коэффициент передачи интегратора (величина, обратная постоянной интегрирования) может быть выбран равным 1, 10 или 100 с^{-1} "в зависимости от положения соответствующей переключки".

Таким образом, в соответствии со сказанным, размерность коэффициента передачи интегратора равна $1/\text{s}$.

В свойствах интегратора EWB размерность коэффициента передачи интегратора указана как V/V .

Рассмотрим поведение интегратора EWB в сравнении с интегратором, собранным на операционном усилителе (ОУ). Упрощенная версия интегратора на ОУ совместно с элементом EWB исследуется при равных условиях (рисунок 11).

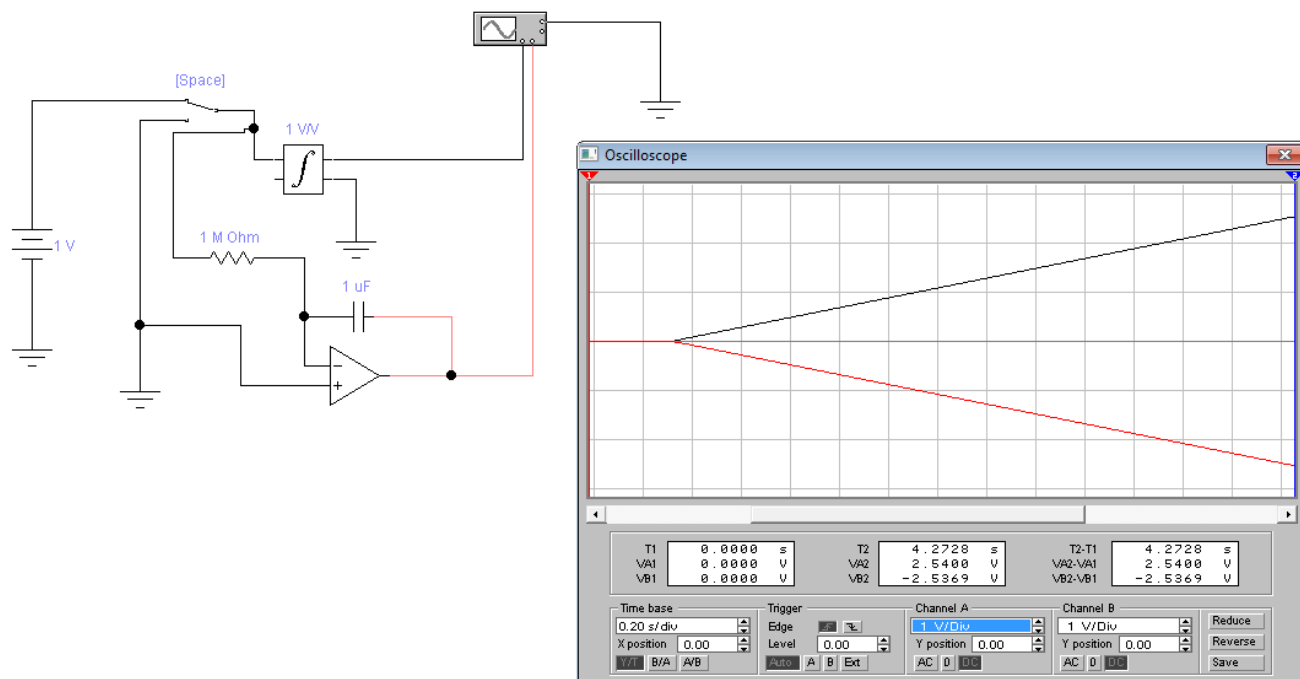


Рисунок 11 - Сравнение интегратора EWB и интегратора на ОУ

Режим устанавливается после замыкания и размыкания ключа. Сигнал достигает 1V через 1s .

Уравнение для интегратора по приведенной схеме хорошо известно:

$$U_c(t) = (1/C) \int i(t) dt = (1/C) \int U(t)/R dt = (1/RC) \int U(t) dt, \quad (1)$$

где $U(t)$ – напряжение на входе.

В нашем случае напряжение на входе – константа 1V .

Выражение (1) можно далее преобразовать и записать так:

$$U_c(t) = (1/R) \int U(t)/R dt = (1/R) \int U_0/R dt = I_0 * t / C = U_0 * t / RC, \quad (2)$$

где $I_0 = U_0/R$ – входной ток интегратора.

Коэффициент передачи интегратора в соответствии с общим определением равен:

$K_{и} = U_c(t)/U_{вх} = U_c(t)/U_0 = t/RC$ и есть величина безразмерная.

Отметим, что это соответствует в том числе и размерности V/V , просто в обозначении ЕWB безразмерность коэффициента представлена для преобразователя типа "напряжение в напряжение" а определение базируется на формуле (2).

В литературе [1] данное определение базируется на формуле (1), и коэффициентом передачи определен как множитель перед интегралом.

Постоянная интегрирования в обоих случаях определена одинаково. Рассчитать ее можно по рисунку выше.

После разряда конденсатора напряжение на выходе интегратора достигнет значения входного константного напряжения через $T_{и} = RC$, что следует из выражения $U_0 * t/RC = U_0$.

Таким образом, для приведенных схем постоянная интегрирования равна 1 секунде.

Перемножитель

Перемножитель имеет вид, представленный на рисунке 12.

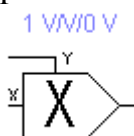


Рисунок 12 - Обозначение перемножителя

Нажатие правой кнопки мыши на изображении позволяет получить доступ к свойствам элемента. Значения параметров по умолчанию приведены на рисунке 13 слева. Коэффициент передачи умножителя можно изменять, пример показан на рисунке 13 справа.

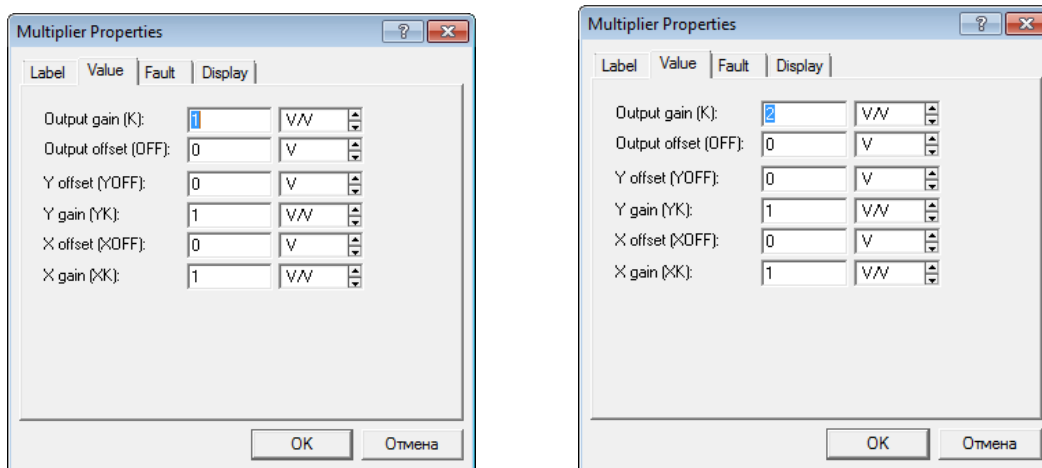


Рисунок 13 - Свойства перемножителя по умолчанию (слева) и измененные (справа)

Выходной сигнал перемножителя соответствует произведению входных сигналов и коэффициента передачи перемножителя.

Пример, иллюстрирующий работу перемножителей, приведен на рисунке 14.

На верхний по схеме перемножитель поступает сигнал с функционального генератора и постоянное напряжение положительной полярности.

На нижний по схеме перемножитель поступает тот же сигнал с функционального генератора и постоянное напряжение отрицательной полярности.

Выходные сигналы в итоге различаются по амплитуде и по полярности.

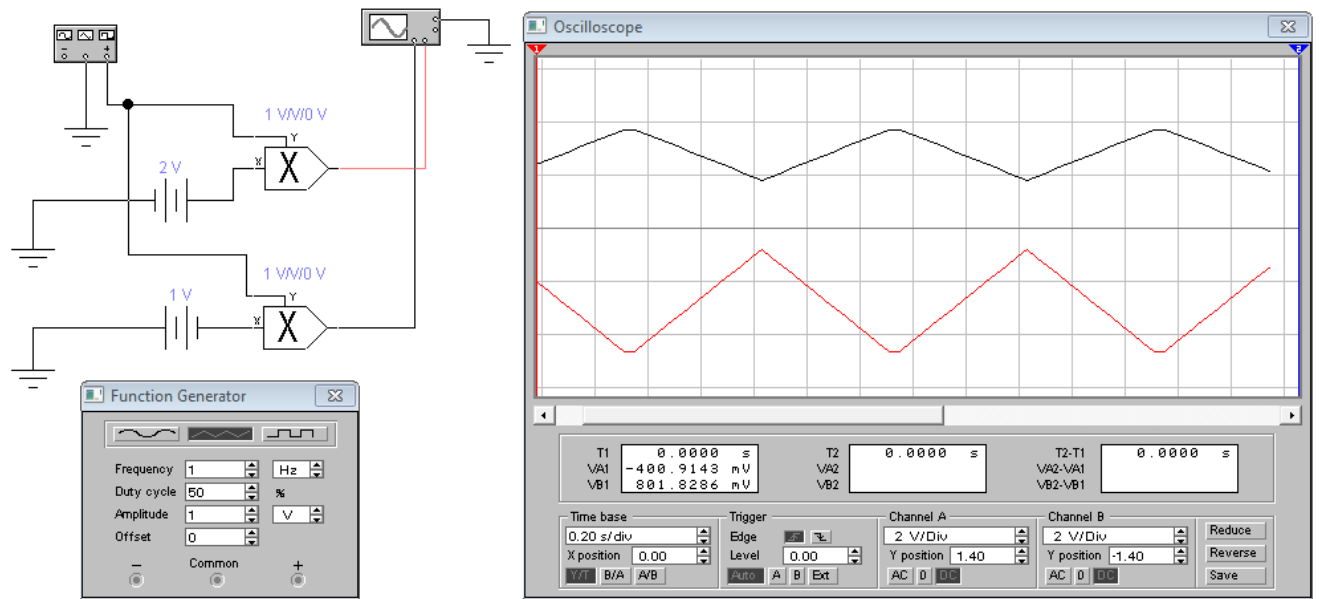


Рисунок 14 - Иллюстрация работы перемножителя для сигнала и кон-
стантных напряжений

Ограничитель уровня сигнала

Ограничитель уровня сигнала (для упрощения - ограничитель) имеет вид, представленный на рисунке 15.

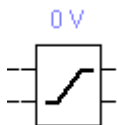


Рисунок 15 - Обозначение ограничителя уровня сигнала

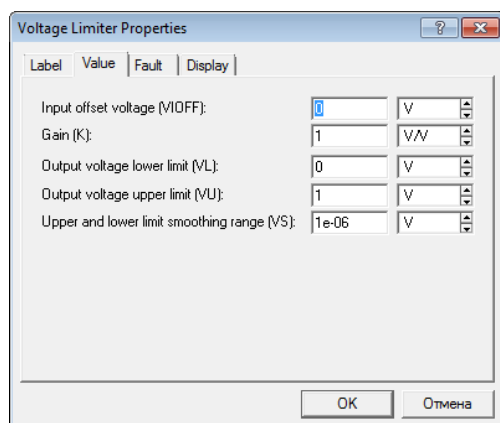


Рисунок 16 - Свойства ограничителя по умолчанию

Свойства ограничителя неизменны. Параметры по умолчанию показаны на рисунке 16.

Изменить величину и полярность порога можно путем добавления модификатора в виде усилителя, свойства которого можно настраивать. На рисунке 17 верхний по схеме модуль ограничения имеет положительный порог ограничения +2V, нижний имеет отрицательный порог ограничения -1V. Здесь показана работа ограничителей при амплитуде сигнала, не превышающего пороги.

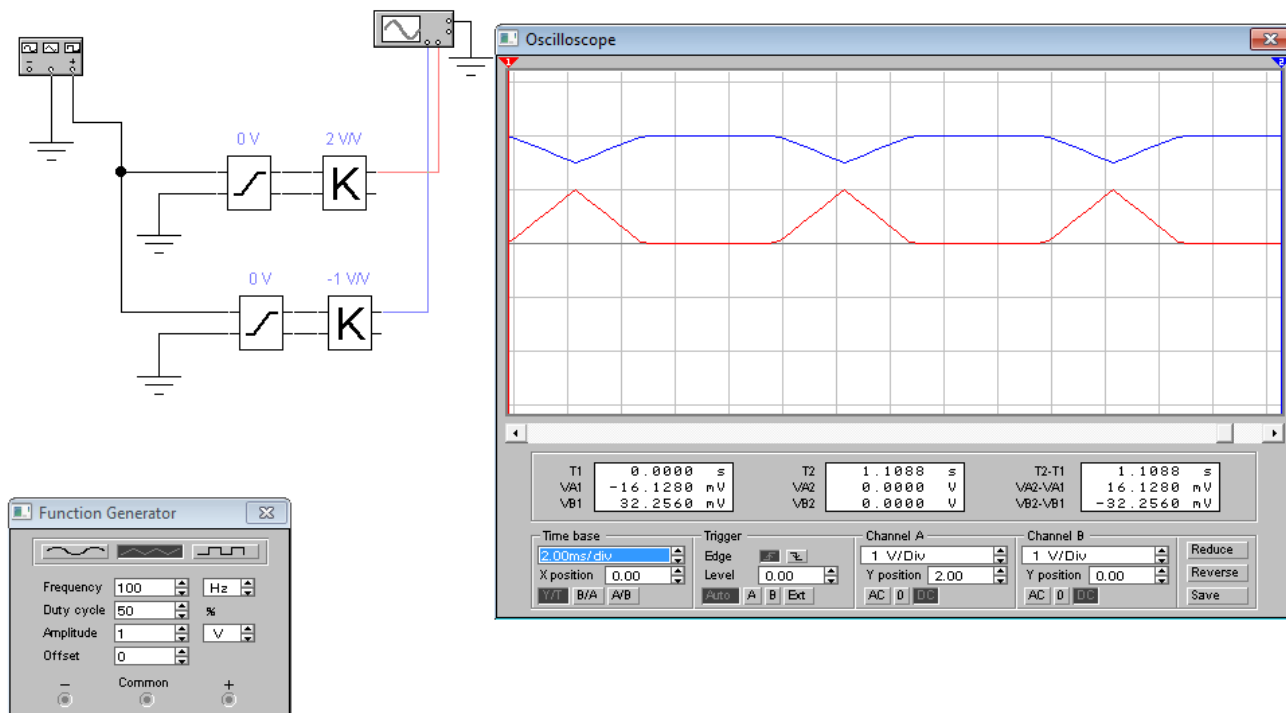


Рисунок 17 - Работа ограничителей при амплитуде сигнала, не превышающего пороги

В случае, если сигнал превышает пороги, наблюдаем ограничение по заданным величинам (рисунок 18).

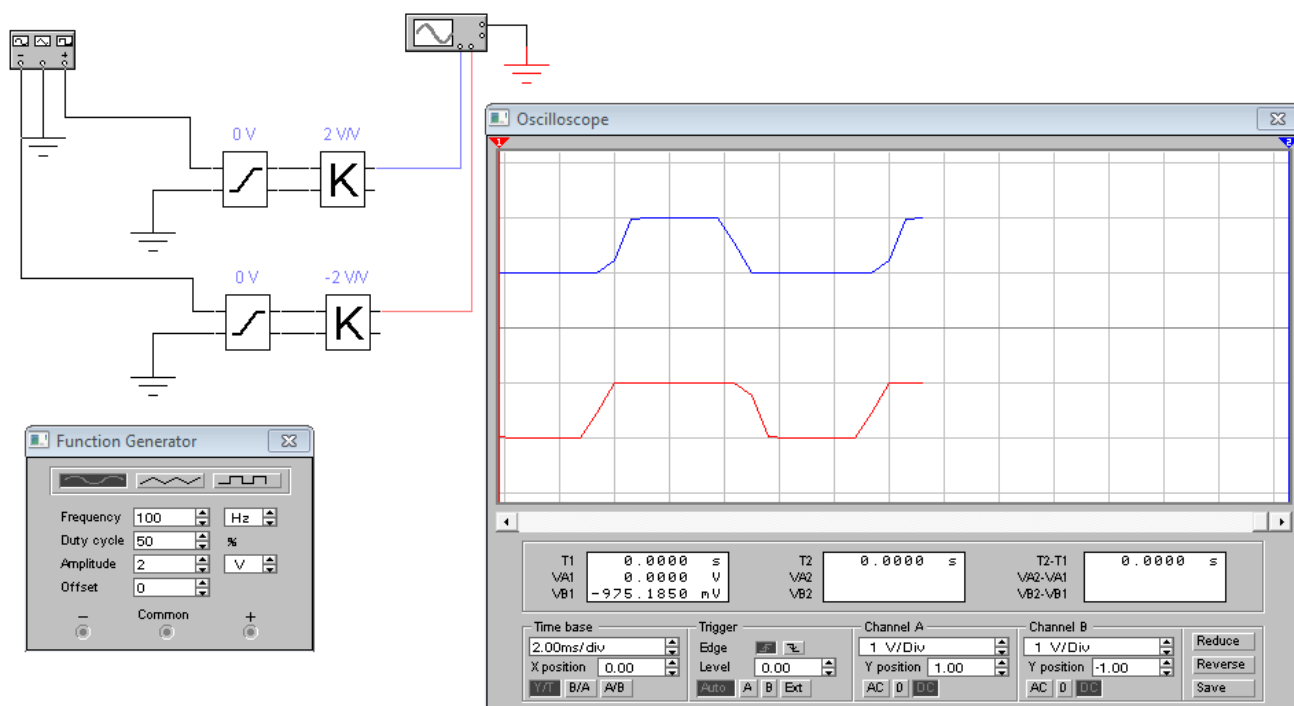


Рисунок 18 - Работа ограничителей при амплитуде сигнала, превышающего пороги

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Бланк для построения логарифмических частотных характеристик

