

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЭС**

Учебно-методическое пособие по практической и самостоятельной работе  
студентов

Доцент каф. РСС,  
канд. техн. наук  
\_\_\_\_\_ С.А. Артищев

Томск 2018

## Содержание

|   |                                                                                                                                                                  |    |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Цели и задачи дисциплины.....                                                                                                                                    | 3  |
| 2 | Указания по самостоятельной работе студентов .....                                                                                                               | 4  |
| 3 | Указания по практической работе студентов.....                                                                                                                   | 6  |
|   | Практическое задание №1 «Исследование функциональных возможностей AWR Design Environment».....                                                                   | 7  |
|   | Практическое задание №2 «Расчет импульсной и переходной характеристик цепи» .....                                                                                | 24 |
|   | Практическое задание №3 «Исследование ВАХ и ВФХ инерционной и безынерционной модели диода» .....                                                                 | 35 |
|   | Практическое задание № 4 «Лабораторная работа №4 «Синтез и оптимизация полосового фильтра» .....                                                                 | 52 |
|   | Практическое задание №5 «Программирование гибких средств измерения с применением LabVIEW и платформы PXI для системы проектирования AWR Design Environment»..... | 61 |

## **1 Цели и задачи дисциплины**

Целью преподавания дисциплины является формирование навыков проектирования радиоэлектронных средств (РЭС) с применением компьютерных систем автоматизированного проектирования (САПР), а также интегрированных систем моделирования и измерений.

Задачи дисциплины:

- Проведение аналитического обзора при подготовке к проектированию РЭС.
- Приобретение навыков работы с пакетом автоматизированного проектирования AWR Design Environment.
- Изучение разновидностей моделей элементов РЭС и основных разновидностей САПР и интегрированных систем моделирования и измерений; методов синтеза и оптимизации электрических цепей и структур.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

- знать стандартные пакеты прикладных программ, ориентированных на решение научных и проектных задач радиоэлектроники.
- уметь применять компьютерные системы и пакеты прикладных программ для проектирования и исследования радиотехнических устройств.
- владеть типовыми программными средствами для автоматизации проектирования и моделирования радиоэлектронных цепей, устройств и систем.

## **2 Указания по самостоятельной работе студентов**

Самостоятельная работа студентов по дисциплине включает в себя следующие элементы:

- проработка лекционного материала и подготовка к контрольным работам;
- подготовка к практическим занятиям;
- выполнение аналитического обзора и оформление рефератов и докладов по тематике практических занятий;
- подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов;
- выполнение курсового проекта и оформление пояснительной записки (если данный вид контроля предусмотрен в РУП);
- подготовка к экзамену (если данный вид контроля предусмотрен в РУП);
- подготовка к зачету.

Эффективная самостоятельная работа предполагает внимательную и активную работу студента на лекциях и групповых занятиях, аккуратное ведение и детальное изучение конспекта, изучение и усвоение навыков работы в САПР.

Для самостоятельной внеаудиторной работы при углубленной проработки теоретического материала рекомендуется использовать следующие учебные пособия:

- 1 Основы автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств (часть 1): Учебное пособие / Кологривов В. А. — 2012. 120 с.
- 2 Основы автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств (часть 2): Учебное пособие / Кологривов В. А. — 2012. 132 с.

- 3 Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ-устройств с помощью Microwave Office. Под ред. В.Д. Разевига. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 496 с.
- 4 Компьютерное моделирование процессов в РЭС: Учебное пособие / Романовский М. Н. — 2016. 101 с.
- 5 Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств: Учебно-методическое пособие / Красько А. С. – 2012. 64 с.
- 6 Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств: Учебно-методическое пособие к практическим занятиям и организации самостоятельной работы по курсу / Тисленко В. И. – 2011. 22 с.

За время изучения дисциплины предполагается проведение контрольных работ. При подготовке к ним необходимо изучить лекционный материал. Консультации по вопросам, требующих дополнительного разъяснения, проводятся во время практических занятий. Тематики контрольных работ:

1. Основные разновидности моделей элементов РЭС.
2. Методы симуляции электрических цепей и структур.
3. Синтез и оптимизация электрических цепей и структур.

### **3 Указания по практической работе студентов**

Практические задания выполняются с применением таких САПР как AWR Design Environment и Mathcad. Занятия проводятся в компьютерном классе кафедры радиоэлектроники и систем связи, где организовано сетевое хранение данных. В результате выполнения задания каждый студент должен сохранить полученный проекты на сетевом диске.

Защита работы проводится только при наличии файла проекта. При защите проекта необходимо продемонстрировать навыки работы в САПР, уметь объяснить каким образом была реализована схема, получены графики и т.д. Кроме того, в процессе защиты студент должен продемонстрировать знания теоретической части курса.

## **Практическое задание №1 «Исследование функциональных возможностей AWR Design Environment»**

### **1 Введение**

AWR Design Environment включает в себя программный продукт Microwave Office. В Microwave Office пользователям предоставлены широкие возможности разработки ВЧ, СВЧ, КВЧ радиоэлектронных средств различного назначения и принципов их реализации. Этому пакету программ доступны многие инженерные расчеты, как по собственноручному построению схем, так и по автоматическому синтезу их. Учитывая в едином представлении радиоэлектронных устройств их схемы конструкции и системные функции, продукт Microwave Office предоставляет удобное место, не покидая которого можно спроектировать конструкцию устройства, рассчитать ее различные частотные и вольтамперные характеристики. Далее можно промоделировать работу устройств в составе системы и определить ее системные характеристики. Не требуется ни обратных аннотаций, ни каких других действий для перехода от схемного представления к конструкторскому и назад к схемному. Системное исследование проектируемых устройств тоже не требует преобразований форматов их файлов.

**Цель работы:** Ознакомиться с интерфейсом среды моделирования AWR Design Environment. Получить навыки работы с инструментами САПР.

## 2 Порядок выполнения работы

Для исследования возможностей AWR Design Environment будет исследована схема Г-образного звена фильтра, представленная на рисунке 2.1.

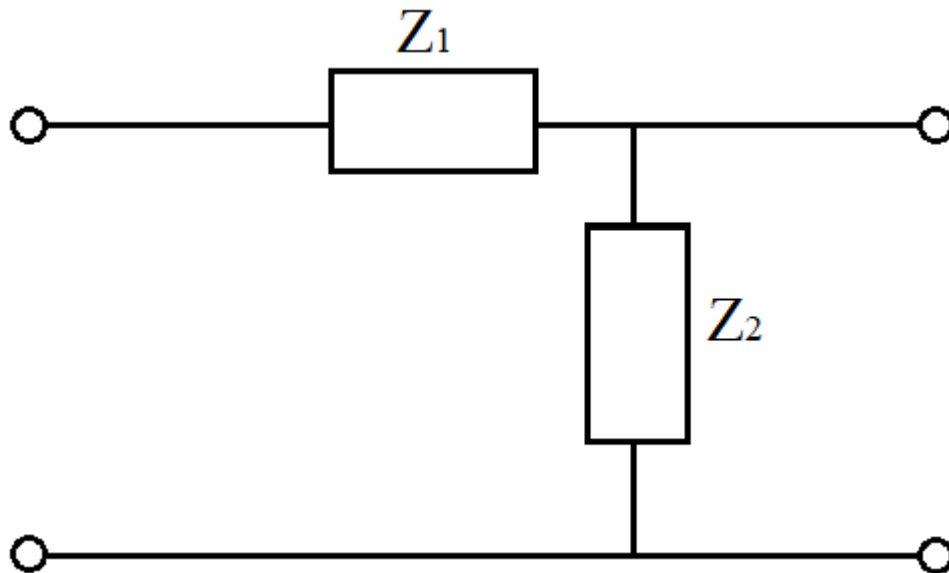


Рисунок 2.1 – Г-образное звено фильтра

Элементы  $Z_1$  и  $Z_2$  могут быть представлены сопротивлением, емкостью, индуктивностью. Составьте схему Г-образного фильтра из этих элементов, которая содержит только **один** реактивный компонент. Полученная схема будет спроектирована в AWR Design Environment.

Запустите AWR Design Environment. Для создания нового проекта в главном меню во вкладке File щелкните New Project. На панели инструментов нажмите на Add New Schematic (рисунок 2.2). Появившееся окно называется рабочем полем. Сохраните проект. В левом нижнем углу, на панели Project, выберите вкладку Elements.



Рисунок 2.2 – Панель инструментов



На вкладке Elements перейдите к Circuit Elements => Lumped Elements (рисунок 2.3).

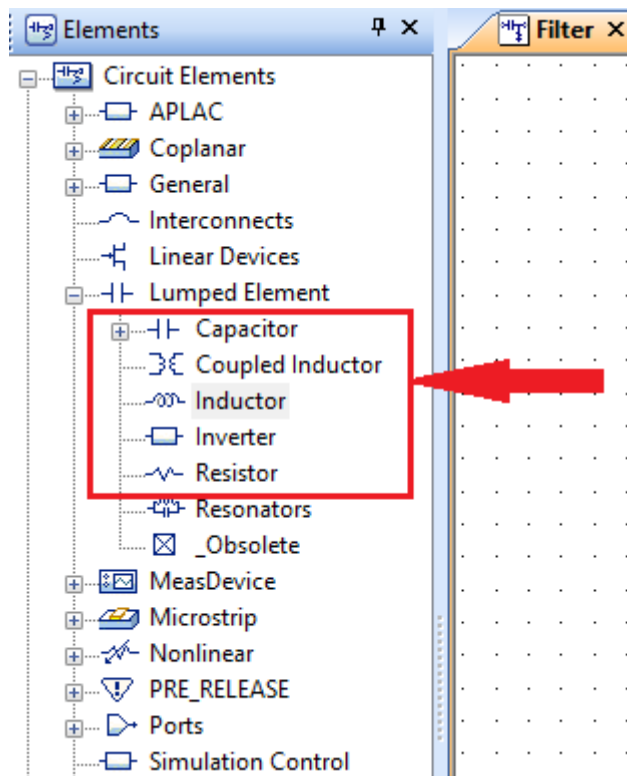


Рисунок 2.3 – Панель сосредоточенных элементов

Здесь выберите компоненты для вашей схемы и перенесите их в рабочее поле (рисунок 2.4). Когда переносите элемент на схему, нажмите правую кнопку мыши, и он повернется. Если элемент уже расположен на схеме, то выделите его, нажмите комбинацию Ctrl+R, и поверните на необходимый угол.

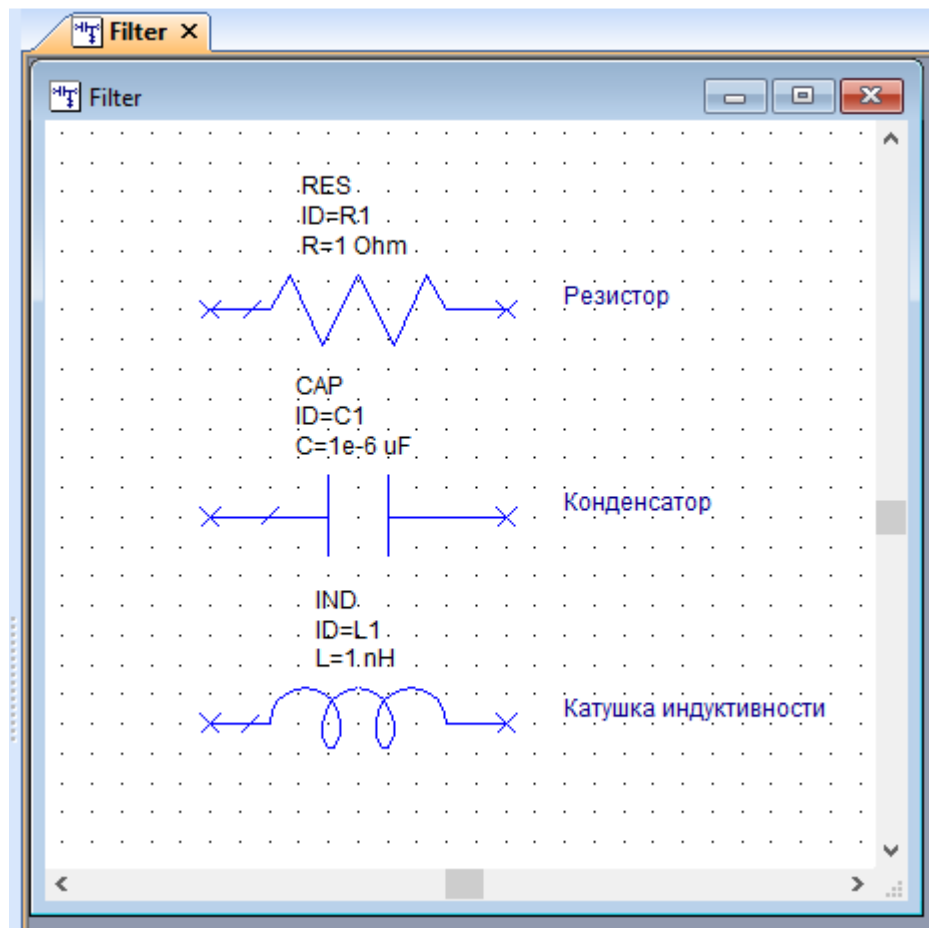


Рисунок 2.4 – Элементы схемы

Далее необходимо установить порты на вход и выход схемы. А также обозначить землю. Они находятся на панели инструментов (рисунок 2.5).

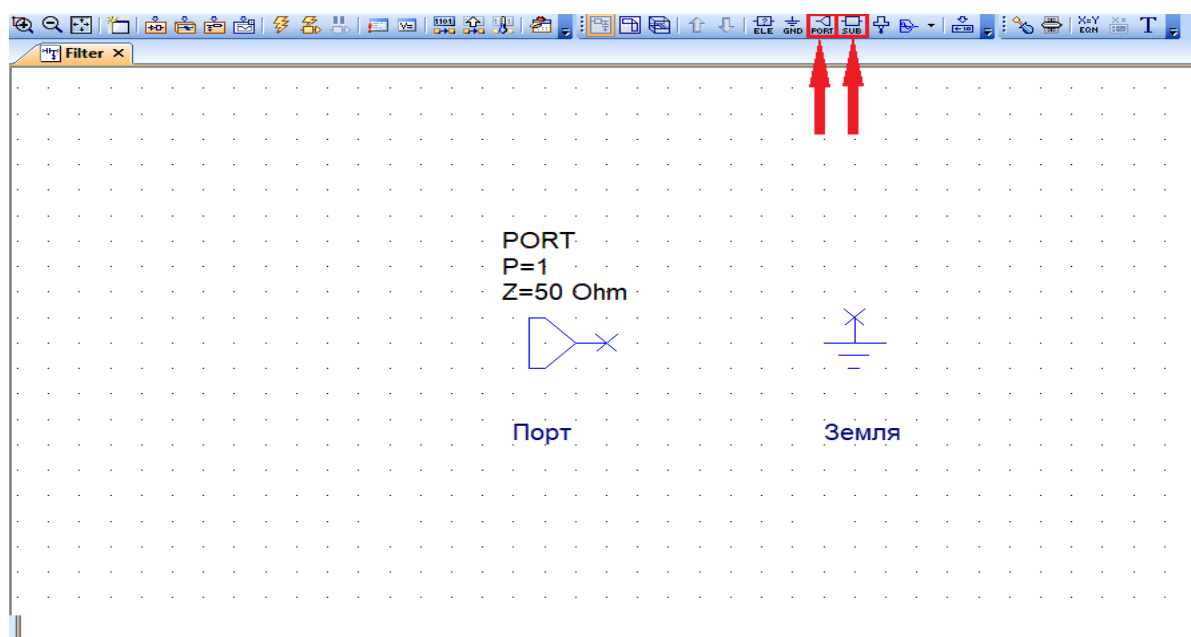


Рисунок 2.5 – Панель инструментов

Соедините все элементы схемы. Следующим этапом работы будет построение графика амплитудно-частотной характеристики. На панели инструментов выберите Add New Graph (рисунок 2.6).

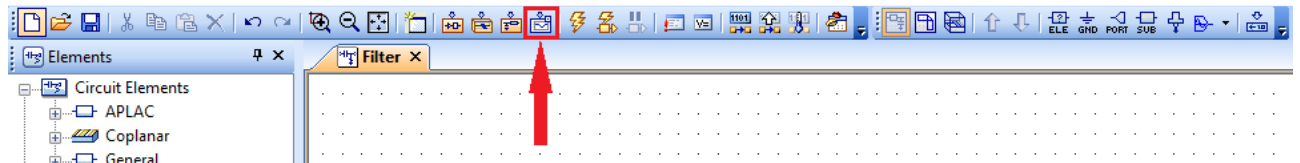


Рисунок 2.6 – Панель инструментов

В появившемся окне дайте название графику на латинице и нажмите Create.

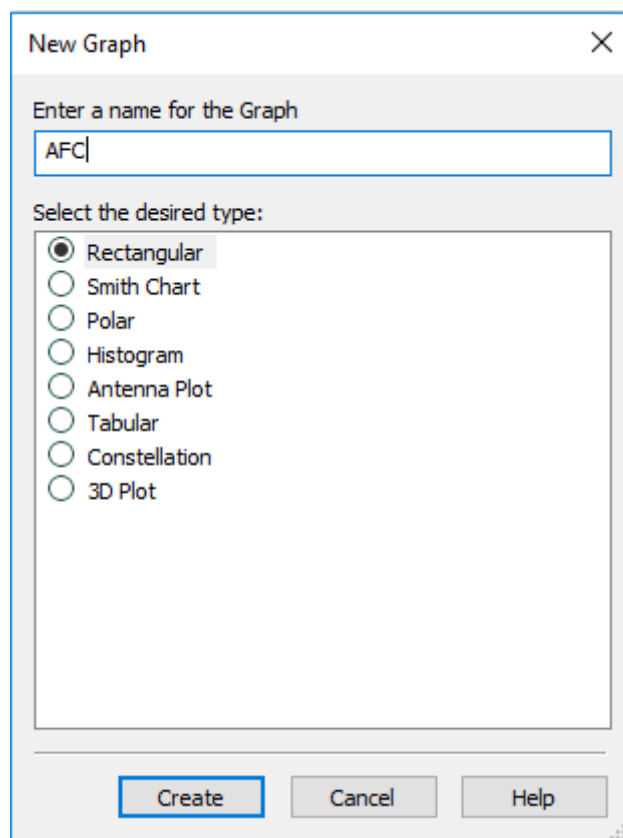


Рисунок 2.7 – Окно создания нового графика

В любом месте графика щелкните правой кнопкой мыши и из списка выберите пункт Add New Measurement.

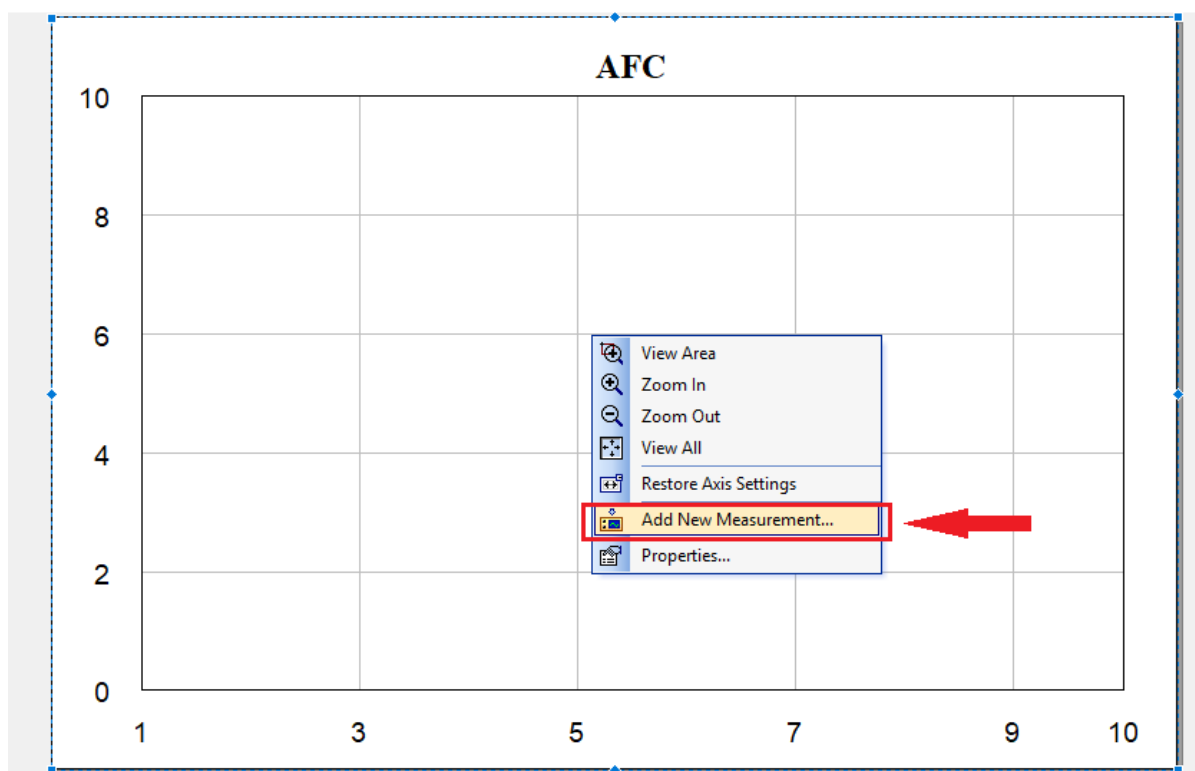


Рисунок 2.8 – Окно создание графика

В появившемся окне задайте такие же настройки, как и на рисунке 2.9.

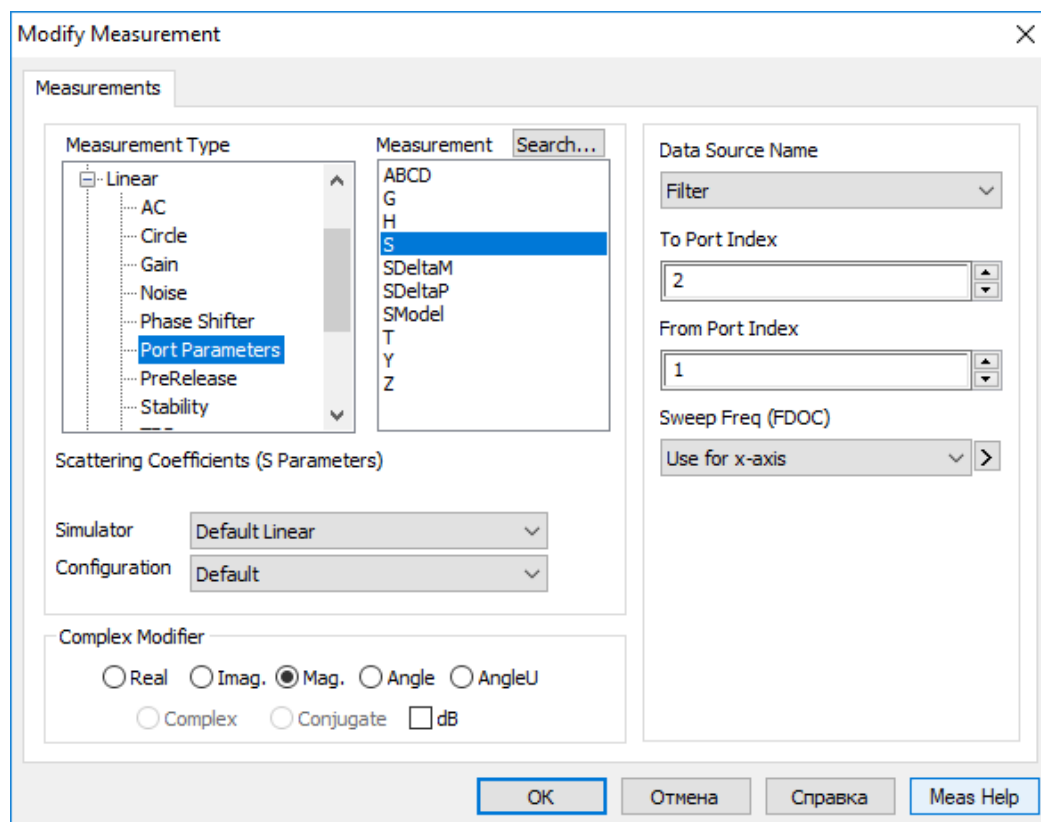


Рисунок 2.9 – Окно настроек графика

После принятых изменений запустите симуляцию, нажав на кнопку Run на панели инструментов (рисунок 2.10).

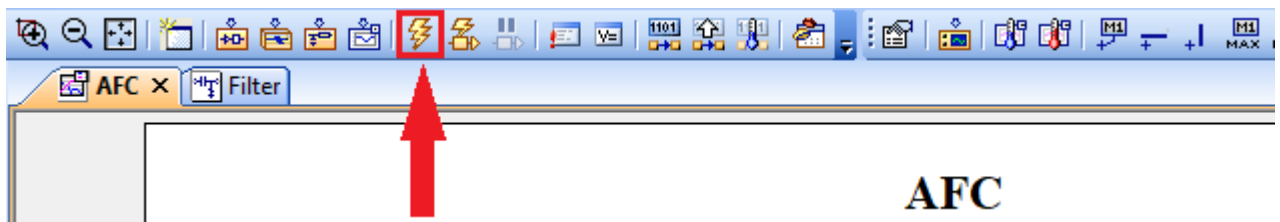


Рисунок 2.10 – Панель инструментов

Например, АЧХ может выглядеть следующим образом:

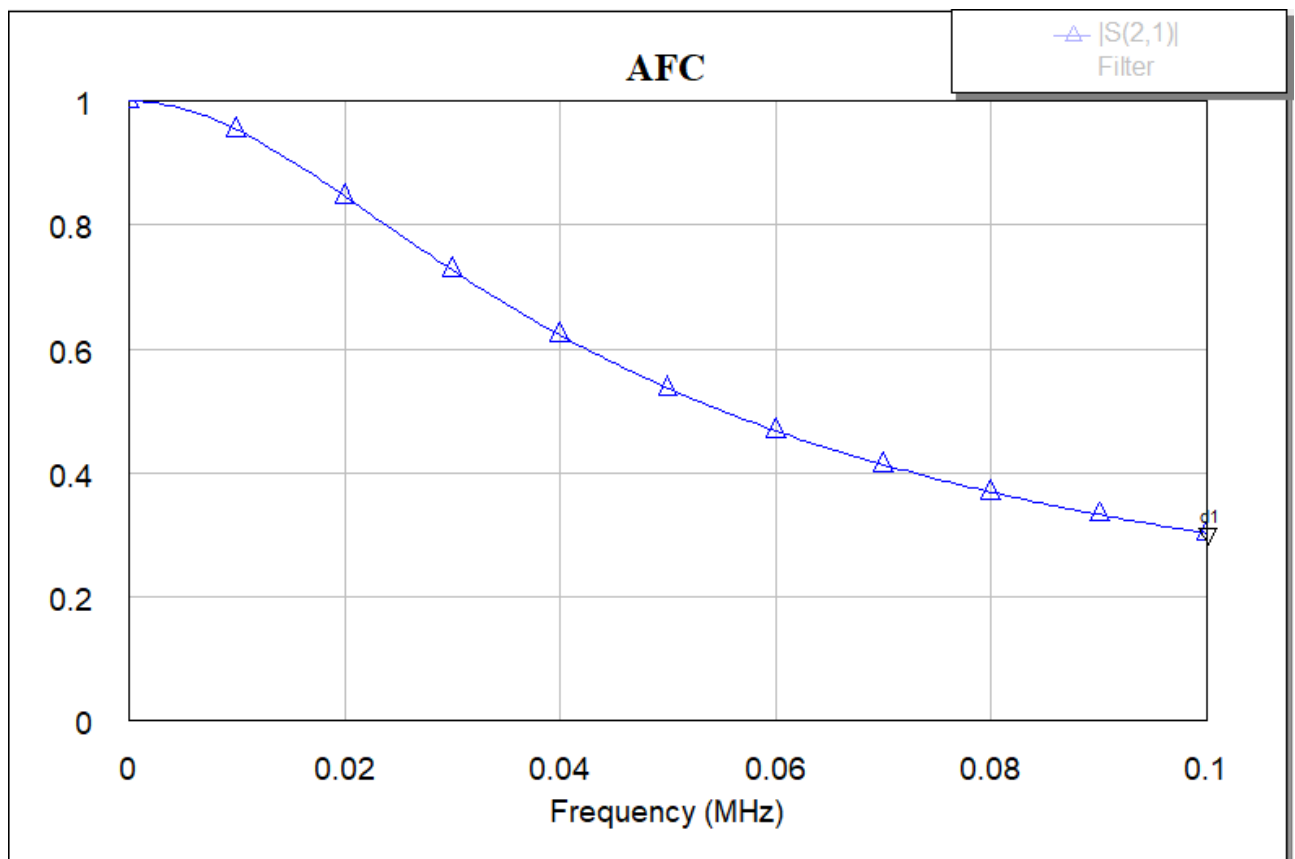


Рисунок 2.11 – АЧХ

Постройте график АЧХ в децибелах. Для этого нажмите правой кнопкой мыши на графике и выберите пункт Modify Measurement (рисунок 2.12) и настройте параметры графика в соответствии с рисунком 2.13.

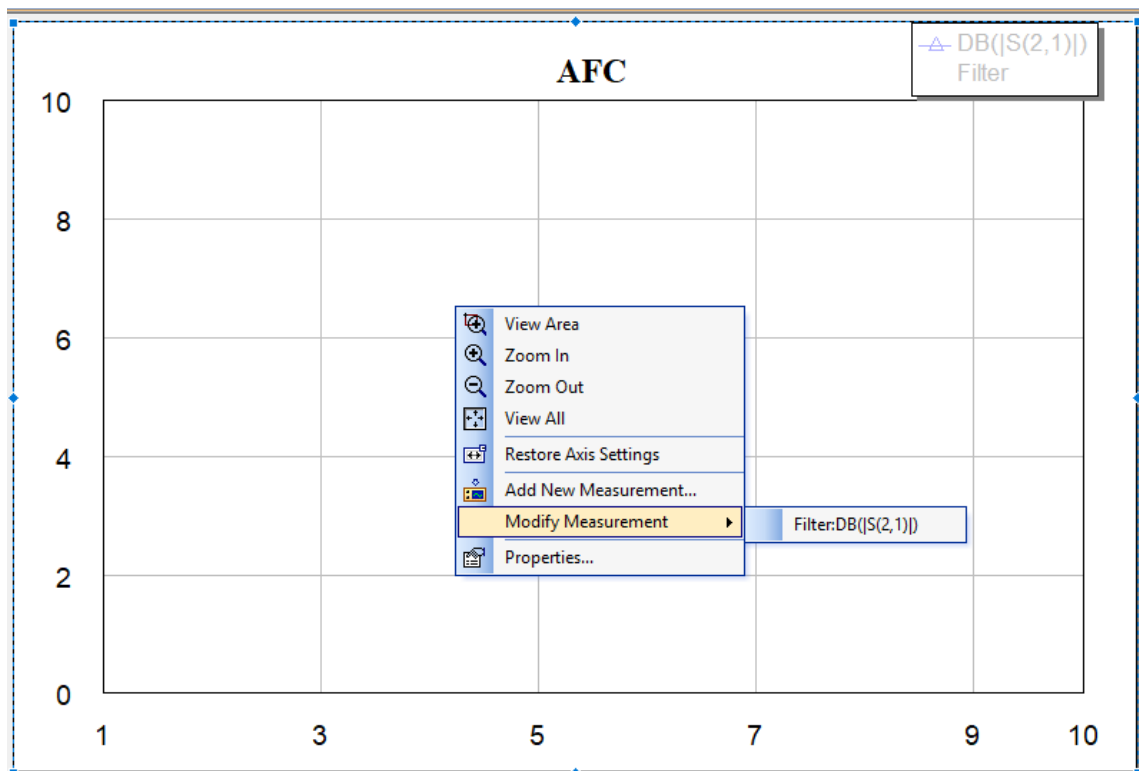


Рисунок 2.12 – Окно изменения существующего графика

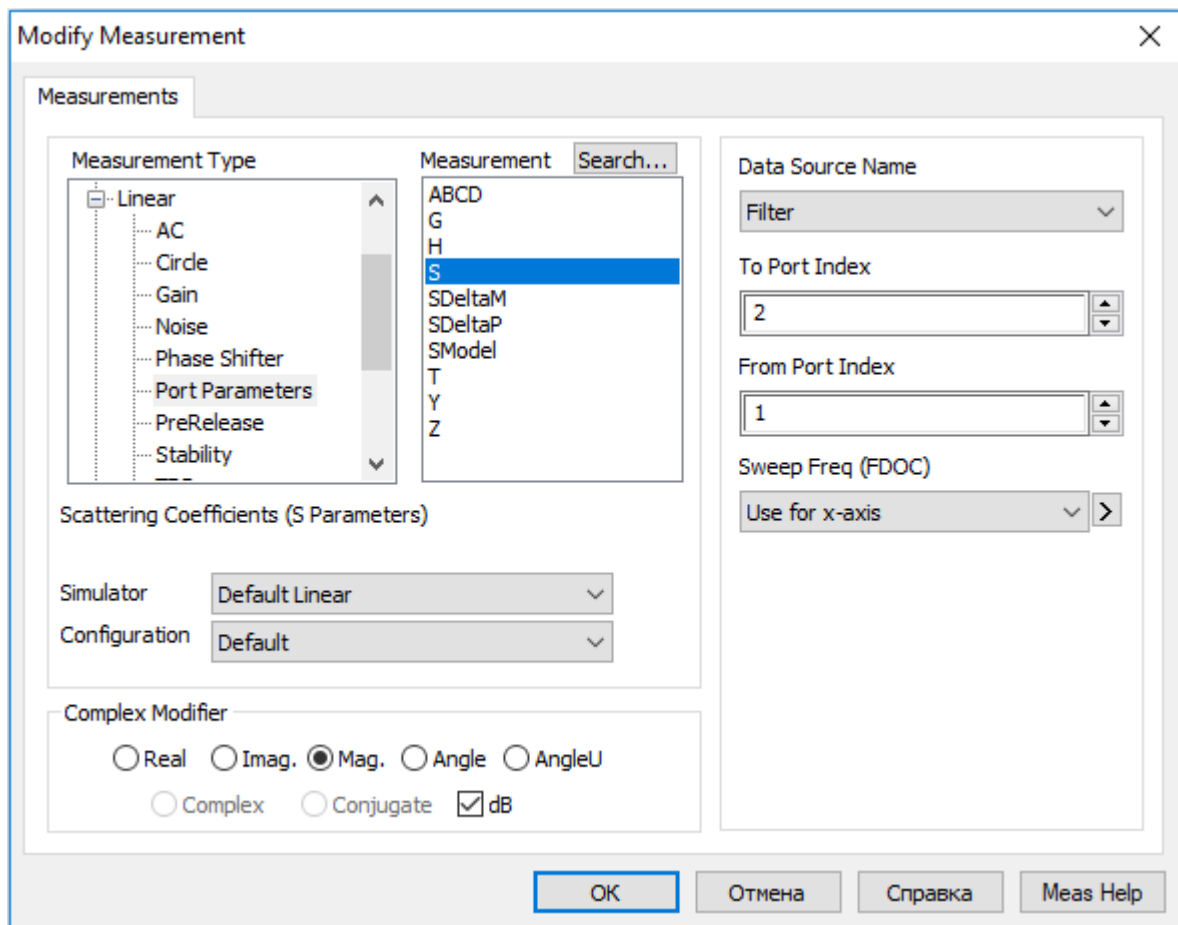


Рисунок 2.13 – Настройки графика

График, после внесенных изменений изменит свой вид (рисунок 2.14).

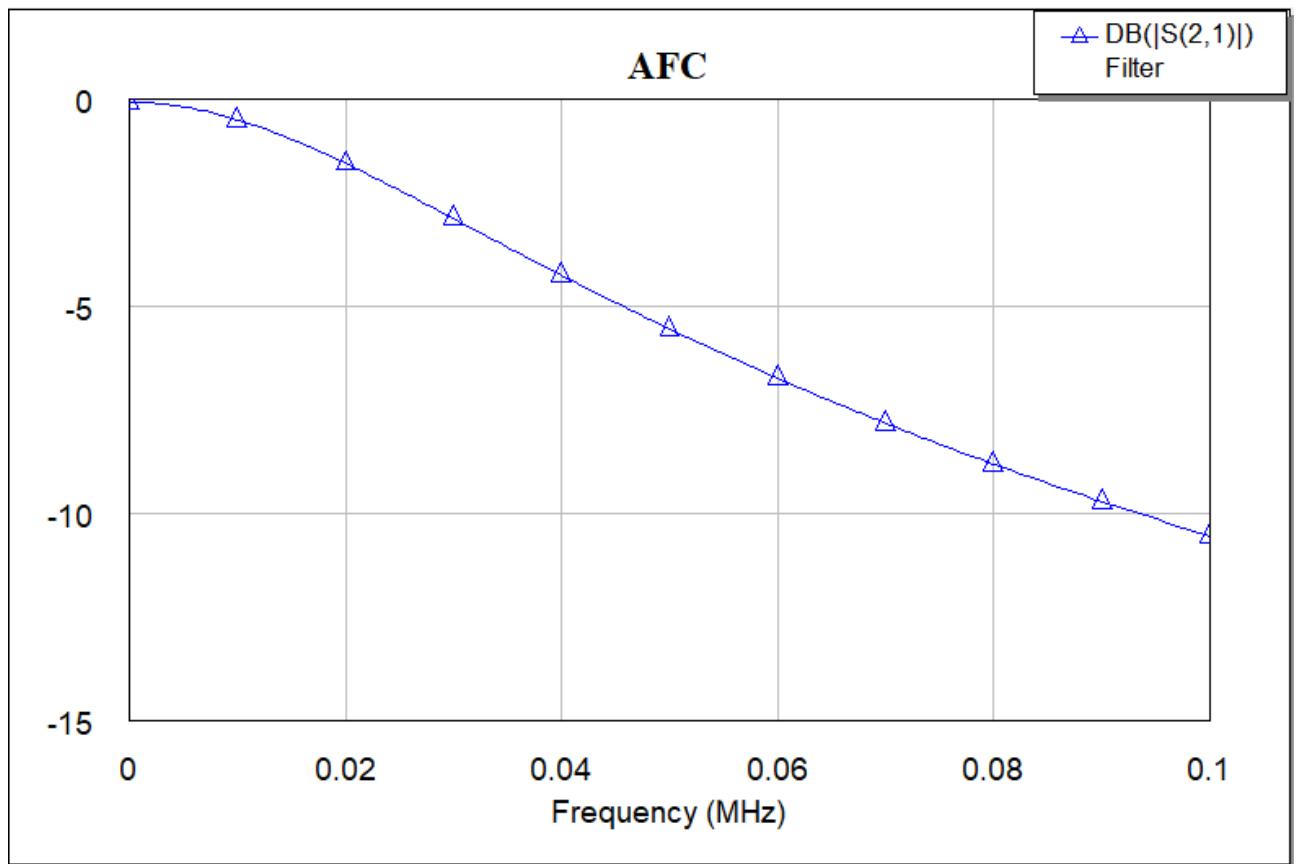


Рисунок 2.14 – АЧХ в дБ

Следующей задачей будет исследование влияния номиналов элементов на вид АЧХ. Для быстрой регулировки значений элементов используется Tune. Чтобы назначить элементу регулируемый параметр, применяется инструмент Tune Tool (рисунок 2.15). Выберите Tune Tool на панели инструментов, затем нажмите на параметр элемента (рисунок 2.16).



Рисунок 2.15 – Панель инструментов

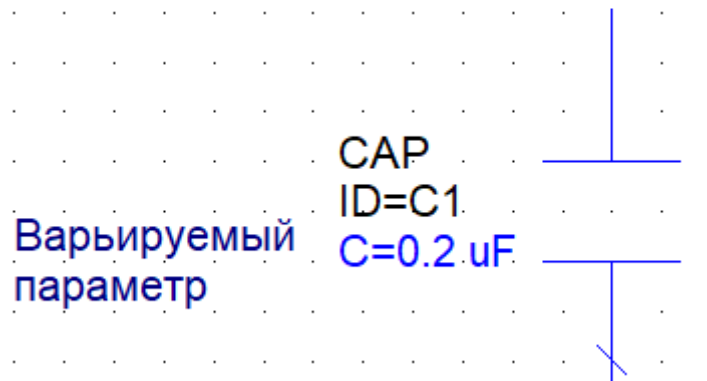


Рисунок 2.16 – Пример варьируемого параметра

Двойным щелчком вызовите свойства элемента. Во вкладке Parameters в столбце Tune будет стоять галочка. Это значит, что параметр теперь варьировается (рисунок 2.17).

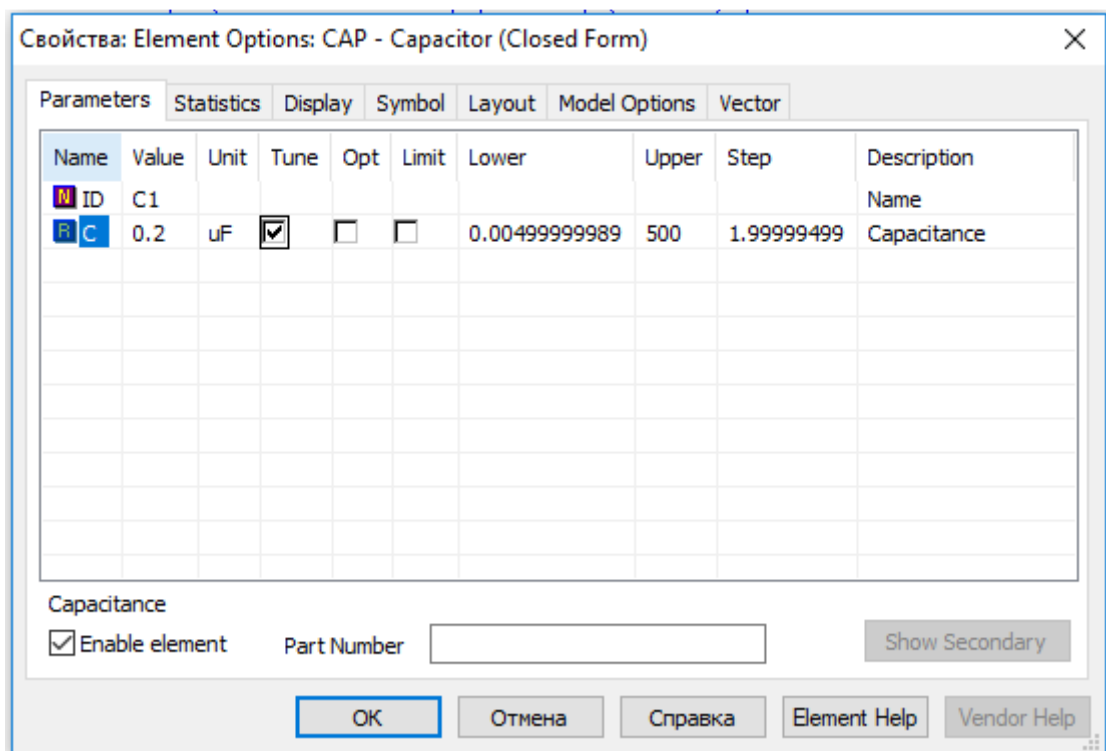


Рисунок 2.17 – Свойства конденсатора

Закройте окно свойств конденсатора и вызовите инструмент Tune (рисунок 2.18). Появится окно, представленное на рисунке 2.19. Выберите минимальное и максимальное значение параметра, и шаг, на который он будет изменяться.





Рисунок 2.18 – Панель инструментов

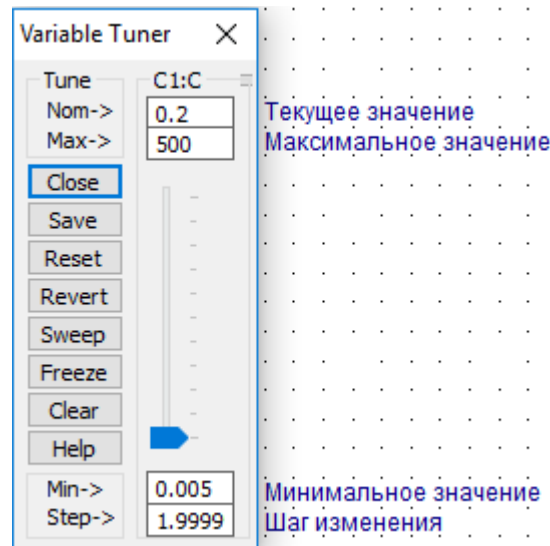


Рисунок 2.19 – Окно настроек тюнера

Далее перейдите на вкладку с графиком и, двигая ползунок, запустите симуляцию. Исследуйте влияние номиналов на график АЧХ. Настройте номиналы элементов таким образом, чтобы частота среза была равна вашему порядковому номеру в журнале. Сохраните проект.

Во второй части задания необходимо исследовать схему с генератором импульсных сигналов. Удалите порты со схемы. На панели Elements раскройте ветвь Sources. Нажмите на Signals (Tone 1) и выберите Pulse Train Voltage Source (рисунок 2.20). Перенесите его в рабочее поле и дважды нажмите на него. В появившемся окне нажмите на Element Help (рисунок 2.21). В окне помощи будет указано, как обозначены время нарастания и спада, время задержки и др.

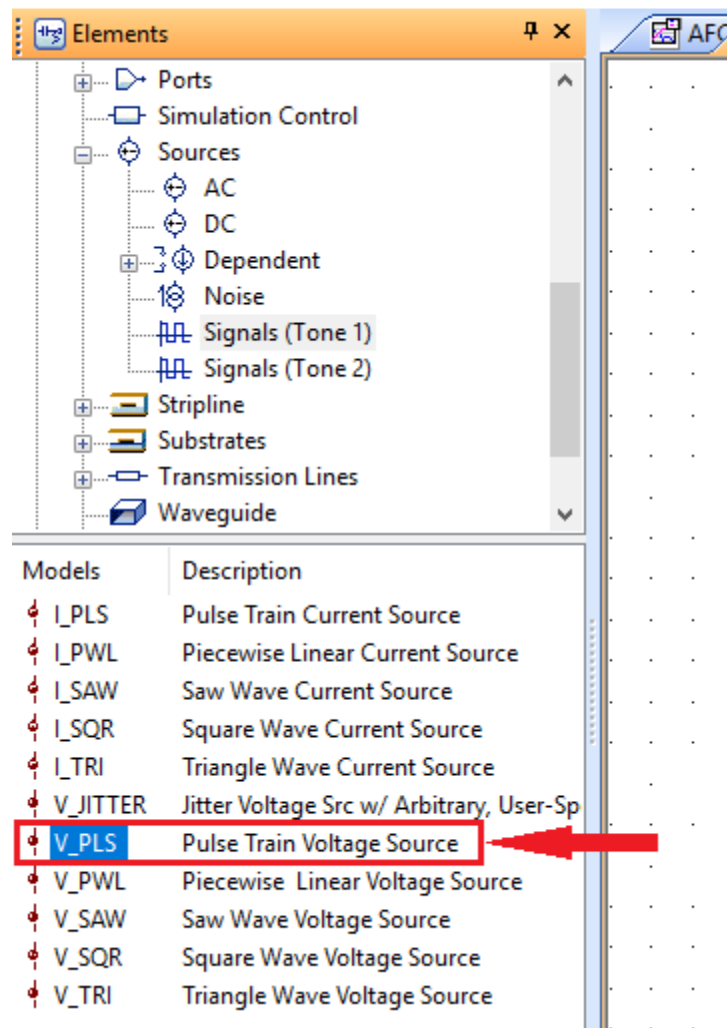


Рисунок 2.20 – Панель элементов

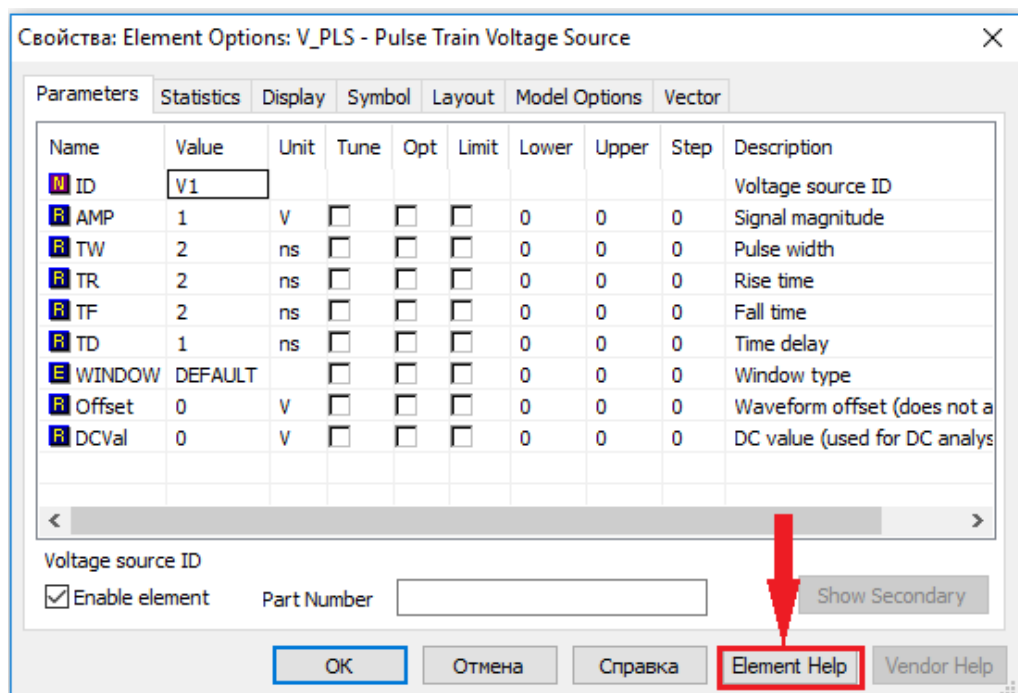


Рисунок 2.21 – Окно свойств элемента

На панели инструментов нажмите на Element (рисунок 2.22).

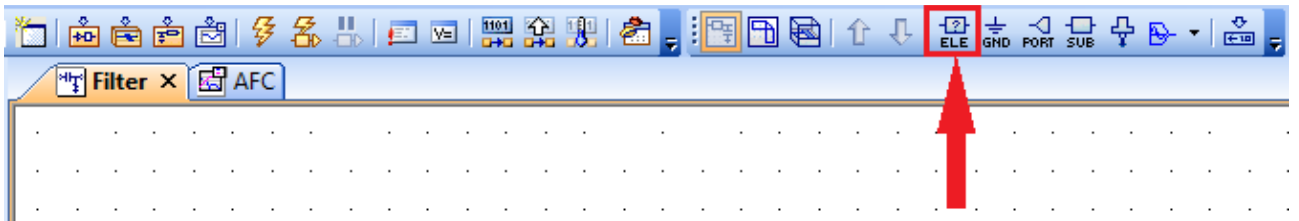


Рисунок 2.22 – Панель инструментов

Появится окно поиска элементов. Здесь можно быстро найти необходимый компонент (рисунок 2.23). В строку поиска введите V\_PROBE. Перенесите пробник в рабочее поле и добавьте ещё один такой же. Поставьте один на вход схемы и на выход (рисунок 2.24).

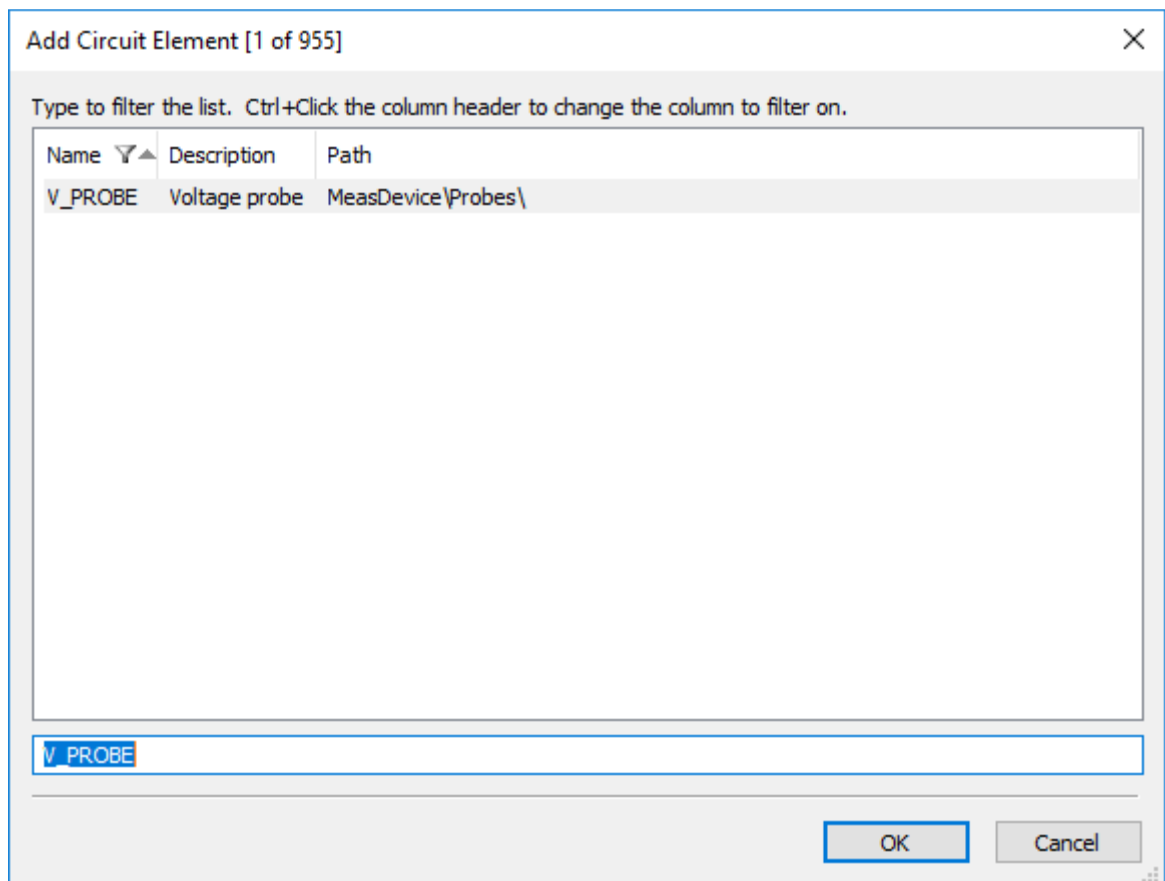


Рисунок 2.23 – Окно поиска элементов схемы

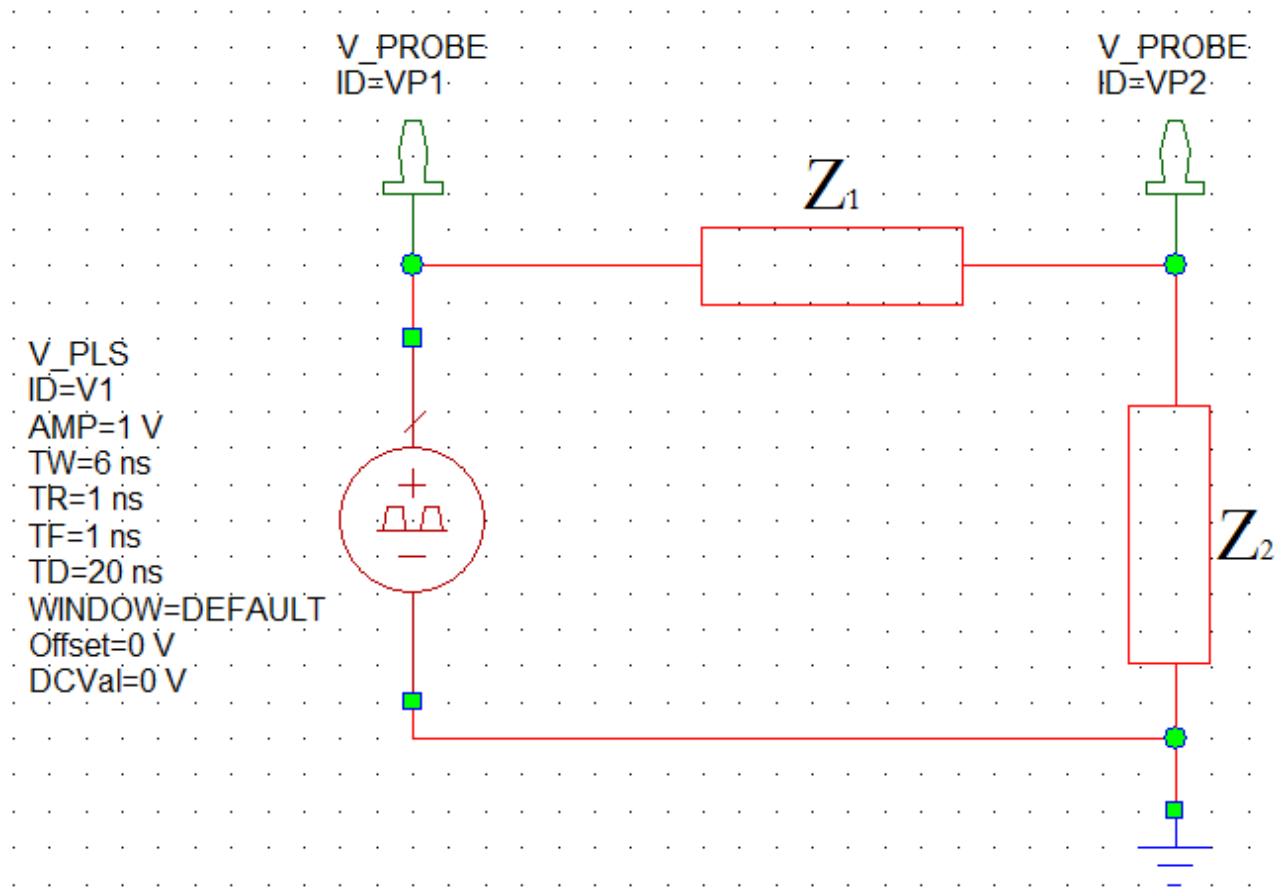


Рисунок 2.24 – Схема с генератором импульсных сигналов

Настройте генератор по вашему варианту. Далее создайте новый график и добавьте следующие настройки. Во вкладке Measurement Type раскройте ветвь Nonlinear и выберете Voltage. В появившемся списке в окошке Measurement нажмите на график под названием VTime. В Data Source Name укажите ваш проект. В Measurement Component укажите пробник на входе цепи. Во вкладке Simulator укажите Harmonic Balance. В строке Sweep Freq укажите частоту, обратно пропорциональную периоду вашего импульсного сигнала. На этот же график добавьте еще одну характеристику. Для этого кликните правой кнопкой мыши в любом месте графика и выберете Add New Measurement. Все настройки идентичны предыдущему пункту, но в Measurement Component укажите пробник на выходе. В главном меню нажмите на вкладку Options и из контекстного меню выберете Default Circuit Options (рисунок 2.25).

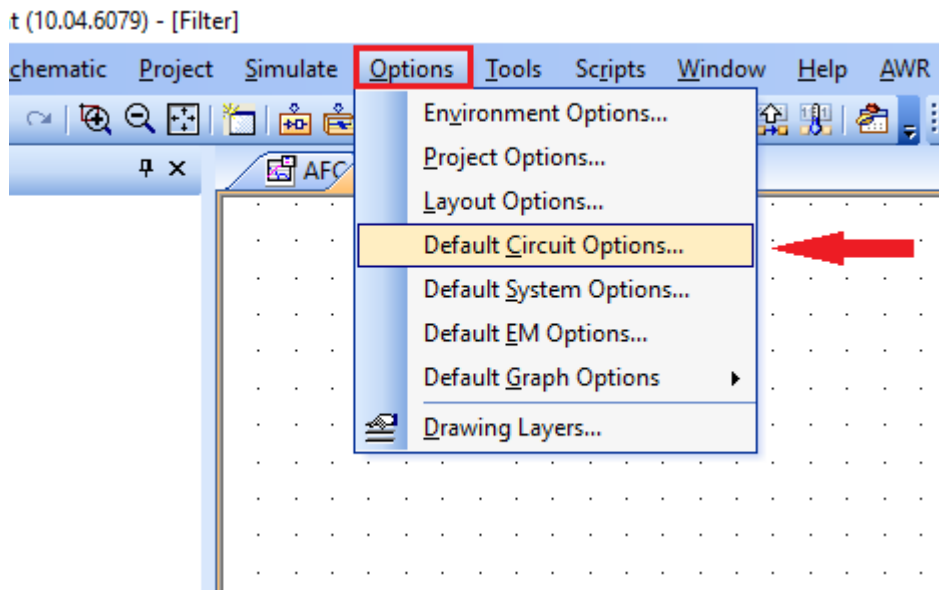


Рисунок 2.25 – Окно выбора настроек

Появится окно настроек симулятора гармонического баланса. В графе Number of harmonics для Tone 1 выберете число гармоник, при котором на осциллограмме сигнала на входе будут четко видны импульсные сигналы (рисунок 2.26).

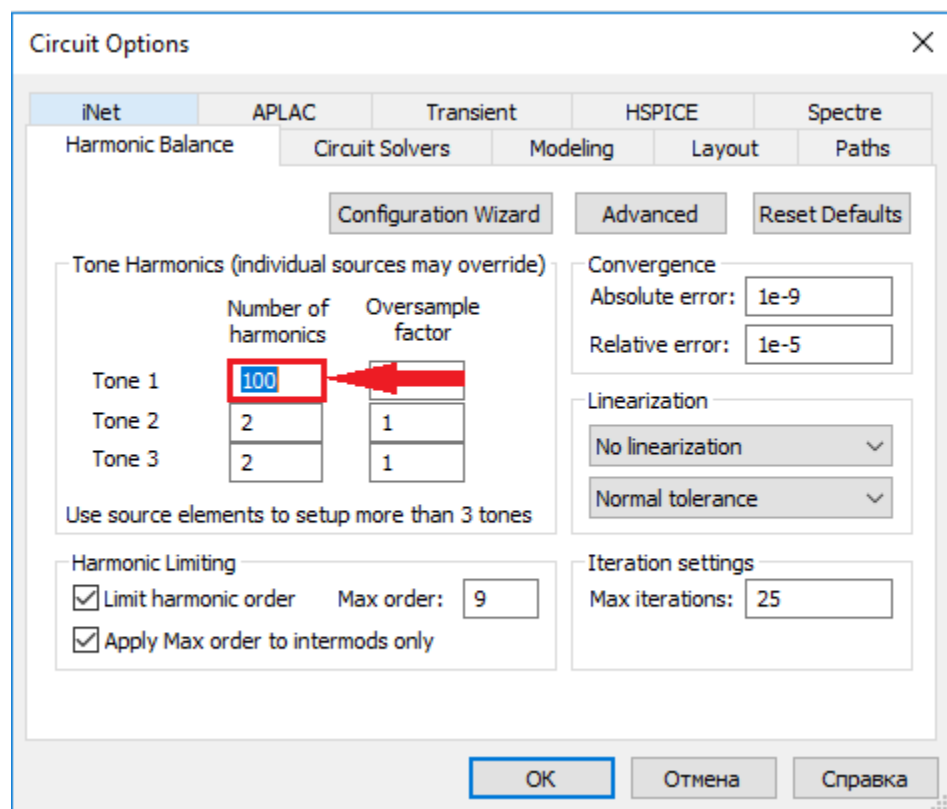


Рисунок 2.26 – Окно настроек симулятора гармонического баланса

Запустите симуляцию. Осциллограммы будут выглядеть следующим образом:

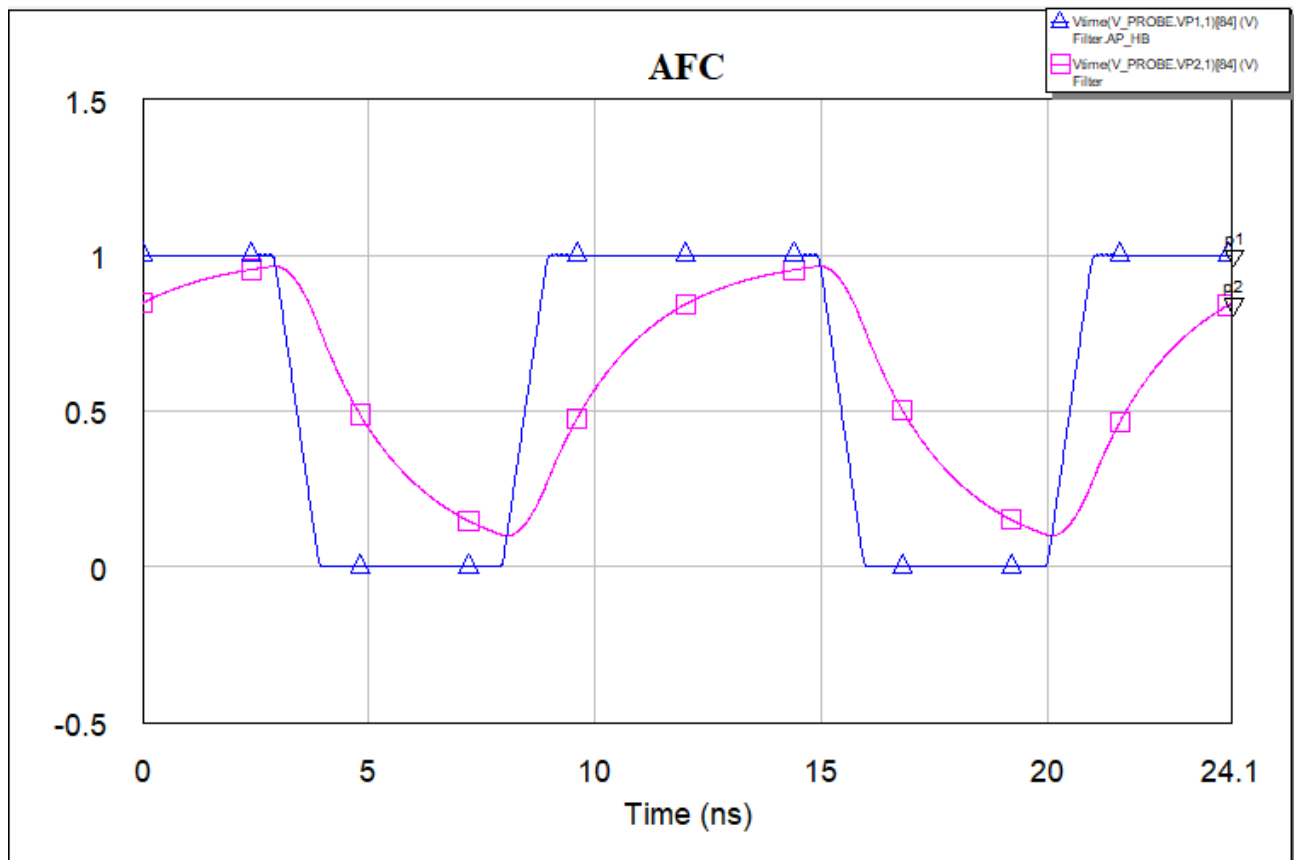


Рисунок 2.27 – Осциллограммы сигналов на входе и выходе схемы

Далее с помощью тюнера исследуйте влияние номиналов элементов на вид графиков. Сделайте выводы про выполненной работе.

**Контрольные вопросы**

1. Что такое реактивный элемент?
2. Что такое параметр  $S_{21}$ ? И для чего он нужен?
3. Какими способами можно сделать параметр варьируемым?
4. Как влияет изменение номиналов на вид АЧХ?
5. Объясните, где на вашем импульсном сигнале амплитуда? Фронт нарастания? Фронт спада? Время задержки? Длительность импульса?
6. Как влияет изменения номиналов элементов на вид осциллограмм?

## **Практическое задание №2 «Расчет импульсной и переходной характеристик цепи»**

### **1 Введение**

Система Mathcad — современный программный продукт, который может оказать существенную помощь студентам, инженерам и всем тем, кто выполняет какие-либо расчёты. Основное достоинство этой системы заключается в отсутствии необходимости пользователю осваивать основы программирования, так как Mathcad предельно приближен к обычному математическому языку. Поэтому на решение поставленных задач затрачивается незначительное время. Вычислитель системы содержит множество математических функций — от всем известных элементарных до весьма специфических.

Современные версии Mathcad дают пользователям возможность производить символьные расчёты. В этом случае результатом вычисления выражения является другое выражение. При этом желаемая форма этого второго выражения может быть задана. Первоначальное выражение можно продифференцировать, проинтегрировать, разложить на множители, в ряд и так далее.

Возможность производить практически любые операции с действительными и комплексными числами, большой набор векторных и матричных операций делают Mathcad незаменимым инструментом в руках студентов всех специальностей.

**Цель работы:** расчет импульсной и переходной характеристики с помощью MathCad. Построение сигналов на входе и выходе цепи, а также сравнение с результатами, полученными в первой лабораторной работе.

### **2 Порядок выполнения работы**

Задача посвящена временному и частотному (спектральному) методам расчета реакции цепей на сигналы произвольной формы. В качестве такого



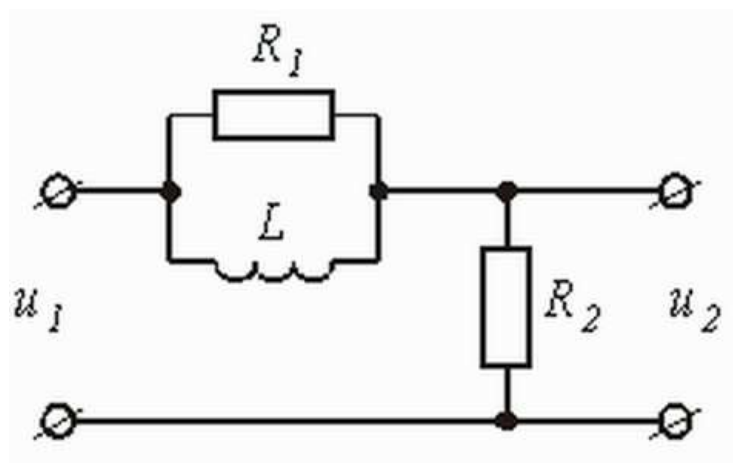
сигнала используется импульс прямоугольной формы (видеоимпульс). Электрические схемы цепей содержат емкости  $C$  или индуктивности  $L$ , а также сопротивления  $R$ . Во всех схемах входным напряжением  $u_1(t)$  является прямоугольный импульс длительностью  $t_u = 30$  нс и амплитудой  $U_1 = 5$  В.

1. Перерисуйте схему Вашего варианта, которую Вы проектировали в первой лабораторной работе. Выпишите исходные данные Вашего варианта.
2. Рассчитайте переходную  $g(t)$  и импульсную  $h(t)$  характеристики цепи по напряжению классическим или операторным методом (по выбору).
3. Рассчитайте реакцию цепи в виде выходного напряжения  $u(t)$  используя:
  - интеграл Дюамеля;
  - интеграл наложения.
4. Постройте временные диаграммы входного и выходного напряжений.
5. Рассчитайте и постройте график модуля комплексной передаточной функции цепи (АЧХ)  $H_1(\omega) = |H_1(\omega)|$ , как функцию от циклической частоты  $f$  в диапазоне частот  $0-3/t_u$ .

Расчет производите в пакете MathCad в соответствии с представленным ниже примером.

### Пример расчета импульсной и переходной характеристики

В качестве примера рассматривается схема цепи, представленная на рисунке 2.1. Электрическая схема цепи содержит индуктивность  $L = 20$  мкГн, резисторы сопротивлением  $R_1 = 1$  кОм,  $R_2 = 3$  кОм. Входным напряжением  $u_1(t)$  является прямоугольный импульс длительностью  $t_u = 30$  нс и



амплитудой  $U_1 = 3$  В.

Рисунок 2.1 – Электрическая принципиальная схема фильтра

Рассчитайте переходную  $g_2(t)$  и импульсную  $h_2(t)$  характеристики цепи по напряжению классическим или операторным методами (по выбору).

Переходная характеристика цепи рассчитывается, как переходной процесс в виде тока или напряжения, вызванный включением цепи с нулевыми начальными условиями на постоянное напряжение 1 В. В соответствие с этим составляется схема включения, на которой  $E = 1$  В. В задаче определяется переходная характеристика  $g_2(t)$  по напряжению относительно выходного контура, причем  $U_{R1} = U_L$ , поэтому можно записать, что:

$$g_2(t) = u_{R2}(t) = E - u_L(t) = E - L \frac{di_L(t)}{dt}.$$

Напряжение можно рассчитать с помощью формулы расчета переходных процессов в схемах первого порядка:

$$i_L(t) = i_{L \text{ np}} + Ae^{pt},$$

где  $i_{L \text{ np}} = i_L(\omega) = E/R_2 = 3.3 \cdot 10^{-4}$  А,  $p$  – корень характеристического уравнения, который находится из операторного сопротивления схемы при  $Z(p) = 0$ :

$$Z(p) = R_2 + \frac{R_1 p L}{R_1 + p L};$$

$$p = -\frac{R_1 R_2}{L(R_1 + R_2)}.$$

Постоянная интегрирования находится из рассмотрения  $i_L(t)$  при  $t = 0_+$ , нулевых начальных условиях:

$$i_L(0_+) = i_{L \text{ np}} + A = 0;$$

$$A = -i_{L \text{ np}} = -3.3 \cdot 10^{-4}.$$

В окончательном виде запишем:

$$i_L(t) = 3.3 \cdot 10^{-4} \left( 1 - e^{-t \frac{R_1 R_2}{L(R_1 + R_2)}} \right),$$

где постоянная времени

$$\tau_1 = \frac{L(R_1 + R_2)}{R_1 R_2} = \frac{20 \cdot 10^{-6} \cdot (1000 + 3000)}{1000 \cdot 3000} = 26.67 \cdot 10^{-9} \text{ с}.$$

Запишем выражение для переходной характеристики:

$$g_2(t) = E - L \frac{d}{dt} \left( 3.3 \cdot 10^{-4} \left( 1 - e^{-t \frac{R_1 R_2}{L(R_1 + R_2)}} \right) \right) = 1 - 3.3 \cdot 10^{-4} \frac{R_1 R_2}{L(R_1 + R_2)} e^{-\frac{R_1 R_2}{L(R_1 + R_2)} t};$$

$$g_2(t) = 1 - 0.25 \cdot e^{-37.5 \cdot 10^6 t}.$$

Импульсная характеристика цепи  $h(t)$  есть производная от переходной характеристики  $h(t) = g'(t)$ . Однако следует учесть, что, если переходная характеристика отлична от нуля при  $t=0$ , т.е. имеет скачок при  $t=0$ , то при дифференцировании появляется дополнительное слагаемое:

$$h(t) = g(0)\delta(t) + g'(t)$$

В нашем случае  $g(0) = 12.632$ , поэтому

$$h_2(t) = 0,75 \cdot \delta(t) + 93,75 \cdot 10^{-5} e^{-37,5 \cdot 10^6 t}$$

где  $\delta(t)$  – импульсная функция (функция Дирака).

Рассчитайте реакцию цепи в виде выходного напряжений  $u_2(t)$  используя:

- интеграл Дюамеля;
- интеграл наложения.

Постройте временные диаграммы входного и выходного напряжений. Интеграл Дюамеля можно записать в следующем виде:

$$u_2(t) = u_1(0)g_2(t) + \int_0^t u_1'(\tau)g_2(t-\tau)d\tau.$$

Входное напряжение  $u_1(t)$  имеет форму прямоугольного импульса, аналитическая запись которого может быть представлена как

$$u_1(t) = \begin{cases} U_1 & \text{при } 0 \leq t \leq t_u \\ 0 & \text{при } t \geq t_u \end{cases}$$

Следовательно,  $u_1(0) = U_1$ , а производная  $u_1'(t) = 0$  или для переменной  $\tau$  –  $u_1'(\tau) = 0$ , поэтому интеграл Дюамеля для интервала времени  $0 \leq t \leq t_u$  можно записать:

$$u_2(t) = U_1(0)g_2(t) + \int_0^t 0 \cdot g_2(t-\tau)d\tau = 3 \cdot \left(1 - 0,25 \cdot e^{-37,5 \cdot 10^6 t}\right) + \int_0^t 0 \cdot g_2(t-\tau)d\tau;$$

$$u_2(t) = 3 - 0,75e^{-37,5 \cdot 10^6 t}.$$

Для интервала времени  $t_u \leq t \leq \infty$ :

$$u_2(t) = U_1 g_2(t) + \int_0^{t_u} 0 \cdot g_2(t-\tau)d\tau - U_1 g_2(t-t_u);$$

$$u_2(t) = 3 \cdot \left(1 - 0,25 \cdot e^{-37,5 \cdot 10^6 t}\right) - 3 \cdot \left(1 - 0,25 \cdot e^{-37,5 \cdot 10^6 (t-30 \cdot 10^{-9})}\right);$$

$$u_2(t) = 1,56e^{-37,5 \cdot 10^6 t}.$$

В отличие от интеграла Дюамеля в интеграле наложения не учитываются

дополнительными слагаемыми скачки входного напряжения:

$$u_2(t) = \int_0^t U_1(\tau) \cdot h_2(t - \tau) d\tau$$

С учетом найденной ранее импульсной характеристики реакция заданной цепи на прямоугольный импульс будет равна:

- для интервала времени  $0 \leq t \leq t_u$ :

$$u_2(t) = \int_0^t U_1 \cdot [0,75 \cdot \delta(t) + 93,75 \cdot 10^{-5} e^{-37,5 \cdot 10^6 (t-\tau)}] d\tau.$$

Используя фильтрующее свойство импульсной  $\delta$ -функции, получим

$$u_2(t) = 3 \cdot 0,75 + 3 \int_0^t 93,75 \cdot 10^{-5} e^{-37,5 \cdot 10^6 (t-\tau)} d\tau = 3 - 0,75 \cdot e^{-37,5 \cdot 10^6 t}$$

- Для интервала времени  $t_u \leq t \leq \infty$ :

$$\begin{aligned} u_2(t) &= \int_0^{t_u} U_1 \cdot [0,75 \cdot \delta(t) + 93,75 \cdot 10^{-5} e^{-37,5 \cdot 10^6 (t-\tau)}] d\tau + \\ &+ \int_{t_u}^t [(0 - U_1) \cdot 0,75 \cdot \delta(\tau - t_u) + 0 \cdot 93,75 \cdot 10^{-5} e^{-37,5 \cdot 10^6 (t-\tau)}] d\tau; \\ u_2(t) &= 3 \cdot 0,75 + 3 \cdot 93,75 \cdot 10^{-5} \frac{(e^{37,5 \cdot 10^6 \cdot 30 \cdot 10^{-9}} - 1) \cdot e^{-37,5 \cdot 10^6 t}}{37,5 \cdot 10^6} - 3 \cdot 0,75 = 1,56 \cdot e^{-37,5 \cdot 10^6 t} \end{aligned}$$

Сравнение результатов расчетов напряжения  $u_2(t)$  с использованием интегралов наложения и Дюамеля показывает, что они совпадают между собой.

Построение временной диаграммы входного и выходного напряжений. Диаграмма выходного напряжения строится с использованием найденных ранее выражений для напряжения  $u_2(t)$  путем подстановки в них соответствующих моментов времени. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

| Время           | 0    | $0,3t_u$ | $0,6 t_u$ | $t_u-$ | $t_u+$ | $t_u + \tau_1$ | $t_u + 2\tau_1$ | $t_u + 3\tau_1$ |
|-----------------|------|----------|-----------|--------|--------|----------------|-----------------|-----------------|
| $t, \text{нс}$  | 0    | 9        | 18        | 30     | 30     | 56,67          | 83,33           | 110             |
| $u_1, \text{В}$ | 3    | 3        | 3         | 3      | 0      | 0              | 0               | 0               |
| $u_2, \text{В}$ | 2,25 | 2,465    | 2,618     | 2,757  | 0,507  | 0,186          | 0,069           | 0,025           |

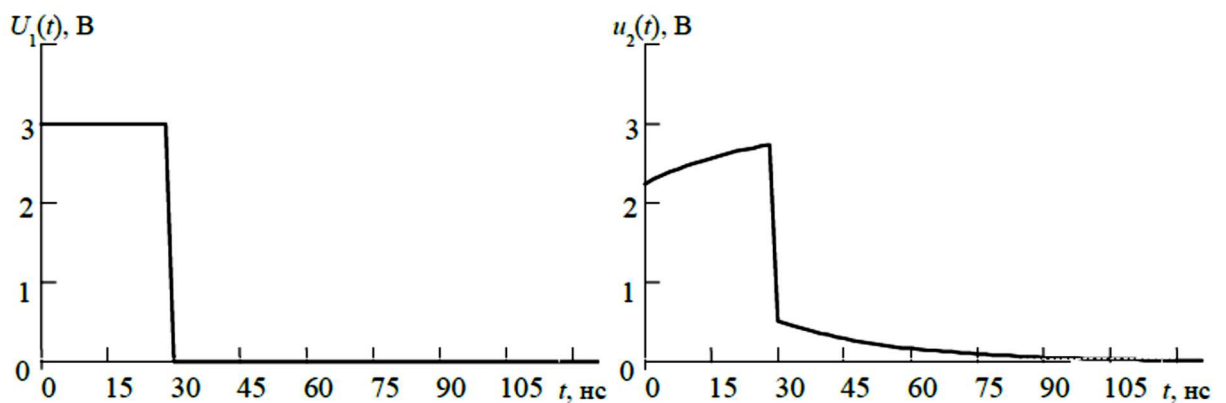


Рисунок 2.2 – Диаграммы входного  $u_1(t)$  (слева) и выходного  $u_2(t)$  (справа) напряжений в цепи

Расчет комплексных спектральных плотностей входного  $U_1(j\omega)$  и выходного  $U_2(j\omega)$  сигналов. Для расчета комплексной спектральной плотности непериодического сигнала  $f(t)$  произвольной формы используется прямое преобразование Фурье:

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-j\omega t} dt.$$

Для заданного входного сигнала преобразование Фурье дает выражение:

$$\begin{aligned}
U_1(j\omega) &= \int_0^{t_u} U_1 e^{-j\omega t} dt = -\frac{U_1}{j\omega} e^{-j\omega t} \Big|_0^{t_u} = -\frac{U_1}{j\omega} (e^{-j\omega t_u} - e^{-j\omega \cdot 0}) = \frac{U_1}{j\omega} (1 - e^{-j\omega t_u}) = \\
&= \frac{U_1}{j\omega} \left( 1 - \cos \frac{2\omega t_u}{2} + j \sin \frac{2\omega t_u}{2} \right) = \frac{U_1}{j\omega} \left( 2 \sin^2 \frac{\omega t_u}{2} + 2j \sin \frac{\omega t_u}{2} \cos \frac{\omega t_u}{2} \right) = \\
&= \frac{U_1}{j\omega} \cdot \frac{-j}{-j} \cdot \frac{t_u/2}{t_u/2} \cdot 2 \sin \frac{\omega t_u}{2} \cdot \left( j \cos \frac{2\omega t_u}{2} + \sin \frac{2\omega t_u}{2} \right) = \\
&= U_1 t_u \frac{\sin \frac{\omega t_u}{2}}{\frac{\omega t_u}{2}} \cdot \left( \cos \frac{2\omega t_u}{2} - j \sin \frac{2\omega t_u}{2} \right) = U_1 t_u \frac{\sin \frac{\omega t_u}{2}}{\frac{\omega t_u}{2}} \cdot e^{-j \frac{\omega t_u}{2}}.
\end{aligned}$$

Подставив численные значения, получим:

$$U_1(j\omega) = 3 \cdot 30 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{\sin 15 \cdot 10^{-9} \cdot \omega}{15 \cdot 10^{-9} \cdot \omega} \cdot e^{-j\omega 15 \cdot 10^{-9}} = 6 \frac{\sin 15 \cdot 10^{-9} \cdot \omega}{\omega} e^{-j\omega 15 \cdot 10^{-9}}.$$

Комплексная спектральная плотность выходного сигнала находится по формуле:

$$U_2(j\omega) = H(j\omega) \cdot U_1(j\omega),$$

Функция  $H(j\omega)$  находится как отношение комплексного значения гармонического напряжения на выходе цепи к комплексному значению гармонического напряжения той же частоты, приложенному ко входу цепи. Согласно закону Ома при одном и том же токе напряжение прямо пропорционально сопротивлению цепи. Тогда передаточную функцию можно найти как отношение выходного сопротивления цепи ко входному:

$$H(j\omega) = \frac{Z_{\text{вых}}(j\omega)}{Z_{\text{ex}}(j\omega)} = \frac{R_2}{R_2 + \frac{j\omega L R_1}{j\omega L + R_1}}; \quad H(j\omega) = \frac{R_1 R_2 + j\omega L R_2}{R_1 R_2 + j\omega L (R_1 + R_2)}.$$

Спектральная плотность выходного сигнала:

$$H(j\omega) = \frac{R_1 R_2 + j\omega L R_2}{R_1 R_2 + j\omega L (R_1 + R_2)} \cdot U_1 t_u \frac{\sin \frac{\omega t_u}{2}}{\frac{\omega t_u}{2}} \cdot e^{-j \frac{\omega t_u}{2}}.$$

Расчет и построение графиков модулей спектральной плотности входного и выходного сигналов и модуля комплексной передаточной функции цепи, как функций от циклической частоты  $f$  в диапазоне частот  $0 - 3/t_u$ . Спектральная плотность входного напряжения:

$$U_1(\omega) = |U_1(j\omega)| = \frac{2U_1}{\omega} \sin \frac{\omega t_u}{2}.$$

Спектральная плотность входного напряжения комплексной передаточной функции (амплитудно-частотная характеристика цепи):

$$H(\omega) = |H(j\omega)| = \sqrt{\frac{(R_1 R_2)^2 + (\omega L R_2)^2}{(R_1 R_2)^2 + (\omega L)^2 (R_1 + R_2)^2}}$$

Спектральная плотность выходного напряжения:

$$U_2(j\omega) = \frac{2U_1}{\omega} \sin \frac{\omega t_u}{2} \sqrt{\frac{R_1^2 R_2^2 + \omega^2 L^2 R_2^2}{R_1^2 R_2^2 + \omega^2 L^2 (R_1 + R_2)^2}}$$

Для построения графиков полученных функций необходимо выбрать расчетные точки по частоте. Учтем, что спектральная плотность одиночного прямоугольного импульса измеряется в вольт×секундах [В·с] и что она обращается в ноль на частотах  $1/t_u$ ,  $2/t_u$ ,  $3/t_u$  и т.д. Поэтому дополнительно выбираются промежуточные точки между этими частотами. Максимальная частота в соответствии с заданием равна  $3/30 \cdot 10^{-9} = 100 \cdot 10^6$  Гц = 100 МГц. Результаты расчетов приведены в таблице 2.



Таблица 2.

| $f, \text{ МГц}$ |      | $\omega \cdot 10^6, \text{ рад/с}$ | $U_1(\omega) \cdot 10^{-9}, \text{ В} \cdot \text{с}$ | $H(\omega)$ | $U_2(\omega) \cdot 10^{-9}, \text{ В} \cdot \text{с}$ |
|------------------|------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------|
| 0                | 0    | 0                                  | 90                                                    | 1           | 90                                                    |
| $0,5/t_u$        | 16,7 | 104,7                              | 58,7                                                  | 0,784       | 46                                                    |
| $1/t_u$          | 33,3 | 209,4                              | 0                                                     | 0,759       | 0                                                     |
| $1,5/t_u$        | 50   | 314,2                              | 19,1                                                  | 0,754       | 14,4                                                  |
| $2/t_u$          | 66,7 | 418,9                              | 0                                                     | 0,752       | 0                                                     |
| $2,5/t_u$        | 83,3 | 523,6                              | 11,4                                                  | 0,751       | 8,5                                                   |
| $3/t_u$          | 100  | 628,3                              | 0                                                     | 0,751       | 0                                                     |

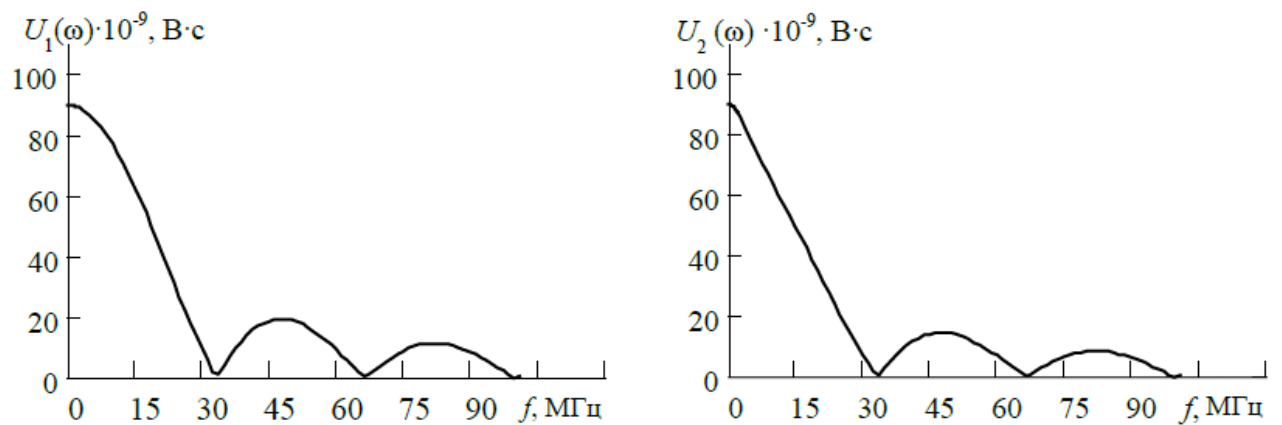


Рисунок 2.3 – Спектральная плотность входного сигнала ( $U_1(\omega)$ ),  
спектральная плотность выходного сигнала ( $U_2(\omega)$ )

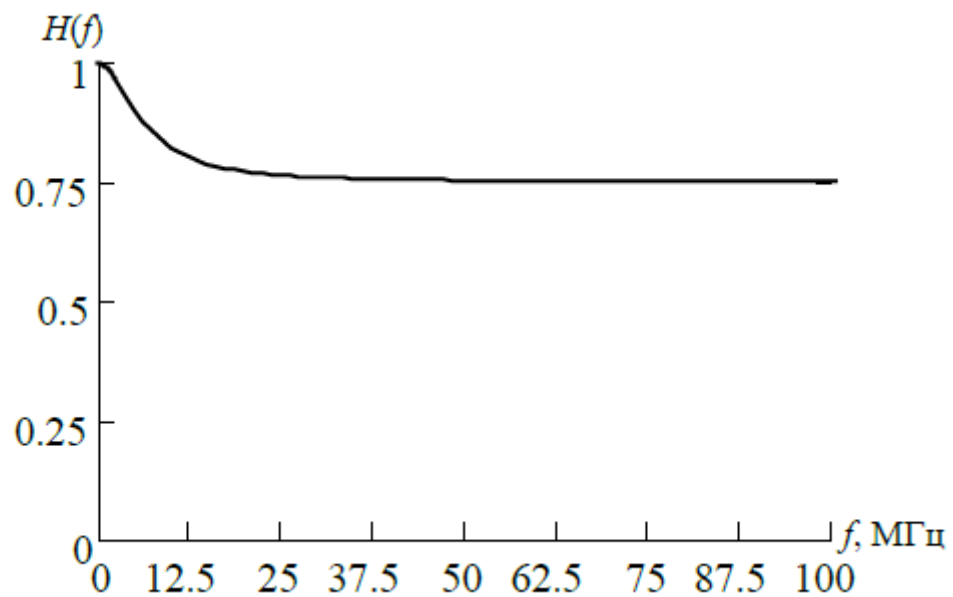


Рисунок 2.4 – Амплитудно-частотная характеристика цепи

### **Контрольные вопросы**

1. Поясните, как вы получили выражение для расчета переходной характеристики.
2. Поясните, как вы получили выражение для расчета импульсной характеристики.
3. Как выглядит интеграл Дюамеля для вашей схемы? Объясните, как вы его получили.
4. Как выглядит интеграл наложения для вашей схемы? Объясните, как вы его получили.
5. Объясните, почему изменился выходной сигнал?
6. Как производился расчет и построение графиков спектров сигналов?

### Практическое задание №3 «Исследование ВАХ и ВФХ инерционной и безынерционной модели диода»

#### 1 Введение

В основе компьютерного проектирования лежит замещение элементов их моделями, позволяющими рассчитать отклик элемента при известном воздействии на него. Самый простой для моделирования случай – это когда объект является линейным. Для построения линейной модели достаточно каким-либо образом описать импульсную характеристику или передаточную функцию объекта. Моделирование нелинейных объектов значительно сложнее, чем линейных, так как для нелинейных неизвестно соотношение воздействия на объект и отклика на него. Модели нелинейных объектов создаются для конкретных элементов с учетом физики их работы. Универсальные модели, т.е. в виде черного ящика, без учета физики работы существуют, но они «работают» только на ограниченном множестве входных сигналов. Различают два типа моделей нелинейных элементов: Безынерционные и «энергоемкие» (инерционные). Самым простым нелинейным элементом является полупроводниковый диод. Его безынерционная модель, построенная с учетом физики его работы, выглядит следующим образом:

$$i(u) = IS \left[ \exp \left( \frac{q}{NkT} u \right) - 1 \right],$$

где  $IS$  – ток насыщения [А];

$N$  – коэффициент неидеальности;

$q$  – заряд электрона [Кл];

$k$  – постоянная Больцмана [Дж/К];

$T$  – абсолютная температура [К].

Таким образом, если не учитывать емкость диода, то его простейшая модель полностью определяется всего **двумя параметрами:  $IS$  и  $N$** . Эти параметры диода входят в качестве главных в систему SPICE-параметров. Чтобы называть такую характеристику  $i(u)$ , существует специальный термин вольт-амперная характеристика (ВАХ). Реально ВАХ определяется более сложным образом, чтобы учитывать процессы пробоя при отрицательном смещении диода.

К нелинейным чисто реактивным элементам относятся прежде всего емкости  $p$ - $n$ -переходов и структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). В настоящее время реально используются только модели нелинейных емкостей, у которых емкость зависит только от **мгновенного напряжения** на них. Это позволяет свести моделирование к дифференциальному уравнению первого порядка, которое относительно легко решается:

$$i(t) = C(u) \frac{du(t)}{dt}.$$

Зависимость  $C(u)$  называется вольт-фарадной характеристикой (ВФХ).

Модель нелинейной емкости  $p$ - $n$ -перехода в основном определяется так называемой барьерной емкостью. Величина барьерной емкости тем больше, чем больше компенсируется контактная разность потенциалов внешним напряжением:

$$C(u) = CJ0 \left( 1 - \frac{u}{VJ} \right)^{-M},$$

где  $CJ0$  – емкость перехода при нулевом смещении [Ф];

$VJ$  – контактная разность потенциалов [В];

$M$  – коэффициент нелинейности ВФХ (зависит от распределения примесей в переходе). Обычно  $M = 0.33 \dots 0.5$ .

Когда  $p$ - $n$ -переход находится в прямом смещении и через него начинает течь прямой ток, в области пространственного заряда накапливается некоторое количество носителей заряда (неосновных). Они создают дополнительный заряд (а, следовательно, емкость) перехода. Эта емкость называется диффузионной.

Количество дополнительного заряда  $q$  определяется величиной прямого тока через переход  $i$  и подвижностью носителей заряда:

$$q(u) = TT i(u),$$

где  $TT$  (transition time) – время переноса заряда.

Подставим в эту формулу ВАХ и получим:

$$q_d(u) = TT IS \left[ \exp\left(\frac{q}{NkT} u\right) - 1 \right]$$

Диффузионная емкость определяется как производная по напряжению от этого дополнительного заряда:

$$C_d(u) = TT IS \frac{q}{NkT} \exp\left(\frac{q}{NkT} u\right)$$

Полная емкость  $p$ - $n$ -перехода (барьерная и диффузионная):

$$C(u) = CJO \left(1 - \frac{u}{VJ}\right)^{-M} + TT IS \frac{q}{NkT} \exp\left(\frac{q}{NkT} u\right),$$

Полная система параметров нелинейной емкости  $p$ - $n$ -перехода:

$CJO$  – емкость при нулевом смещении, [Ф];

$VJ$  – контактная разность потенциалов, [В];

$M$  – коэффициент нелинейности ВФХ;

$TT$  – время переноса заряда (время жизни неосновных носителей).

Цель лабораторной работы: получить навыки построения ВАХ и ВФХ диода. Изучить влияние регулируемых параметров на характеристики диода. Сравнить характеристики модели диода с характеристиками его эквивалентной схемы.

## 2 Порядок выполнения работы

### 2.1 Работа с безынерционной моделью диода

Запустите AWR DE. Создайте новый проект и сохраните его. Создайте рабочее поле. На панели Elements нажмите на вкладку Nonlinear => Diode. В появившемся списке выберите безынерционную модель диода (рисунок 2.1).

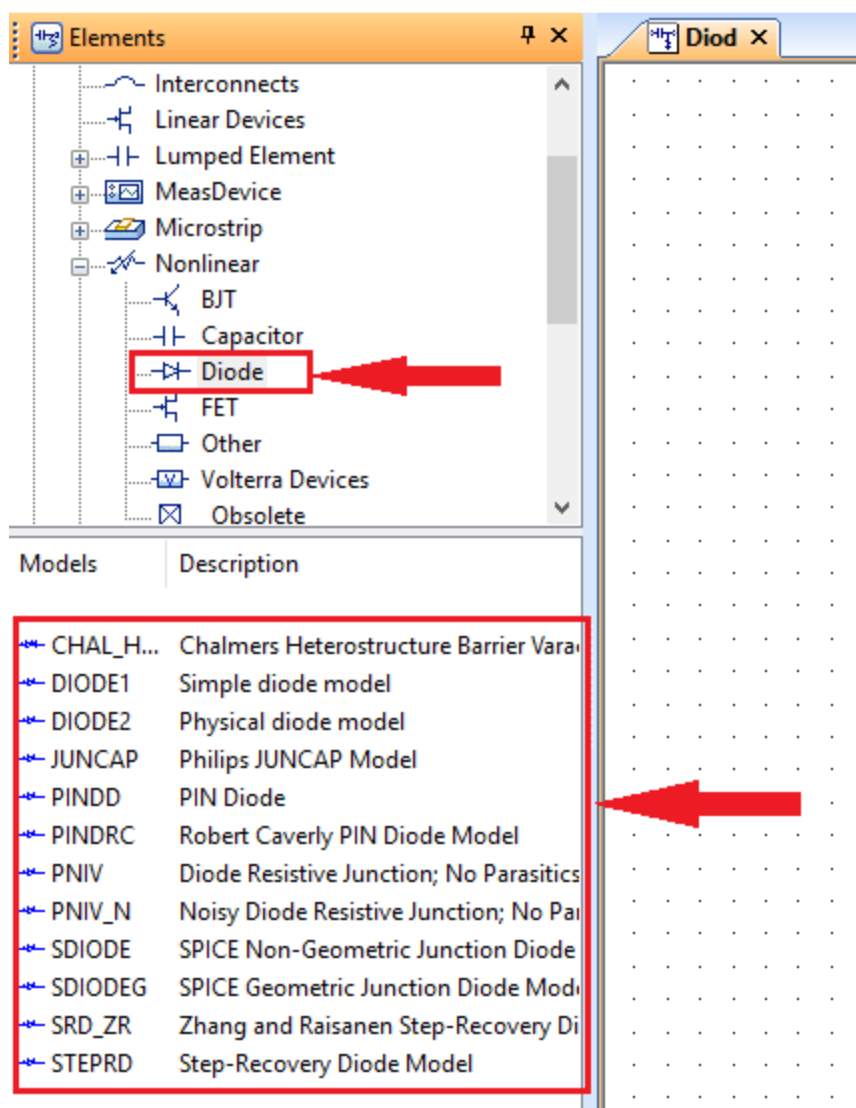


Рисунок 2.1 – Панель элементов

Далее на панели элементов нажимаем на вкладку MeasDevice => IV.  
 Источник постоянного напряжения обозначен как IVCURVE (рисунок 2.2).

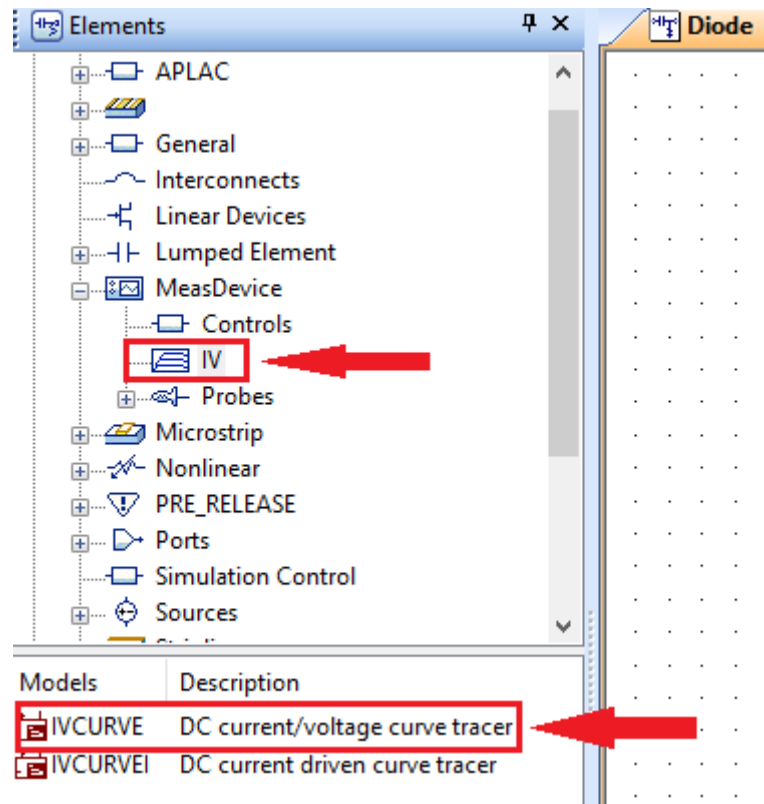


Рисунок 2.2 – Панель элементов

Соедините выход источника Swp с диодом. Выход диода заземлите.  
 Выставьте параметры источника в соответствии с рисунком 2.3.

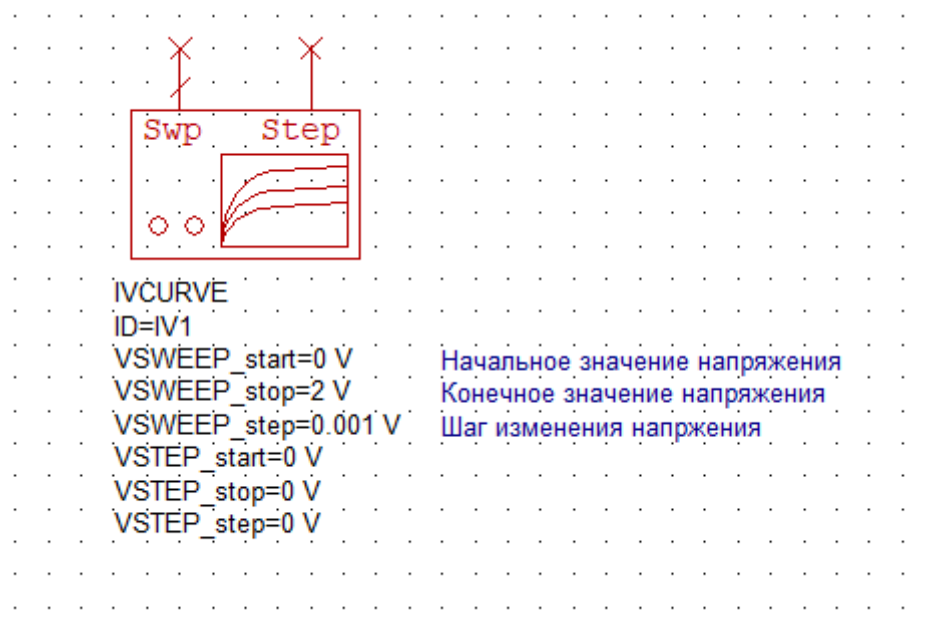


Рисунок 2.3 – Настройки модели источника постоянного напряжения

Далее необходимо построить ВАХ в **прямом** смещении. Создайте новый график, нажав Add New Graph на панели инструментов. Добавьте характеристику, нажав на Add New Measurement. Настройка характеристики представлена на рисунке 2.4.

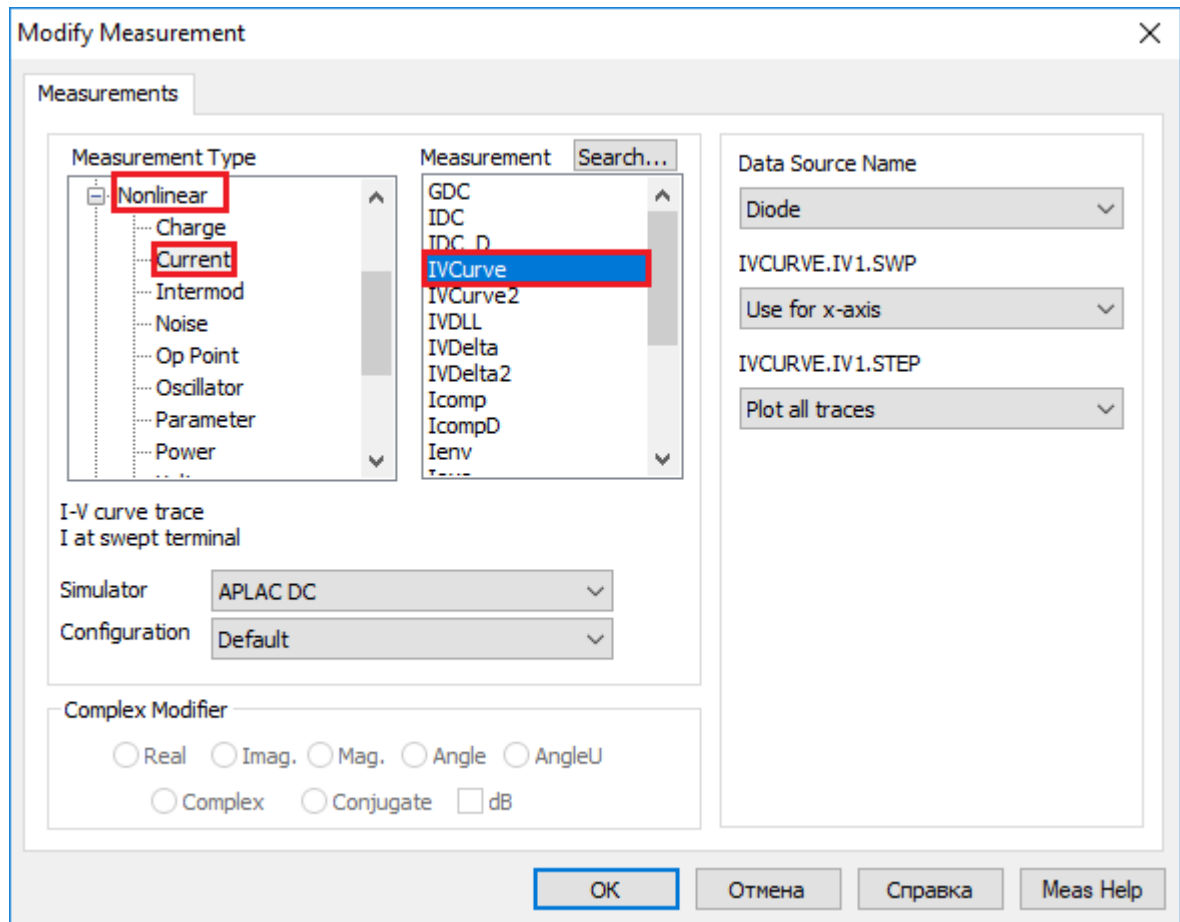


Рисунок 2.4 – Окно настройки ВАХ

Запустите симуляцию. Вольтамперная характеристика будет выглядеть следующим образом:



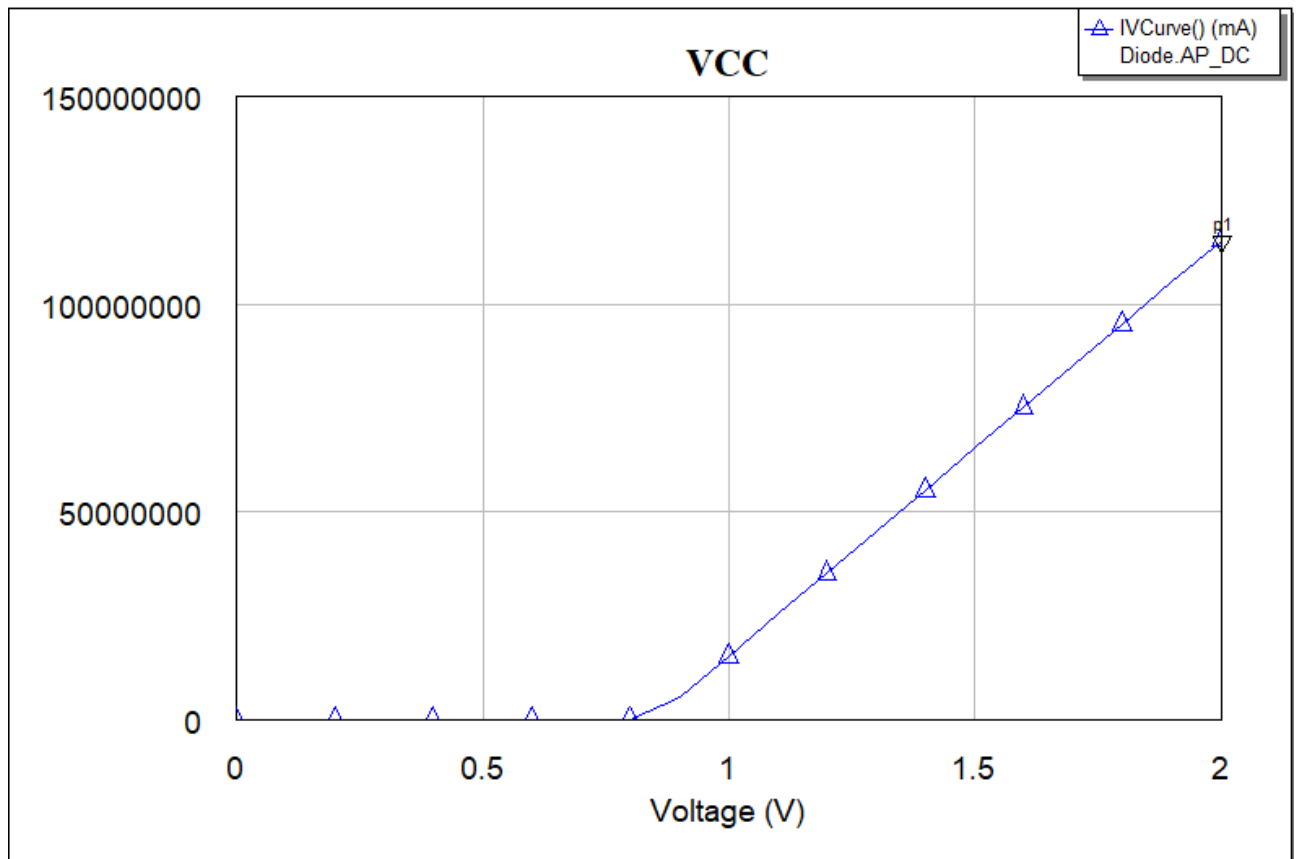


Рисунок 2.5 – ВАХ безынерционного диода в прямом смещении

Исследуйте влияние параметров модели на ВАХ диода. Для этого вызовите свойства диода и поставьте галочки в графе Tune напротив таких параметров как ток насыщения и коэффициент неидеальности (рисунок 2.6).

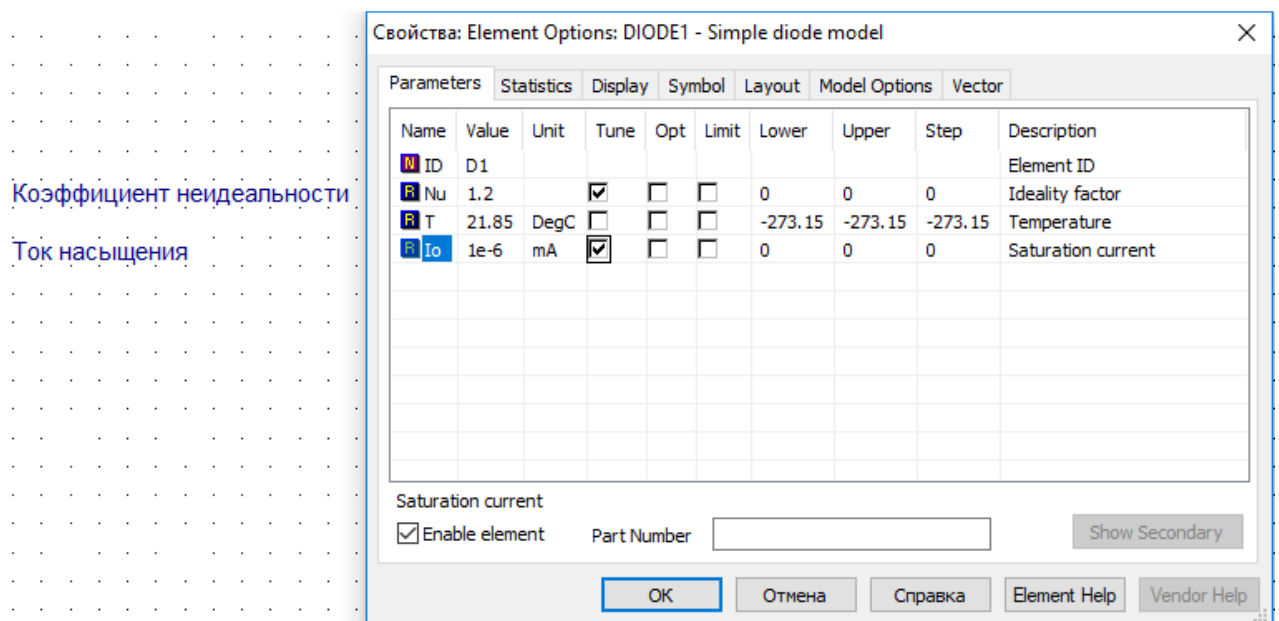


Рисунок 2.6 – Окно свойств диода

Затем воспользуйтесь инструментом Tune для наблюдения влияния изменения параметров на ВАХ безынерционного диода.

Постройте ВАХ безынерционного диода в **обратном** смещении. Для этого параметры источника настройте следующим образом:

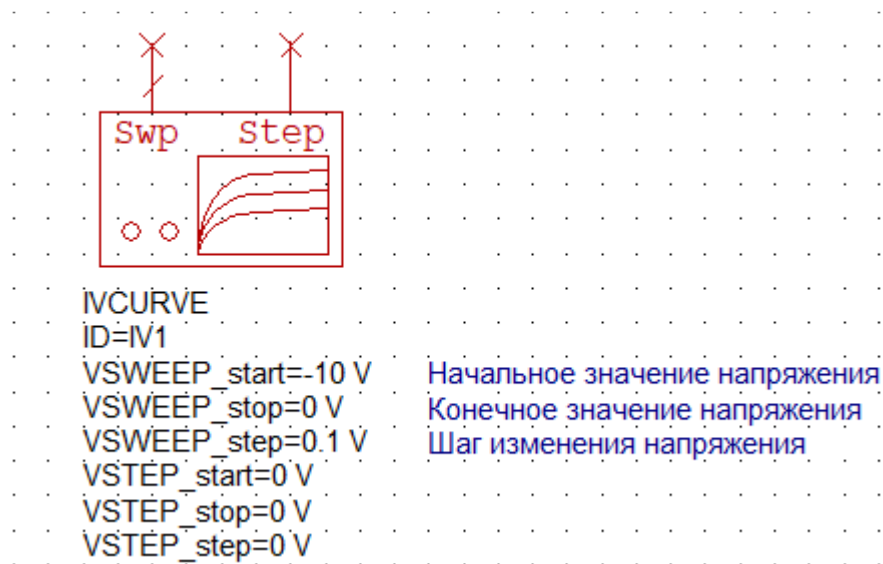


Рисунок 2.7 – Модель источника постоянного напряжения

Запустите симуляцию. ВАХ безынерционного диода будет выглядеть:

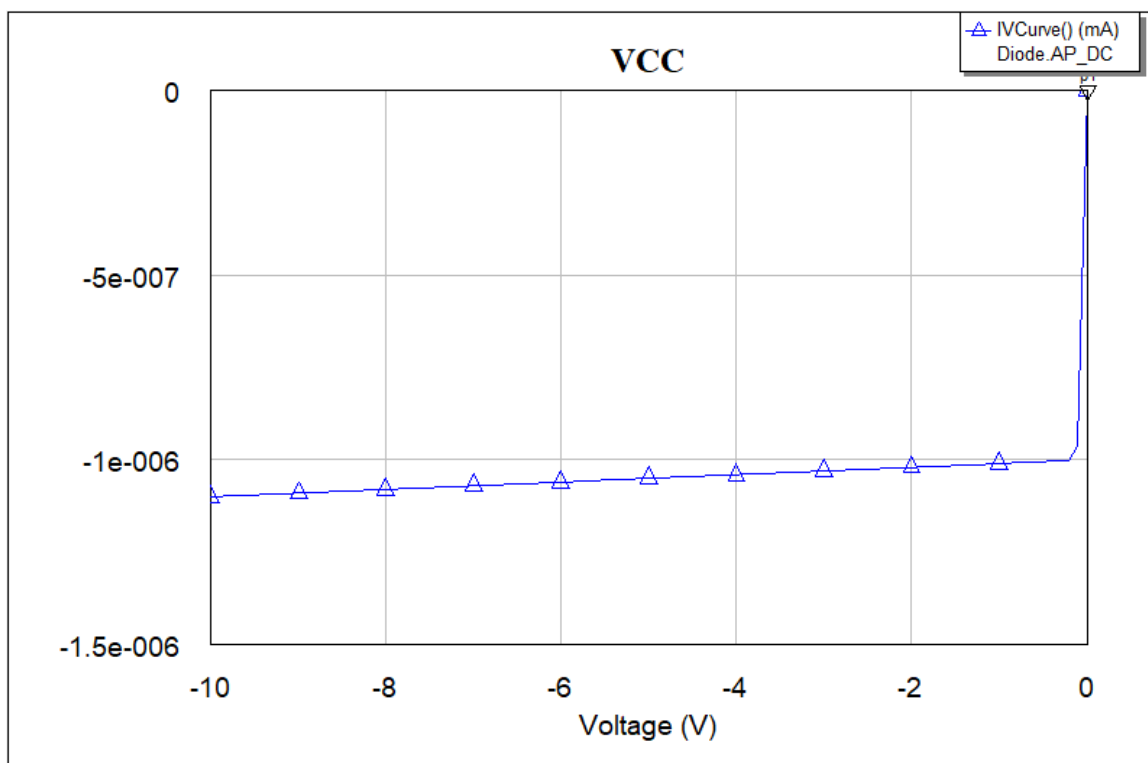


Рисунок 2.8 – ВАХ безынерционного диода в обратном смещении

Исследуйте влияние параметров модели на ВАХ диода. Для этого вызовите свойства диода и поставьте галочки в графе Tune напротив таких параметров как ток насыщения и коэффициент неидеальности. Затем воспользуйтесь инструментом Tune для наблюдения влияния изменения параметров на ВАХ безынерционного диода.

## 2.2 Работа с инерционной моделью диода

Добавьте еще одно рабочее поле, нажав на панели инструментов Add New Schematic. На панели Elements нажмите на вкладку Nonlinear => Diode. В появившемся списке выберите инерционную модель диода (рисунок 2.1). На панели главного меню нажмите на вкладку Options => Project Options (рисунок 2.9).

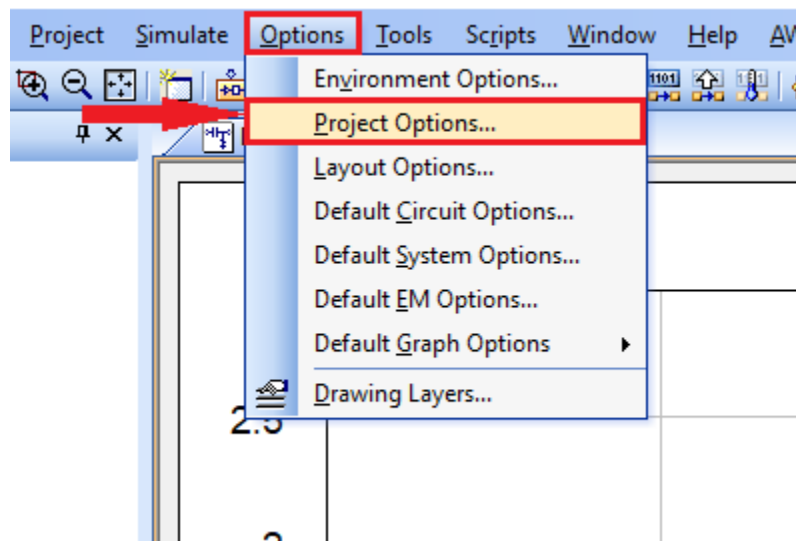


Рисунок 2.9 – Панель главного окна

В появившемся окне зайдите на вкладку Global Units и выставьте настройки, согласно рисунку 2.10. Нажмите кнопку ок.

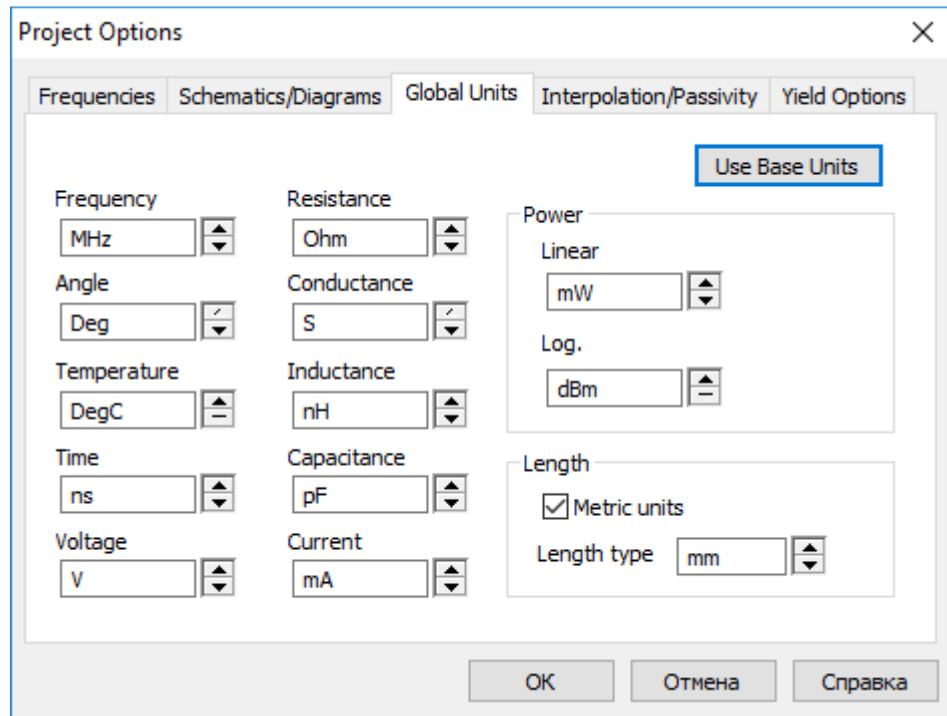


Рисунок 2.10 – Окно настроек проекта

Вызовите свойства диода. Нажмите на кнопку Show Secondary. Эта кнопка раскроет скрытые параметры. Измените параметр CJO на отличный от нуля (рисунок 2.11). Во вкладке Statistics в графе Use напротив CJO поставьте галочку (рисунок 2.12).

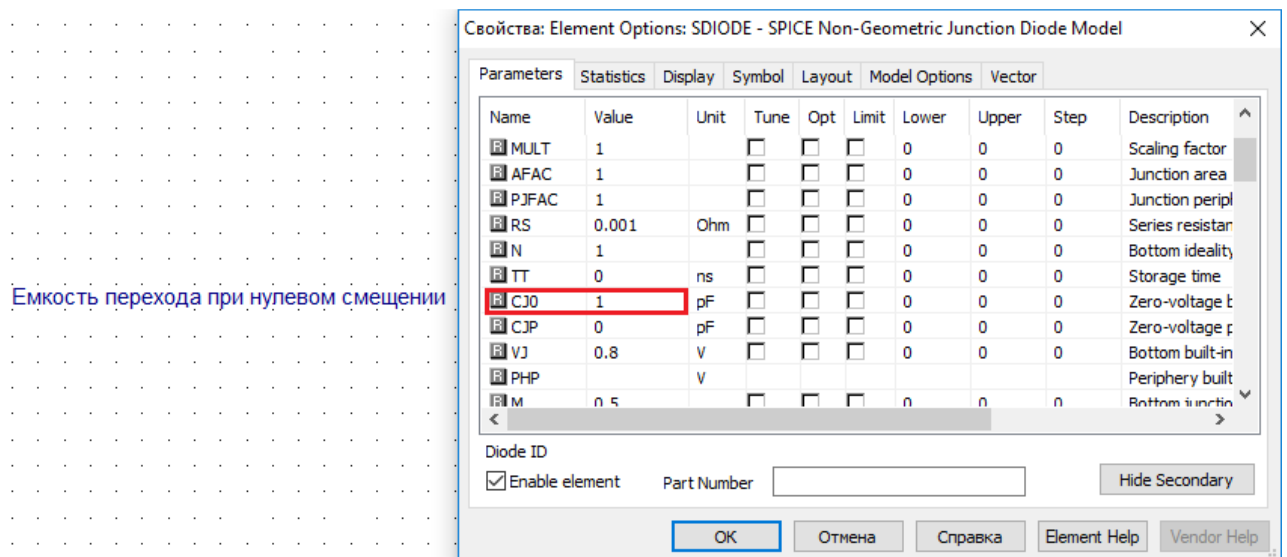


Рисунок 2.11 – Окно свойств инерционного диода

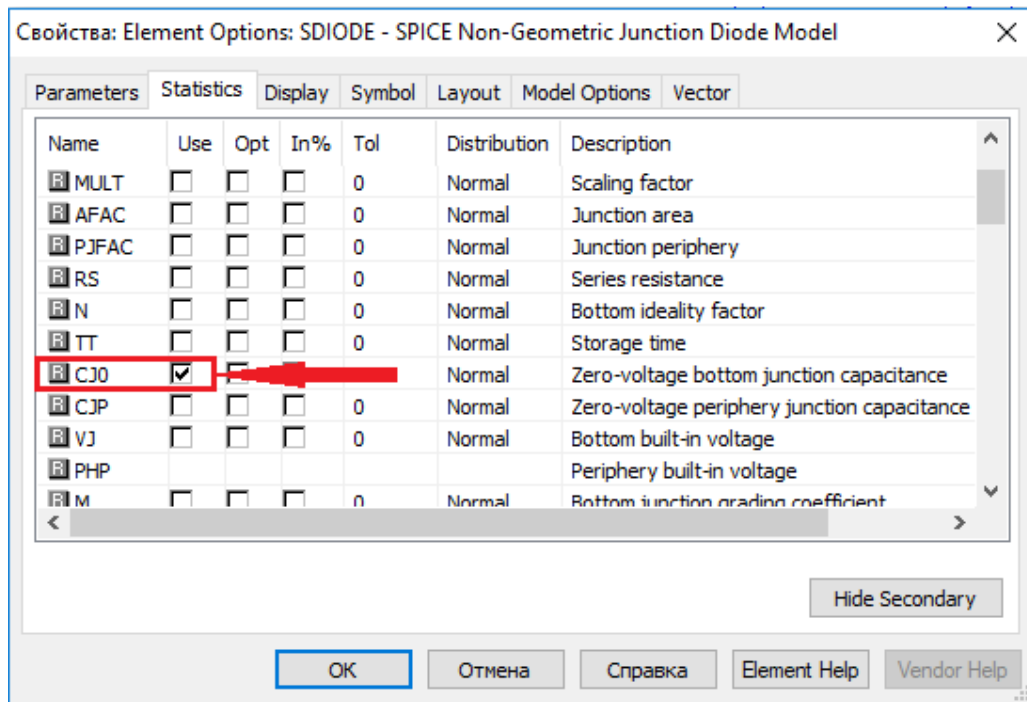


Рисунок 2.12 – Окно свойств инерционного диода

Добавьте источник постоянного напряжения. Настройте его параметры в соответствии с рисунком 2.13. Соедините выход Swp источника с диодом, второй вывод диода заземлите. Также на выходе источника поставьте порт.



Рисунок 2.13 – Настройки модели источника постоянного напряжения

Постройте вольтфарадную характеристику. Для этого создайте новый график и добавьте на него характеристику, свойства которой представлены на рисунке 2.14.

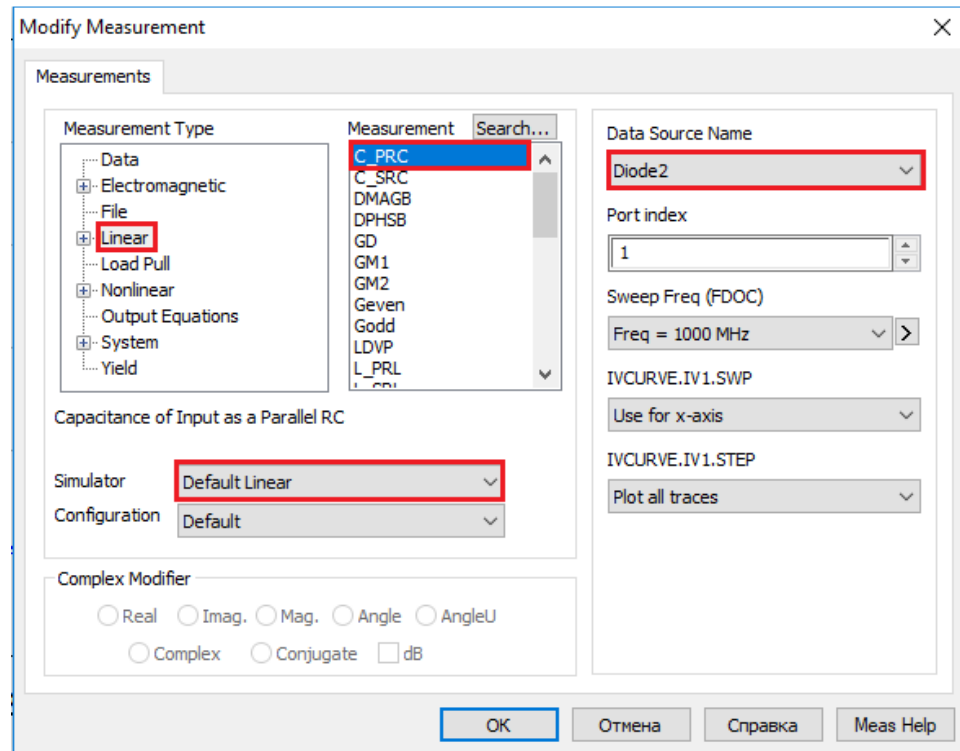


Рисунок 2.14 – Окно настройки ВФХ

Запустите симуляцию. Характеристика примет следующий вид:

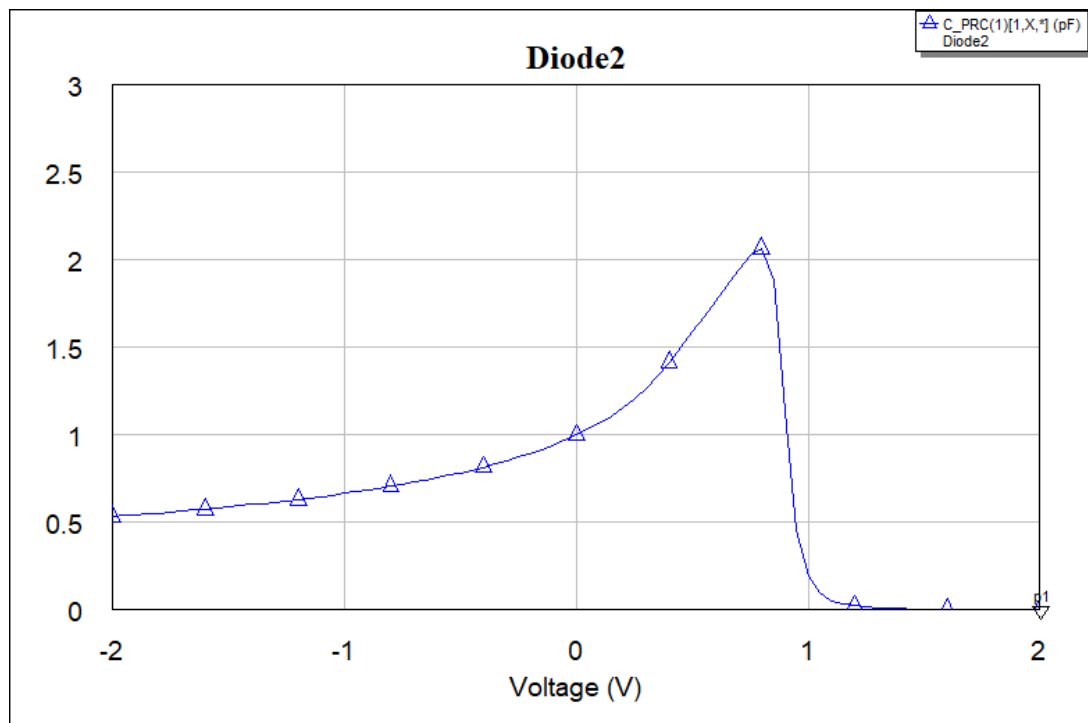


Рисунок 2.15 – ВФХ инерционного диода

Вызовите свойства диода, раскройте скрытые параметры и поставьте галочки в графе Tune, напротив таких элементов, как M, CJO, Vj (рисунок 2.16).

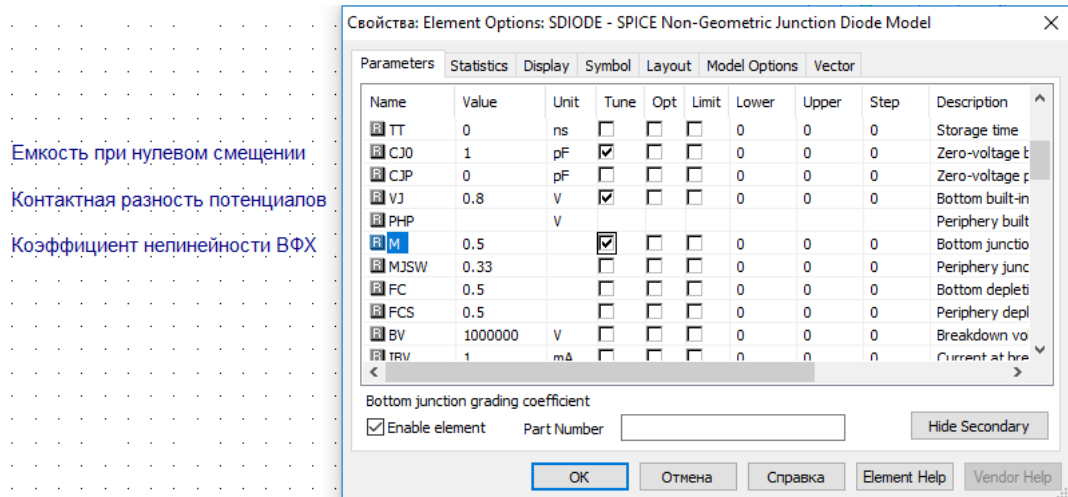


Рисунок 2.16 – Окно свойств инерционного диода

С помощью тюнера исследуйте влияние изменения номиналов выбранных параметров на вид ВФХ инерционного диода.

### 2.3 Работа с эквивалентной схемой диода

Добавьте рабочее поле. На панели Elements раскройте ветвь Nonlinear. В появившемся списке выберите Capacitor => PNCAP (рисунок 2.17).

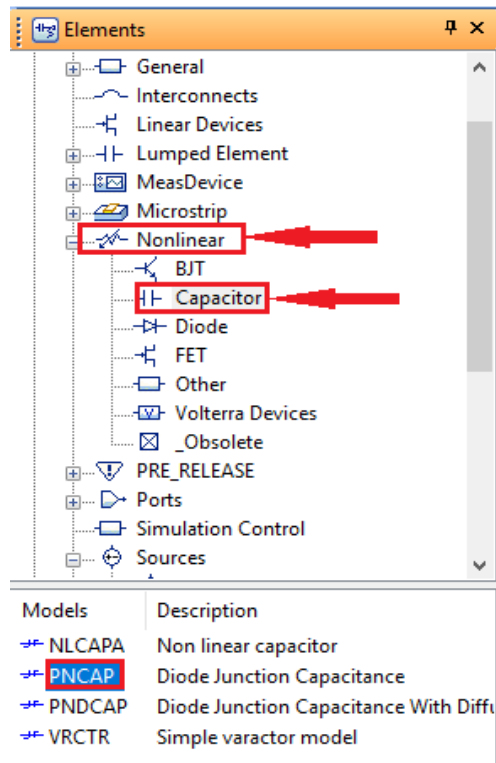


Рисунок 2.17 – Панель Elements

Далее раскройте ветвь Sources и выберите источники постоянного тока DC. Из появившегося списка выберите модель DCCSS (рисунок 2.18).

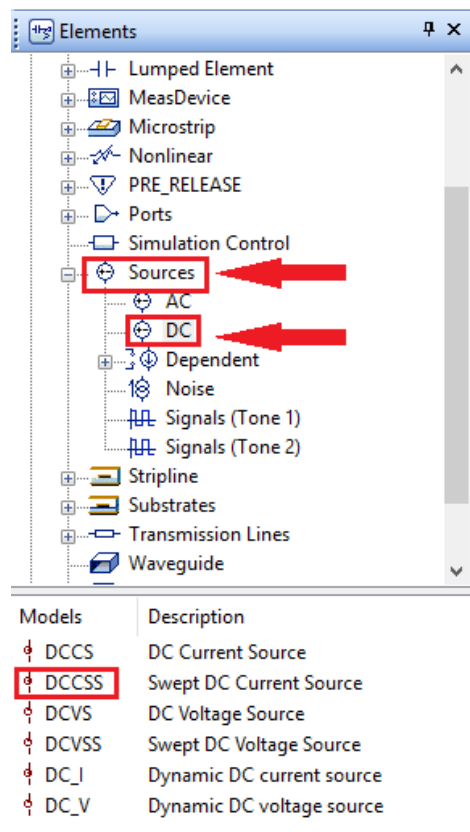




Рисунок 2.18 – Панель Elements

Соберите эквивалентную схему диода, как показано на рисунке 2.19.

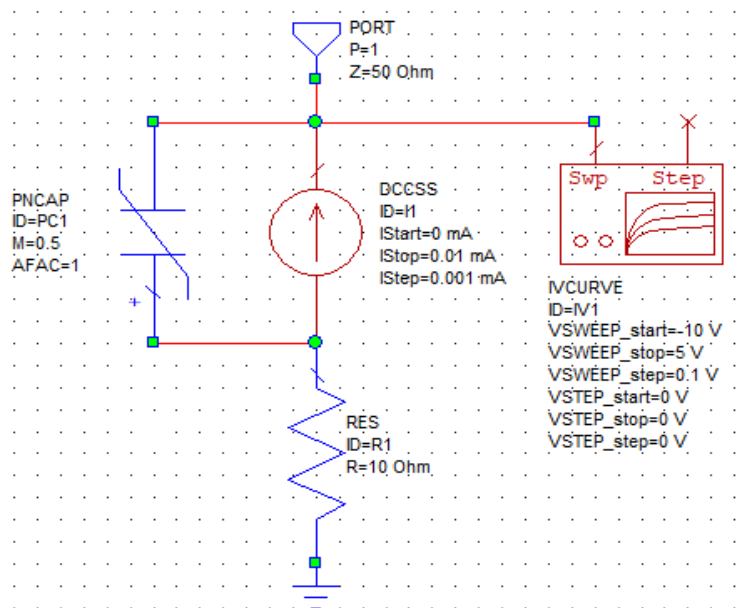


Рисунок 2.19 – Эквивалентная схема диода

Вызовите свойства конденсатора. По аналогии с инерционным диодом, измените параметр CJO. Постройте ВФХ эквивалентной схемы диода. Для этого настройте график характеристики в соответствии с рисунком 2.20.

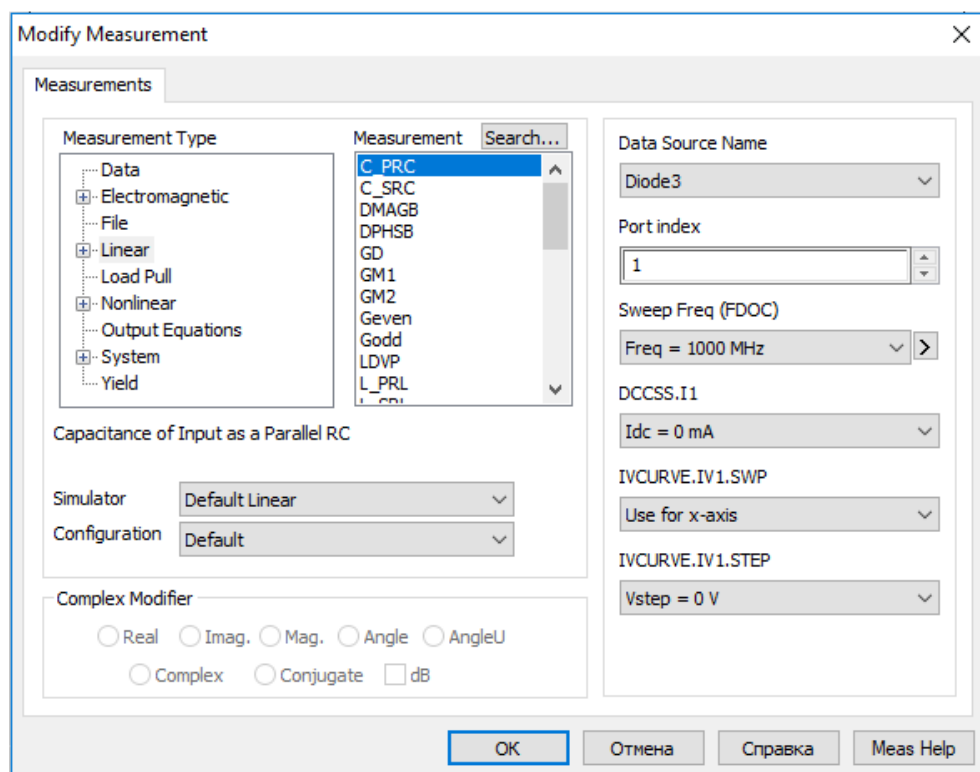


Рисунок 2.20 – Окно настройки ВФХ эквивалентной схемы диода

Запустите симуляцию. График ВФХ примет вид:

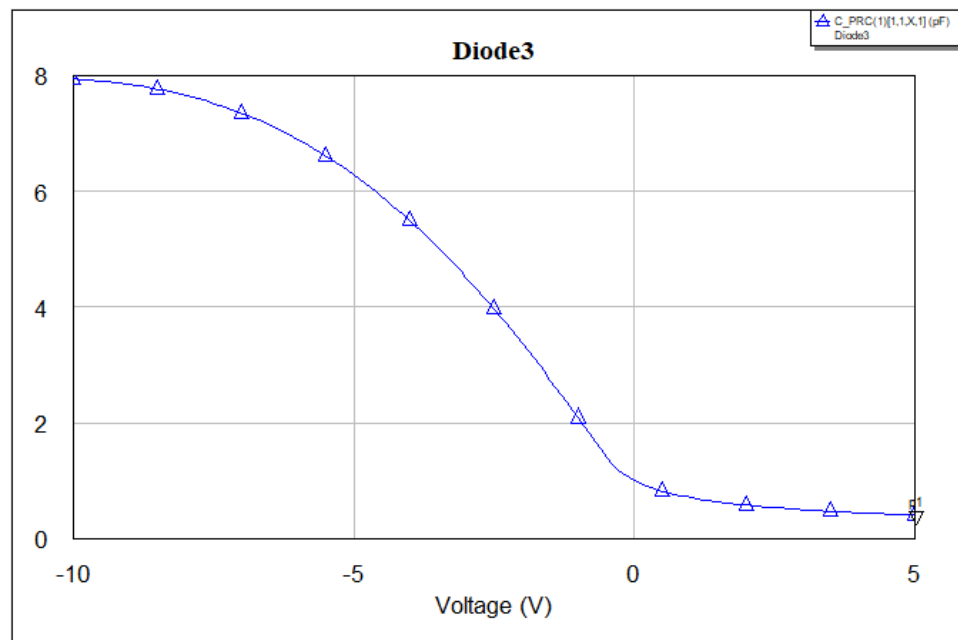


Рисунок 2.21 – ВФХ эквивалентной схемы диода

Настройте параметры модели нелинейной емкости так, чтобы ВФХ эквивалентной схемы диода совпадала с ВФХ инерционного диода. Сделайте выводы по выполненной работе.

### Контрольные вопросы

1. В чем отличие между инерционной моделью диода и безынерционной?
2. Что такое диффузионная и барьерная емкость? Как определить на ВФХ работает диффузионная, а где барьерная емкости?
3. Как и почему влияет на вид ВАХ изменение коэффициента неидеальности? Тока насыщения?
4. Как и почему влияет на вид ВФХ изменение емкости нулевого смещения? Контактной разности потенциалов? Коэффициента неидеальности?
5. Как построить ВАХ в прямом и обратном смещении?

## Практическое задание № 4 «Лабораторная работа №4 «Синтез и оптимизация полосового фильтра»

### Введение

В современных САПР (в том числе в AWR DE) синтез выполняется в основном методами оптимизации. Существует большое число различных алгоритмов поиска решения оптимизационным способом. В AWR DE используются следующие оптимизаторы:

**Оптимизатор Random** -- выполняет случайные шаги от начального приближения в пространстве поиска. Предпочтителен при большом количестве варьируемых переменных, поскольку вычислительные затраты при увеличении числа переменных возрастают не так сильно, как у других оптимизаторов. Количество симуляций схемы за одну итерацию минимально. Это простейший оптимизатор, но он работает в целом хорошо.

**Gradient Optimization** - Ньютоновский градиентный метод. Хорошо предсказывает направление на оптимум и требует поэтому меньшего числа итераций, но сами итерации медленные – требуют много раз симулировать схему. Позволяет быстро получить решение хорошего качества, однако в непосредственной близости оптимума сходится крайне медленно. Хорошо подходит для простых схем и простых целевых функций. При большом количестве переменных работает медленно. Принято считать, что для симуляции пассивных цепей предпочтительней Simplex Optimizer, чем градиентный.

**Simplex Optimization** – первоначально создает созвездие из  $N + 1$  точек на поверхности ошибок ( $N$  – число варьируемых переменных). Эти точки определяют «симплекс». Отыскивает лучшее, чем градиентный метод локальное решение. Поэтому может использоваться для «доводки» предварительно найденного решения.

**Genetic** – генетические алгоритмы. Разработчиков воодушевила скорость и эффективность приспособления свойств живых организмов под условия окружающей среды. Идея состоит в том, чтобы от двух точек в пространстве поиска (родителей) получить по определенному правилу новую точку (потомка). Потомок получается при помощи операций скрещивания и мутации (как в живой природе). Скрещиваются и мутируют так называемые хромосомы (фактически векторы значений признаков). Первоначально генетические алгоритмы использовались для решения комбинаторных задач, когда каждый элемент (ген) хромосомы бинарно определяет наличие или отсутствие какого-либо признака. Генетические алгоритмы, используемые в AWRDE, отличаются от стандартных генетических алгоритмов – модифицированы для решения задач оптимизации с непрерывным изменением значений переменных. Модификация состоит в способе генерирования числа (ген потомка) от двух других чисел (гены родителей) с добавлением элемента случайности. Здесь есть разные варианты; например, гауссовская мутация и т. д. Качество работы генетических алгоритмов сильно зависит от их многочисленных настроек.

Цель работы: Провести параметрический синтез фильтра. Изучить и сравнить различные оптимизаторы, предоставленные средой AWR DE.

## **2 Порядок выполнения работы**

Запустите AWR DE. Создайте новый проект и сохраните его в своей папке. В рабочей области соберите схему LC-фильтра, представленного на рисунке 2.1.

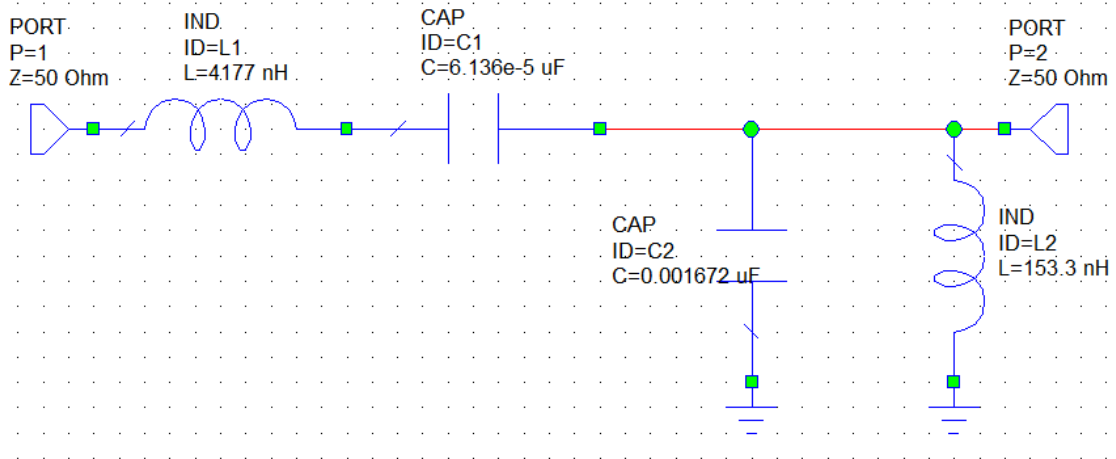


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема LC-фильтра

Для проведения оптимизации необходимо для каждого элемента включить варьируемый параметр. То есть тот параметр, который в ходе оптимизации будет регулироваться. Для этого необходимо поставить галочку в графе Opt (рисунок 2.2). Так же можно задать границы оптимизации, шаг, но в данной работе в этом нет необходимости.

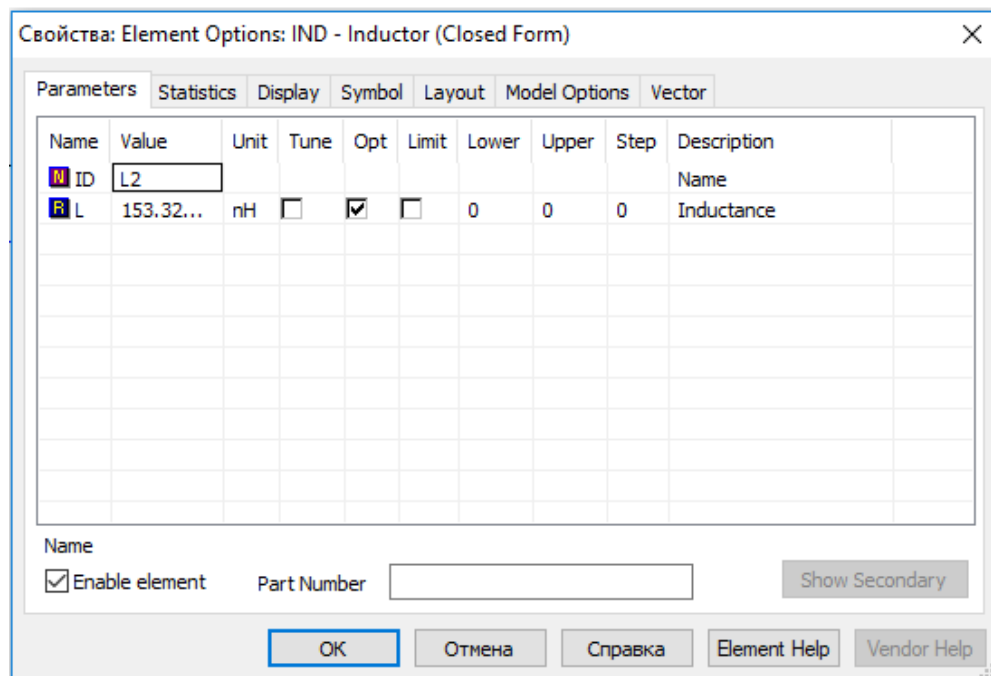


Рисунок 2.2 – Свойства элемента

Настроить свойства компонента схемы также можно и воспользовавшись клавишей F7, а затем перейдя по вкладке Variables. В этом случае, окно настройки должно выглядеть следующим образом:

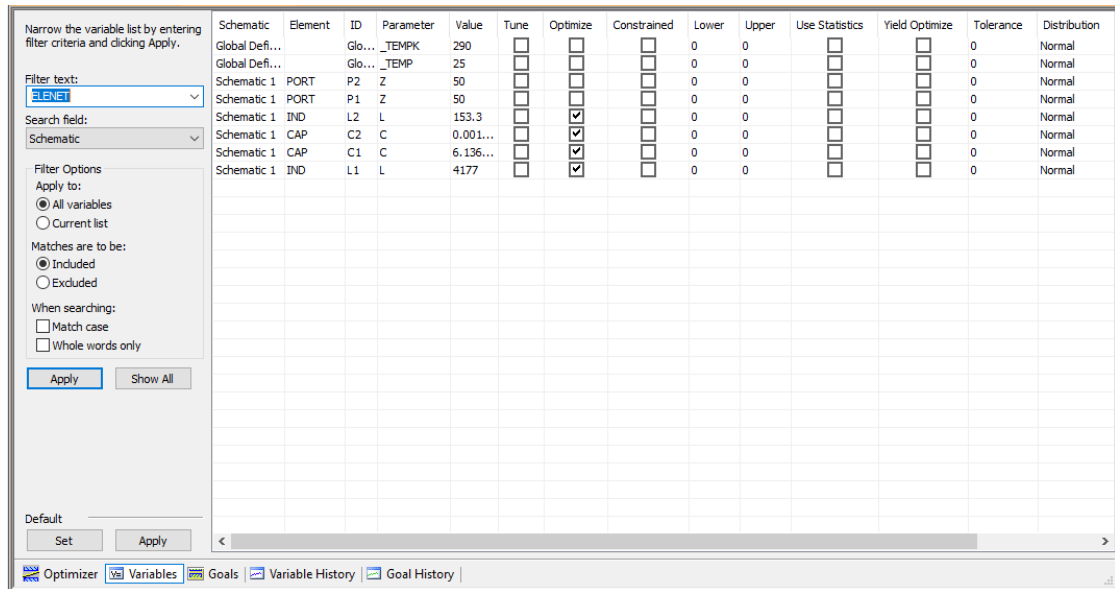


Рисунок 2.3 – Окно настройки оптимизатора

Далее постройте график, для этого нужно на панели инструментов выбрать Add Graph. В появившемся окне нажать правой кнопкой мышки и выбрать Add New Measurement. И выставляем следующие настройки:

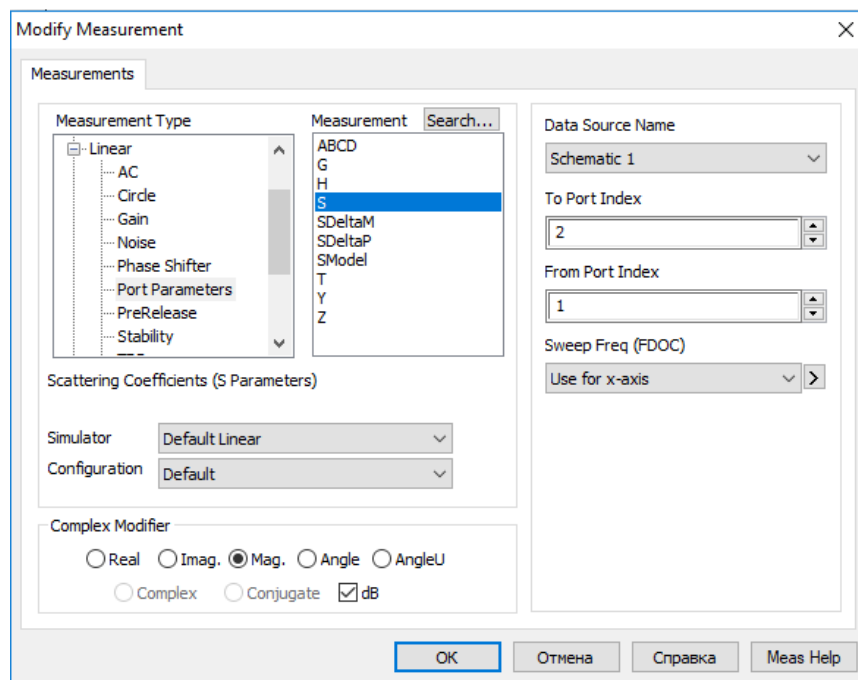


Рисунок 2.4 – Окно настроек графика

Запустите симуляцию. Следующим этапом будет задание целей оптимизации. В менеджере проектов правой кнопкой мыши нажимаем на Optimizer Goals (рисунок 2.5).

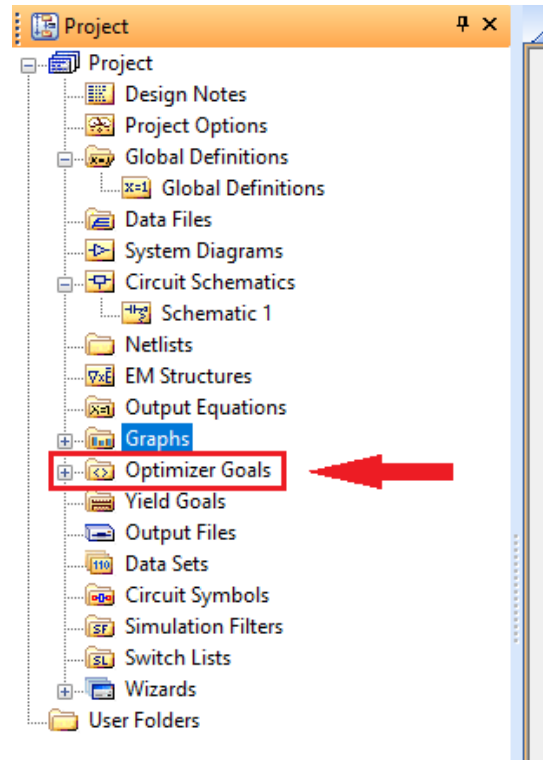


Рисунок 2.5 – Менеджер проекта

В появившемся меню выберите Add Optimizer Goal. И задайте цели оптимизации в соответствии с рисунками 2.6 – 2.8.



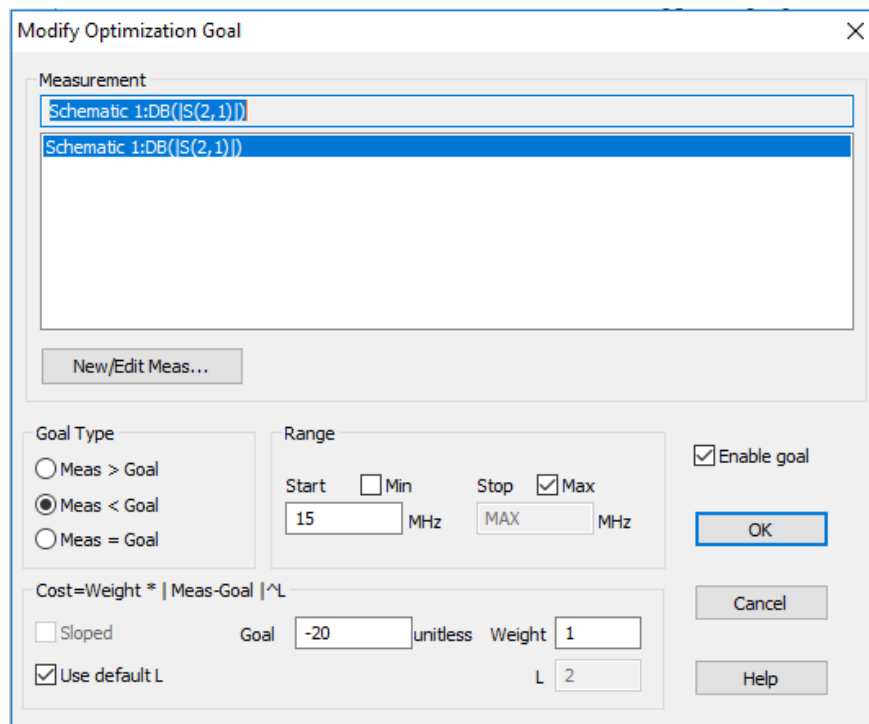


Рисунок 2.6 – Первое условие оптимизации

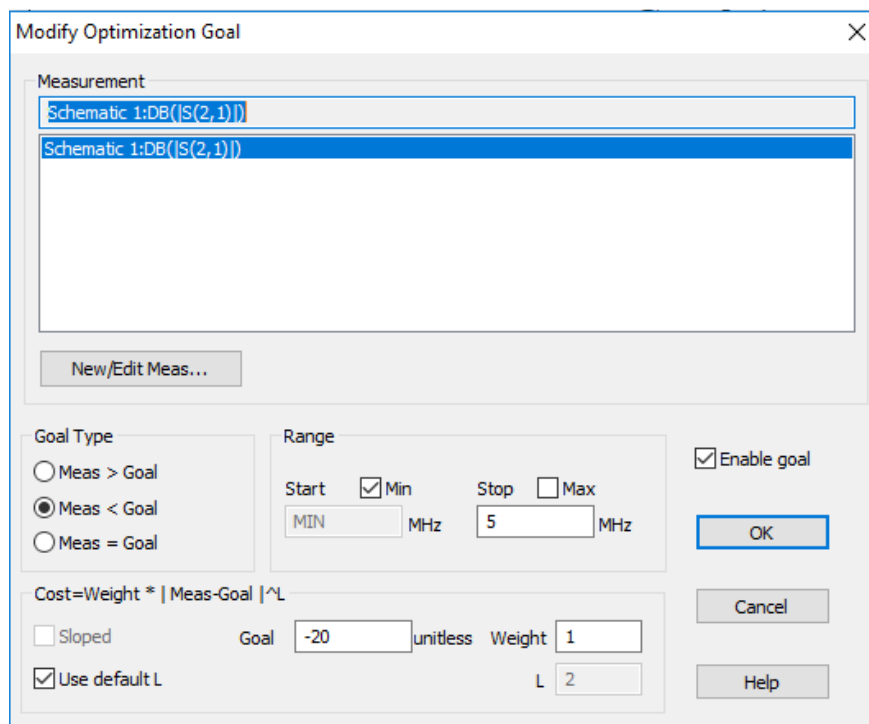


Рисунок 2.7 – Второе условие оптимизации

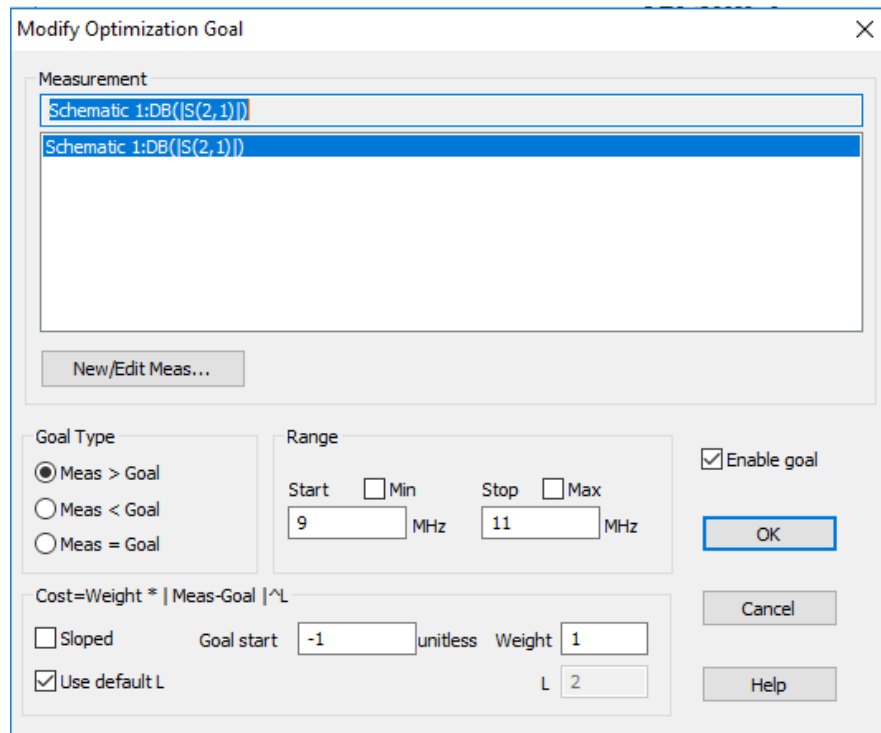
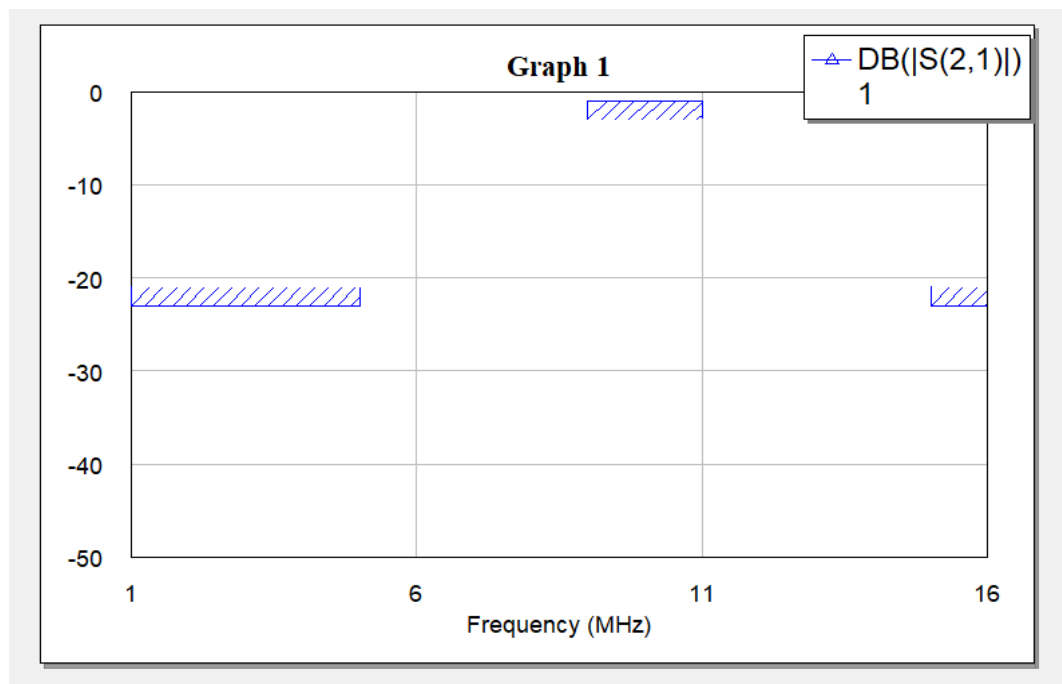


Рисунок 2.8 – Третье условие оптимизации



Условия оптимизации примут на графике следующий вид:

Рисунок 2.9 – Условия оптимизации

Воспользуйтесь клавишей F7 и на вкладке Optimizer выберите такой метод оптимизации (рисунок 2.10), при котором график будет максимально подходить под условия оптимизации (рисунок 2.11).

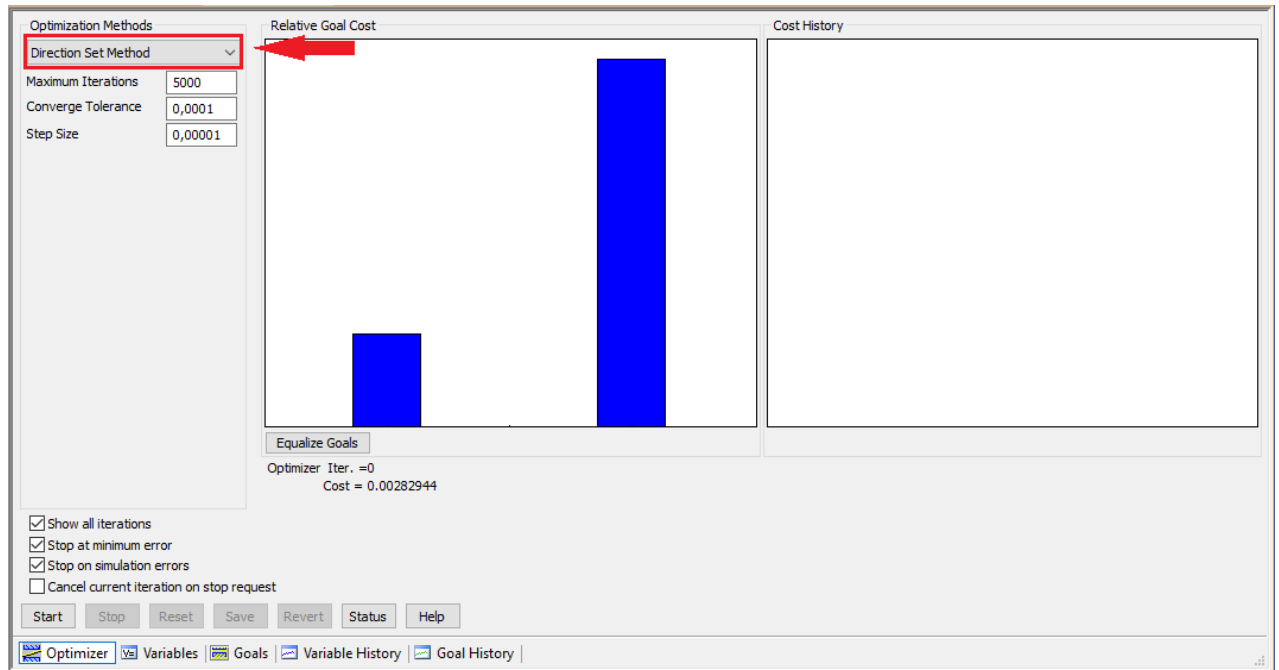


Рисунок 2.10 – Окно оптимизатора

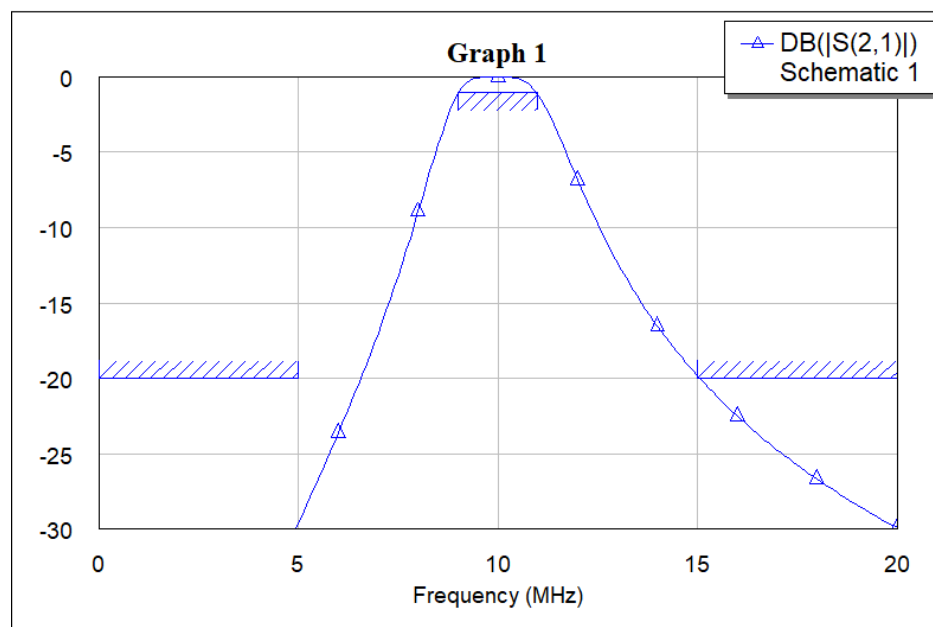


Рисунок 2.11 – Оптимизированная АЧХ

Сделайте выводы по выполненной работе.

**Контрольные вопросы**

1. Что такое оптимизация и для чего она необходима?
2. Что такое варьируемый параметр и как его включить?
3. Как задаются цели оптимизации?
4. Объясните, каким образом были выбраны условия для целей оптимизации?
5. Опишите оптимизаторы, которые вы использовали в лабораторной работе. Какой из них был эффективней?

**Практическое задание №5 «Программирование гибких средств измерения с применением LabVIEW и платформы PXI для системы проектирования AWR Design Environment»**

**1 Введение**

В настоящее время одной из проблем инженеров во время проектирования новой, более совершенной РЭС, является необходимость анализа большого количества вариантов показателей оптимизации для аппаратуры, при чем по мере возрастания сложности аппаратуры количество таких вариантов возрастает. Во процессе проектирования разработчик может допустить ошибки, которые могут, как и незначительно повлиять на работу оборудования, так и привести к выводу его из строя.

Для исключения такого рода неточностей необходимо, чтобы до этапа изготовления устройства была возможность проверить работу проекта. Выполнимость такой проверки предоставляет виртуальное моделирование. Сейчас существует большое количество различных САПР, которые дают большое количество вариантов исполнения творческих замыслов инженеров. Но у различных САПР есть свои недостатки, которые можно компенсировать преимуществами другого программного обеспечения. Взаимодействие программных обеспечений называется интеграцией этих систем. Интеграция необходима для получения разработчиками дополнительных возможностей, которые позволят анализировать, оптимизировать и исследовать сложные проекты.

**Цель работы:** исследовать работу программно-аппаратного комплекса для передачи физических сигналов в среду моделирования.

**2 Порядок выполнения работы**

Запустите AWR DE. Создайте проект и сохраните его. На панели инструментов кликните по Add New System Diagram (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Панель инструментов

На панели Elements раскройте ветвь System Blocks. Нажмите на National Instruments и в списке моделей выберите блок LabVIEW (рисунок 2.2).

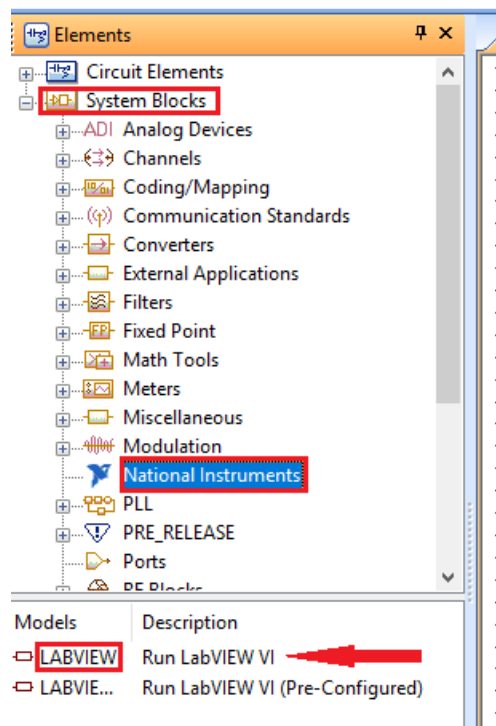


Рисунок 2.2 – Панель Elements

На рабочем поле блок примет следующий вид:

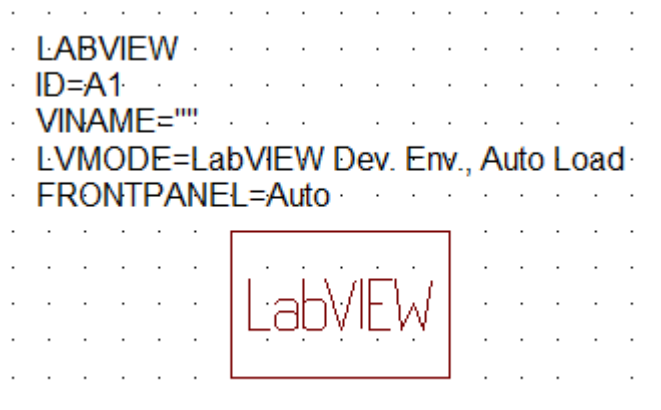


Рисунок 2.3 – Блок LabVIEW

Создайте еще один такой блок. Сверните программу AWR DE и запустите LabVIEW. Нажмите на строку Browse и, следуя указаниям преподавателя, запустите файл Generator. Первое открывшееся окно называется передней панелью, нажмите на вкладку Window, или используйте комбинацию Ctrl+E, для того, чтобы перейти на другое окно, окно блок-схемы. Запустите симуляцию, нажав на кнопку Run. Пронаблюдайте график на передней панели, изменив тип генерируемого сигнала и нажав на кнопку Обновить (рисунок 2.4). Остановите симуляцию, нажав на кнопку Стоп.

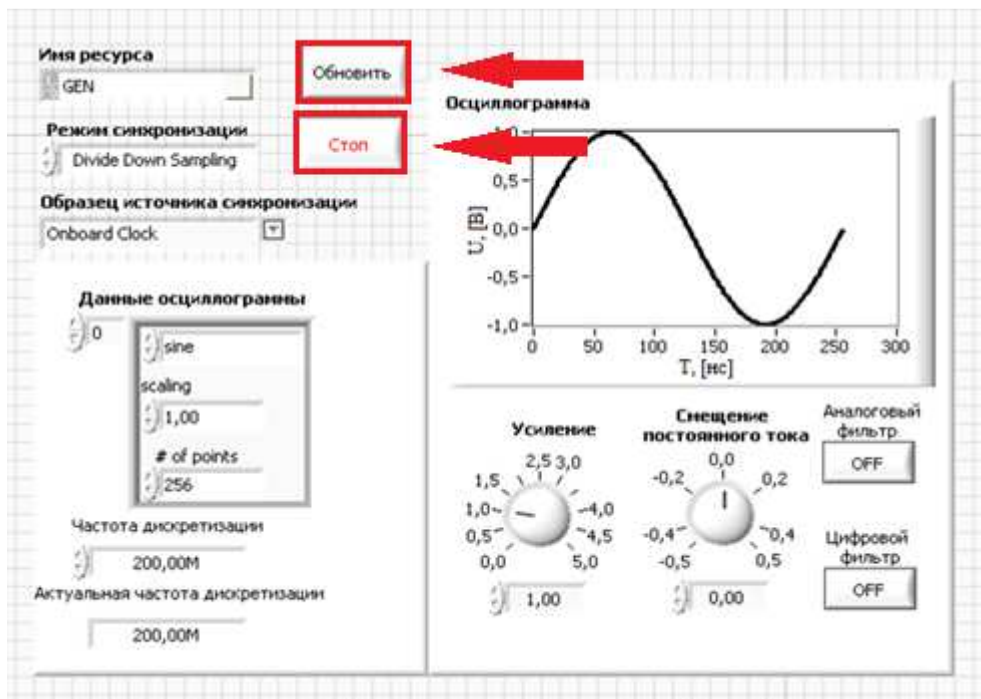


Рисунок 2.4 – Передняя панель генератора

Создайте новый файл, нажав в главном меню на File => New VI, или же нажав комбинацию Ctrl+N. Загрузите в него файл Scope. Далее соедините кабелем вход генератора и осциллографа. Запустите симуляцию и генератора, и осциллографа (рисунок 2.5). Сравните полученные графики.

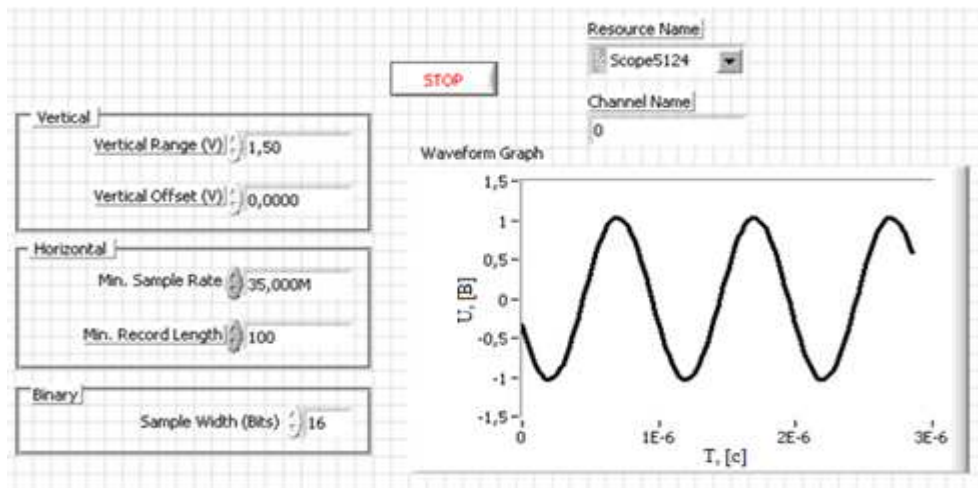


Рисунок 2.5 – Передняя панель осциллографа

Вернитесь к AWR DE. Вызовите свойства блока, нажав дважды на него. Появится следующее окно:

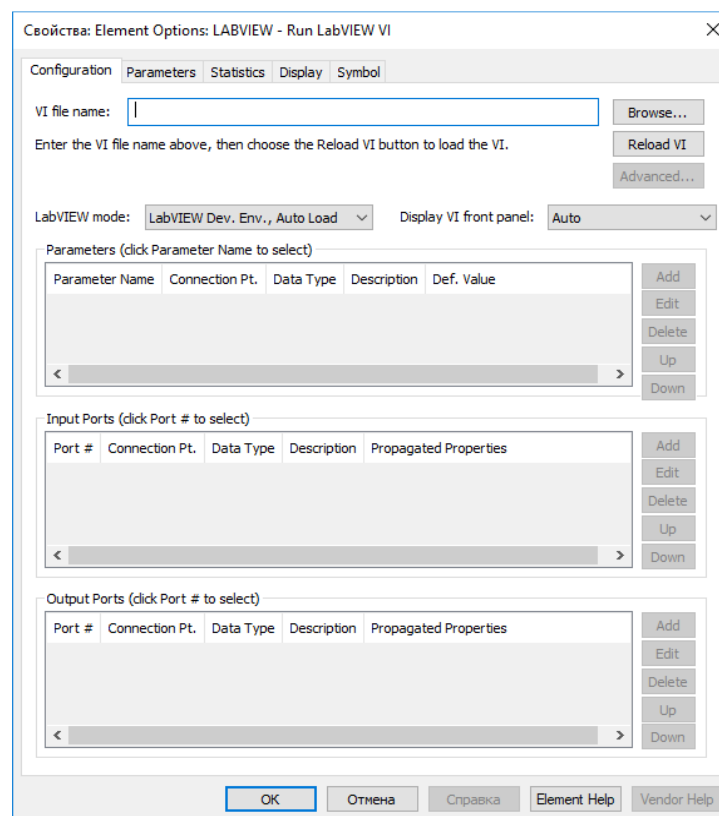


Рисунок 2.6 – Окно свойств блока LabVIEW

В окне VI file name, укажите путь к LabVIEW-файлу генератора. Нажмите на кнопку Reload VI. Настройте режим LabVIEW mode на LabVIEW Run-Time. А Display VI front panel => Show Front Panel. В поле Output Ports



нажмите на Add. В появившемся окне напротив параметра TSTEP нажмите на Edit. Настройте этот параметр в соответствии с рисунком 2.7:

The screenshot shows the 'Output Port Propagated Property' dialog box. The 'Property name' is 'TSTEP' and the 'Time step' is selected. Under the 'Source' section, 'New parameter' is selected. The 'Parameter name' is 'TSTEP', the 'Description' is 'Time step (1/sampling frequency)', the 'Data type' is 'Real', the 'Default value' is '1e-9', and the 'Units' are 'Time'. The 'Options' section has 'Secondary' and 'Hidden' checkboxes, both of which are unchecked. The 'Do not propagate' option is also unchecked. The 'Property value conversion' is set to 'No change'. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

Рисунок 2.7 – Окно настроек шага дискретизации

То же самое сделайте для параметров Oversampling rate (рисунок 2.8) и Block size (рисунок 2.9).

The screenshot shows the 'Output Port Propagated Property' dialog box. The 'Property name' is 'SMPSYM' and 'Samples per symbol (oversampling rate)' is selected. Under the 'Source' section, 'New parameter' is selected. The 'Parameter name' is 'SMPSYM', the 'Description' is 'Samples per symbol', the 'Data type' is 'Integer', the 'Default value' is '\_SMPSYM', and the 'Units' are 'Scalar'. The 'Options' section has 'Secondary' and 'Hidden' checkboxes, both of which are unchecked. The 'Do not propagate' option is also unchecked. The 'Property value conversion' is set to 'No change'. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

Рисунок 2.8 – Окно настроек частоты дискретизации

**Output Port Propagated Property**

Property name: **SMPSYM**      Samples per symbol (oversampling rate)

**Source**

☐ Input port:

☐ Connection point:

☐ Existing parameter:

☒ New parameter:

Parameter name: **SMPSYM**

Description: **Samples per symbol**

Data type: **Integer**

Default value: **\_SMPSYM**

Units: **Scalar**

Options: ☐ Secondary ☐ Hidden

☐ Do not propagate

Property value conversion: **No change**

**OK** **Cancel**

Рисунок 3.14 – Окно настроек частоты дискретизации

**Output Port Propagated Property**

Property name: **LV\_BSIZE**      Block size for downstream LabVIEW blocks

**Source**

☐ Input port:

☐ Connection point:

☐ Existing parameter:

☒ New parameter:

Parameter name: **BLKSZ**

Description: **Block size for downstream LabVIEW blocks**

Data type: **Integer**

Default value: **100**

Units: **Scalar**

Options: ☐ Secondary ☐ Hidden

☐ Use array size of port's connection point

Property value conversion: **No change**

**OK** **Cancel**

Рисунок 2.9 – Окно настроек размера массива

Для второго блока LabVIEW в строке VI file name укажите путь к осциллографу. В поле Output ports добавьте выходной порт, настройки которого аналогичны настройкам для блока генератора.

На панели Elements раскройте ветвь RF Block, нажмите на Amplifiers, из списка выберите усилитель AMP\_V. В интернете найдите документацию на усилитель ZHL-6A+. Настройте параметры усилителя в AWR DE согласно найденной документации.

Соедините генератор с усилителем. На панели инструментов выберите Test Point. Первый порт поставьте на выход усилителя, второй на выход блока с осциллографом, третий – на выход генератора. Создайте новый график и добавьте на него характеристику. Настройки характеристик аналогичны друг другу, различаются только номером портов (рисунок 2.10).

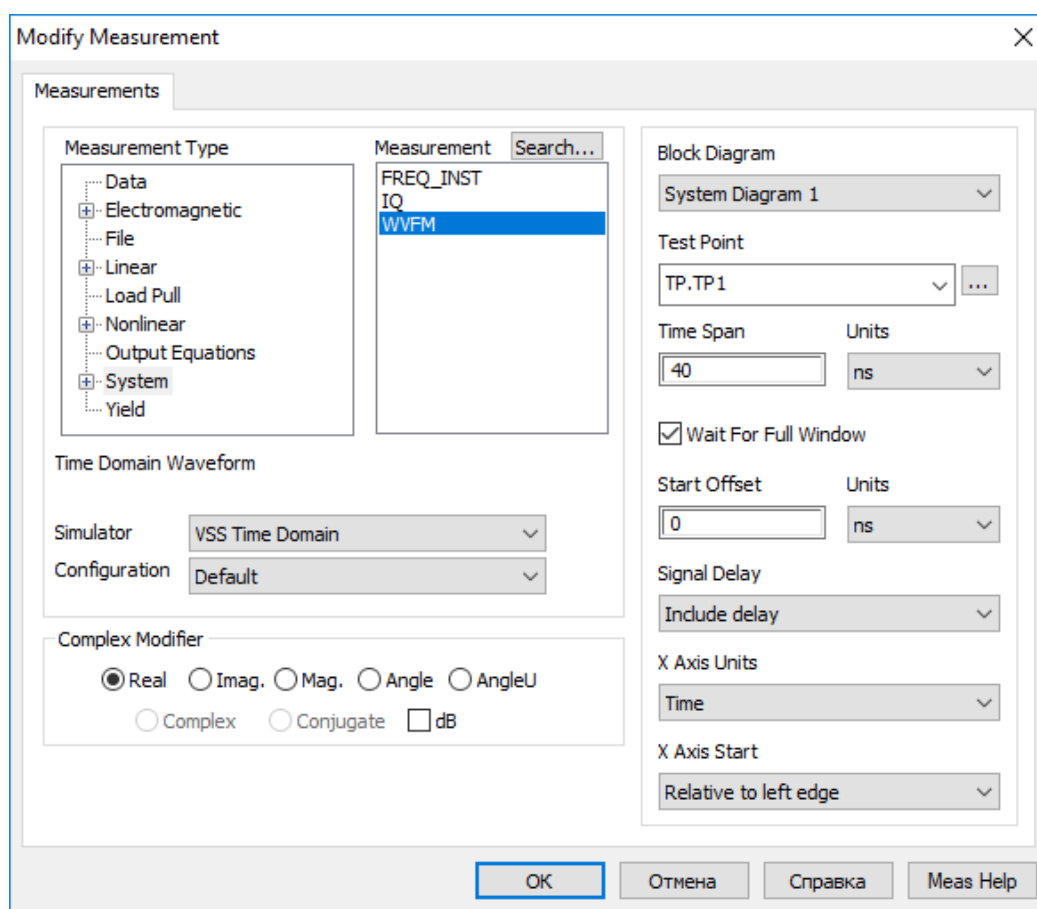


Рисунок 2.10 – Настройки характеристики

Запустите симуляцию нажав на кнопку Run/Stop System Simulator. При запуске симуляции в AWR DE, автоматически запуститься передняя панель LabVIEW. Подождите несколько секунд симуляции и на передней панели LabVIEW нажмите кнопку UPDATE. Остановите симуляцию в AWR DE. Сохраните графики.

Удалите усилитель со схемы. Первый порт соедините с выходом блока с генератором. При помощи преподавателя, присоедините усилитель к генератору и осциллографу. Запустите симуляцию. Сравните с предыдущими результатами.

### **Контрольные вопросы**

1. Расскажите основную суть расчетно-экспериментального метода.
2. Поясните, как применяется расчетно-экспериментальный метод в данной лабораторной работе.
3. Для чего применяется интеграция систем? Приведите примеры, известных вам интегрированных систем.
4. Расскажите об основных деталях процесса интеграции LabVIEW в AWR DE.
5. Сравните полученные осциллограммы и поясните различия между графиками.