Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

Кафедра телевидения и управления (ТУ)

Методическое пособие для выполнения лабораторных работ

по дисциплине «Преднамеренные силовые электромагнитные воздействия»

для групп 116-М1, 116-М2, 146-М5

Составители:

Газизов Р.Р.

Квасников А.А.

Мухамбетжанова Б.С.

Томск 2018

Оглавление

1. Знакомство и работа с функциями динамической визуализации и локализации экстремумов сигнала в системе TALGAT 3

2. Исследование шины печатной платы с помощью функций модуля DynaVis системы компьютерного моделирования TALGAT 17

3. Исследование шины печатной платы с помощью амплитудных критериев при различных расположениях источника воздействия..... 29

4. Исследование шины печатной платы с помощью амплитудных критериев при изменении длительности воздействия 35

5. Исследование шины печатной платы с использованием базы данных сверхкоротких импульсов от реальных генераторов 37

6. Исследование шины печатной платы с использованием оптимизации генетическим алгоритмом 42

1. ЗНАКОМСТВО И РАБОТА С ФУНКЦИЯМИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА В СИСТЕМЕ TALGAT

1.1. Цель работы: научиться работать с функцией динамической визуализации в системе TALGAT.

1.2. Теоретический материал:

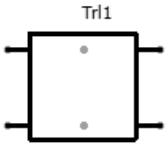
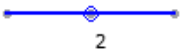
Система TALGAT – программный комплекс для моделирования задач электромагнитной совместимости. Система предназначена для компьютерного моделирования широкого класса задач электромагнитной совместимости за счет выполнения следующих основных функций: квазистатического анализа (вычисления матриц) произвольных двумерных и трехмерных структур проводников и диэлектриков; электродинамического анализа произвольных трехмерных структур проводников; вычисления временного и частотного отклика линий передач; структурно−параметрической оптимизации с указанными видами анализа.

Схематично структура ПО TALGAT представлена на рисунке 1.1, где действие пользователя над элементом графического интерфейса или ввод текстовой команды преобразуется клиентом ядра системы (исполняемый файл, запускаемый пользователем для начала работы с системой) в текстовую команду и передается ядру системы.

Ядро системы распознает команду и вызывает ее обработчик, размещенный в соответствующем динамическом модуле системы (исполняемые файлы, экспортирующие специальные функции, с помощью которых ядро системы при загрузке динамического модуля подключает содержащиеся в модуле программы к системе). Описание элементов принципиальной схемы приведено в табл. 1.1.

Рисунок 1.1 – Структура ПО TALGAT

Таблица 1.1 – Описание элементов принципиальной схемы

Название элемента	Схематичное изображение
Заземление	
Источник напряжения	
Источник тока	
Резистор	
Линия передачи (двухпроводная)	
Соединительная линия (для соединения элементов принципиальной схемы)	

Активный проводник – это проводник, к которому подключен источник питания (напряжения или тока), пассивный проводник – к которому не подключен. Функции динамической визуализации реализованы в модуле DynaVis, который предназначен для анимированного отображения токов и напряжений, распространяющихся вдоль проводника отрезка линии передачи. Каждая линия передачи делится на определенное число сегментов (подынтервалов), заданное пользователем, затем в каждом сегменте вычисляются значения тока или напряжения и анимировано отображается их распространение при переходе от сегмента к сегменту.

1.3. Задание для выполнения

Необходимо построить принципиальные схемы для нескольких структур со связанными линиями передачи (4 примера), а также для двух меандровых линий (из одного и двух витков), указать все необходимые характеристики (матрицы емкостей и индуктивностей, длины линии, параметры резисторов и источников сигнала). С помощью меню динамической визуализации выявить и локализовать максимальные и минимальные значения напряжений и токов. Результаты представить преподавателю.

Принципиальные схемы используемых структур со связанными линиями передачи приведены на рисунке 1.2, а меандровых линий – на рисунке 1.3. Преподавателю необходимо представить результаты для каждой принципиальной схемы в текстовом документе в следующей форме:

1) изображение принципиальной схемы примера;

2) демонстрация всех ее параметры: параметры источника воздействия, резисторов, линий передачи (вместе с матрицами), параметры меню Dynavis (скорость анимации, число подынтервалов, начальный и конечный узлы);

3) изображение форм сигналов в начале, конце, с максимальным и минимальным значением тока и напряжения, а также максимальные и минимальные значения напряжений и токов, и номера сегментов, в которых они локализованы.

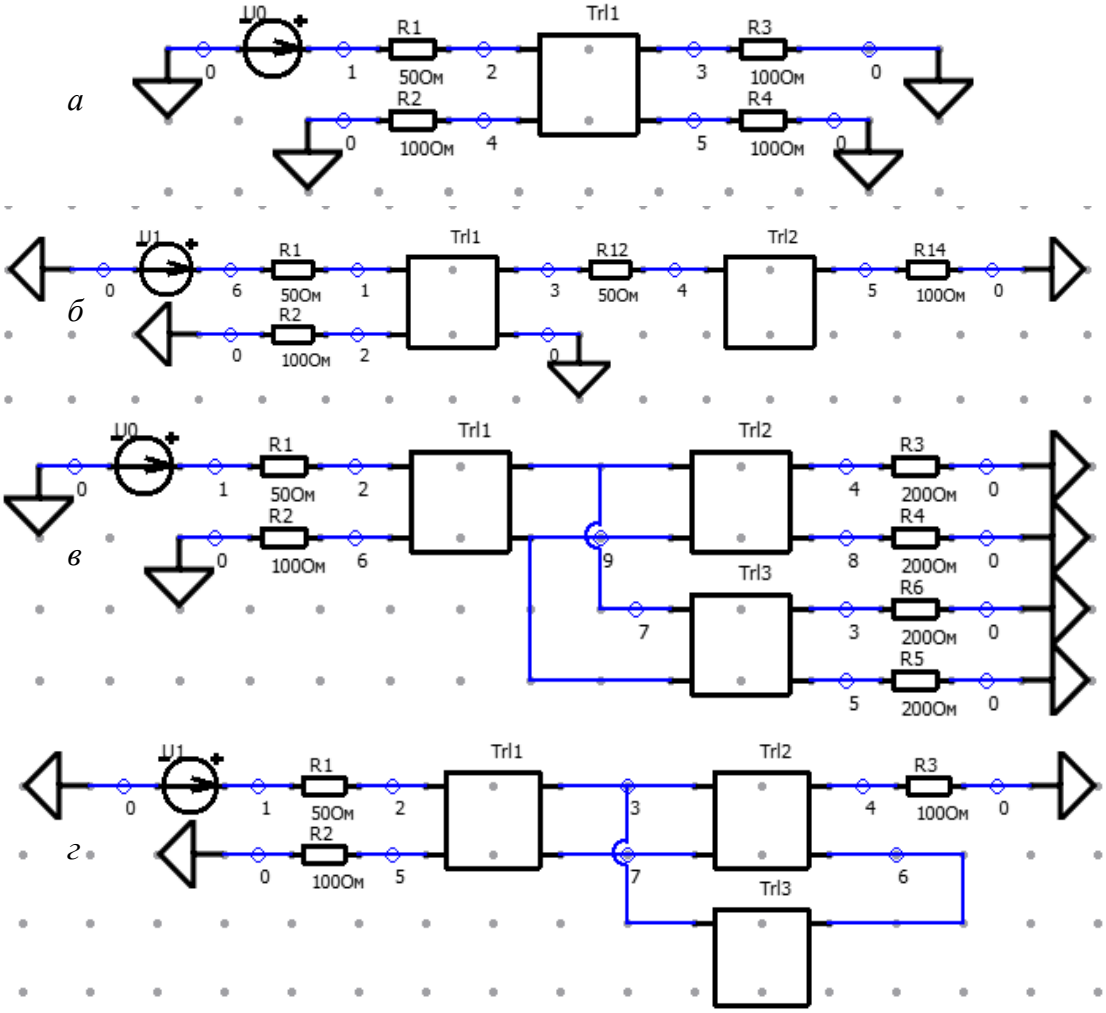


Рисунок 1.2 – Принципиальные схемы со связанными линиями передачи: пример 1 (*а*), 2 (*б*), 3 (*в*), 4 (*г*)

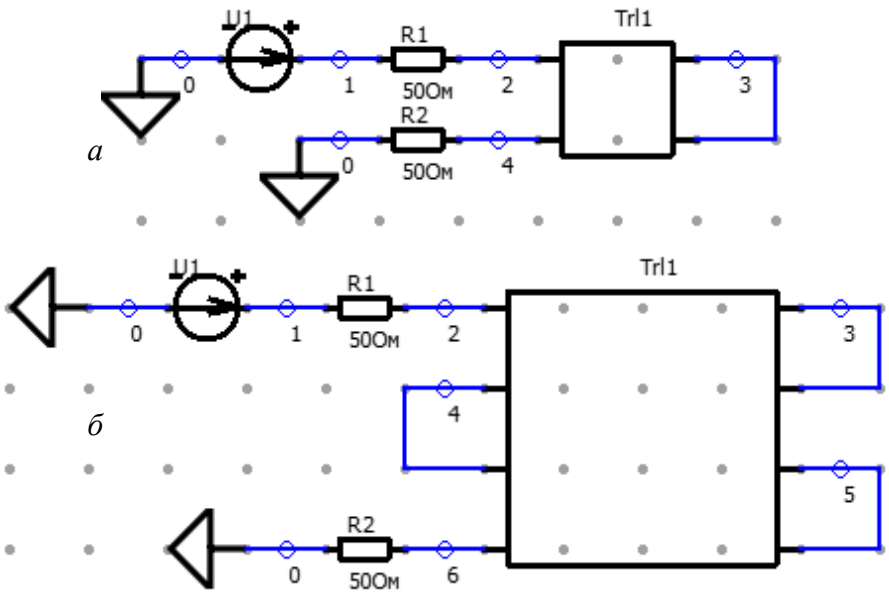


Рисунок 1.3 – Принципиальные схемы меандровой линии из одного (*а*) и двух (*б*) витков

1.4. Последовательность действий для выполнения

Запустите ПО TALGAT на вашем компьютере. Меню «Пуск» – Все программы – TALGAT 2016 (версия может отличаться). Если клиент предложит обновить систему, нажимаем «Скачать». Установка запустится автоматически, необходимо лишь нажимать «Далее». Когда клиент откроется, заходим в меню «Вид» и ставим галочки напротив «Показывать подписи» и «Показывать значения». Затем открываем меню «Файл» – «Создать принципиальную схему». Это же можно сделать, нажав соответствующую кнопку на панели инструментов (рисунок 1.4) или нажав комбинацию клавиш Ctrl+J.

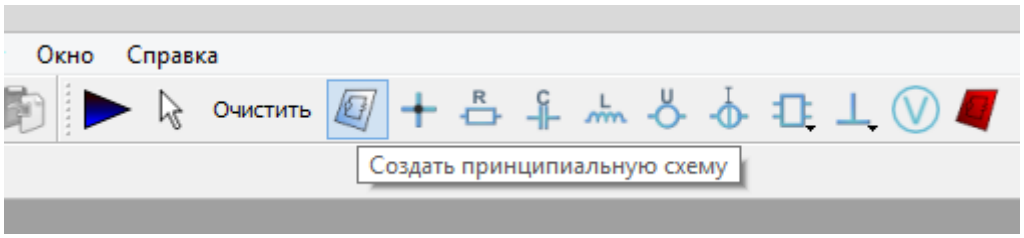


Рисунок 1.4– Панель инструментов

В открывшемся окне работы с принципиальной схемой необходимо построить саму принципиальную схему, изображенную на рисунке 1.2. Для этого на панели инструментов выбираем необходимый элемент (при

наведении на каждый элемент мышью, высвечивается его название), нажимаем на него левой кнопкой мыши (ЛКМ) и переводим курсор на окно с принципиальной схемой, снова нажимаем ЛКМ. Элемент установится в то место, куда вы указали мышью. Подписи элементов принципиальной схемы указаны на рисунке 1.5.

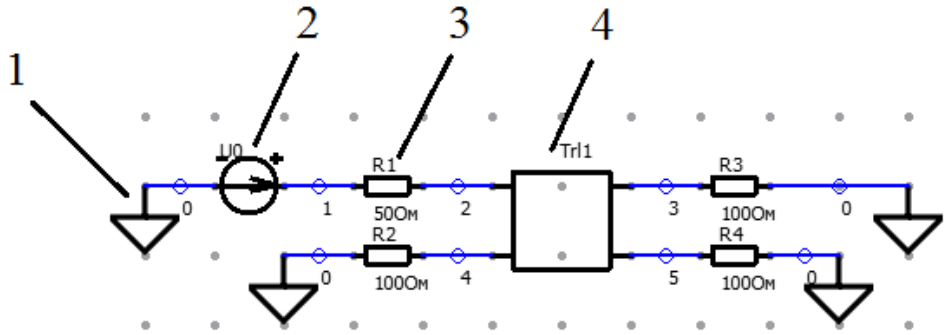


Рисунок 1.5 – Подписи элементов принципиальной схемы, где 1 – земля, 2 – источник напряжения, 3 – резистор, 4 – линия передачи

Все элементы принципиальной схемы соединяются с помощью «Соединительной линии». После того, как установили все элементы, необходимо указать их параметры, для этого нажимаем ЛКМ на необходимый элемент, выбираем кнопку параметров (рисунок 1.6), и в правом окне появится поле для ввода параметров. Примеры ввода параметров представлены на рисунке 1.7.

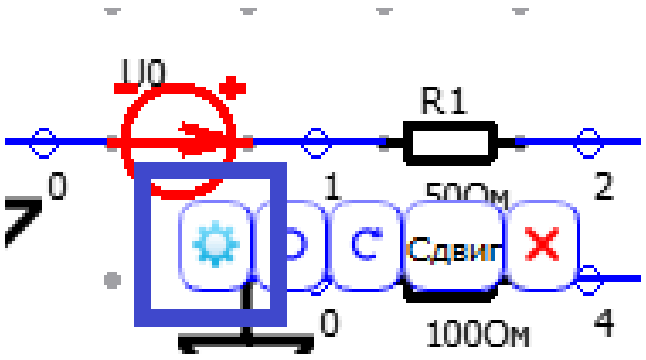


Рисунок 1.6 – Кнопка ввода параметров у элемента «Источник напряжения»

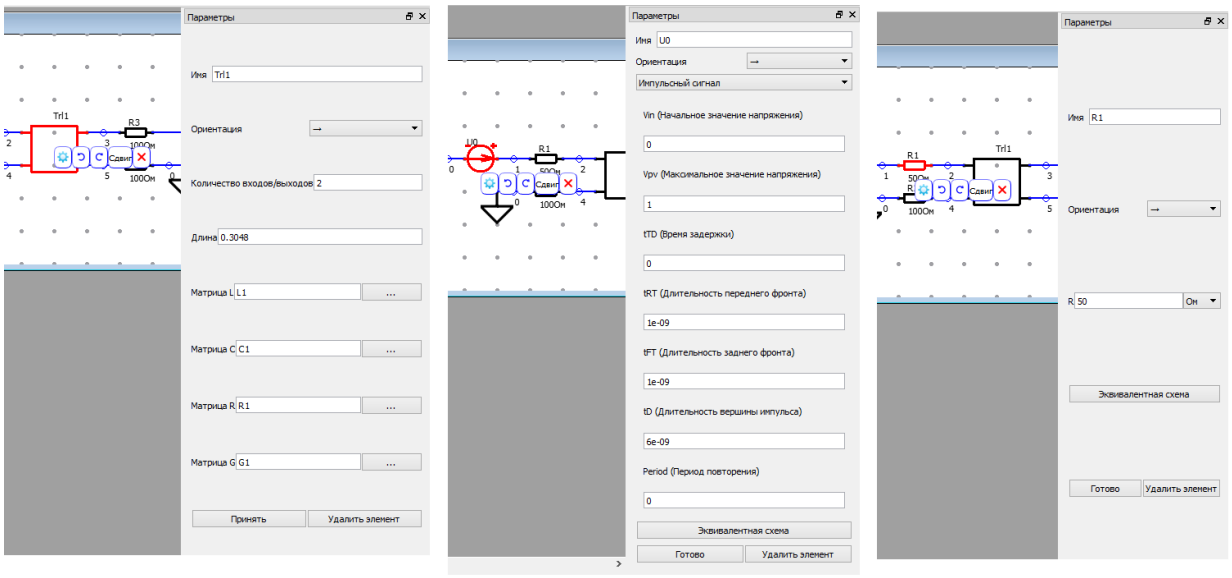


Рисунок 1.7 – Примеры ввода параметров элементов

Для используемого примера будем использовать следующие параметры: длина линии передачи 0,3048 м, матрица индуктивностей ($\mathbf{L}_{11}$=$\mathbf{L}_{22}$=494,6 нГн/м, $\mathbf{L}_{12}$=$\mathbf{L}_{21}$=63,3 нГн/м), матрица емкостей ($\mathbf{C}_{11}$=$\mathbf{C}_{22}$=62,8 пФ/м, $\mathbf{C}_{12}$=$\mathbf{C}_{21}$= –4,9 пФ/м); резистор R_1 (между узлами 1 и 2) 50 Ом, остальные резисторы по 100 Ом; в качестве воздействия будем использовать импульсный сигнал, амплитуда 1 В, время нарастания и спада по 0,1 нс, длительность плоской вершины 0,6 нс. **Внимание! После ввода параметров матрицы, необходимо нажать «сохранить» перед закрытием окна, а в окне параметров линии передачи нажать «Принять», иначе данные не сохранятся.** То же самое касается и остальных элементов – после ввода параметров необходимо нажать «готово». Десятичные значение вводятся через точку, степени указываются с помощью экспоненты (см. рисунок 1.7), единицы измерения писать не нужно.

Далее необходимо открыть окно динамической визуализации. Нажмите на кнопку «Создать код или провести интерпретацию кода» (рисунок 1.8), откроется окно выбора типа переходного анализа – выберите DynaVis (рисунок 1.9). Откроется окно динамической визуализации, в котором необходимо указать количество подынтервалов, скорость анимации, начальный и конечный узлы (рисунок 1.10).

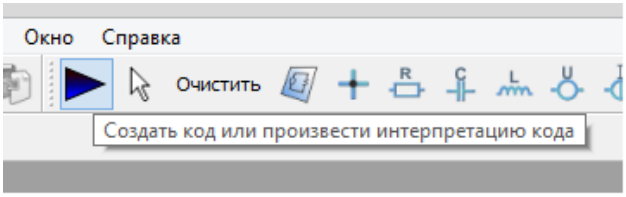


Рисунок 1.8 – Кнопка создания кода

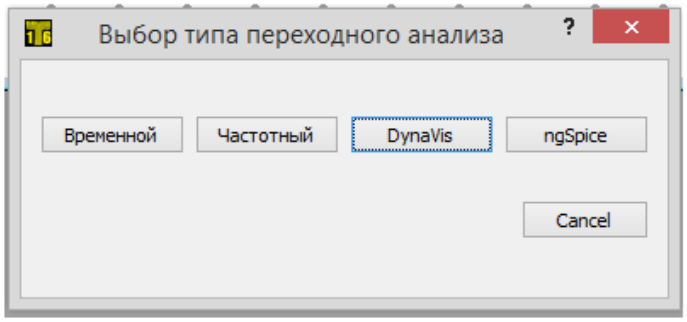


Рисунок 1.9 – Выбор типа переходного анализа

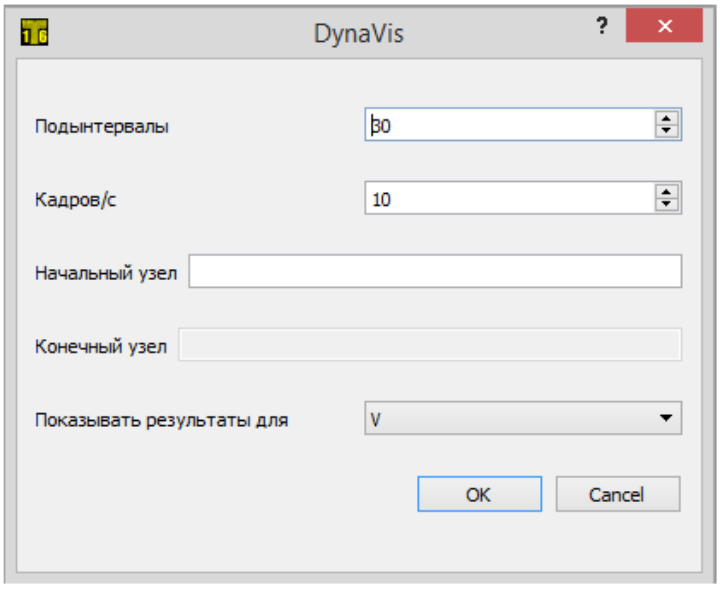


Рисунок 1.10 – Окно динамической визуализации

Под начальным и конечным узлами подразумеваются узлы, между которыми будут отображаться напряжения, распространяющиеся вдоль проводника. Поэтому конечный узел можно выбрать только тот, который имеет гальваническую связь с начальным (т.е. находится с ним на одном физическом проводнике).

Для подынтервалов выберите значение 50, скорость – 10. Для того, чтобы указать начальный и конечный узлы необходимо нажать на поле «Начальный узел», клиент откроет принципиальную схему. Необходимо

нажать на узел «2» (подсветится синей буквой А). Аналогичным образом делаем для конечного узла, только в этом случае выбираем узел «3». В результате на принципиальной схеме отобразятся начальный и конечный узлы, а в окне динамической визуализации появятся номера узлов (рисунок 1.11). Нажимаем «ОК». Снова откроется окно выбора типа переходного анализа, теперь выберите «Временной».

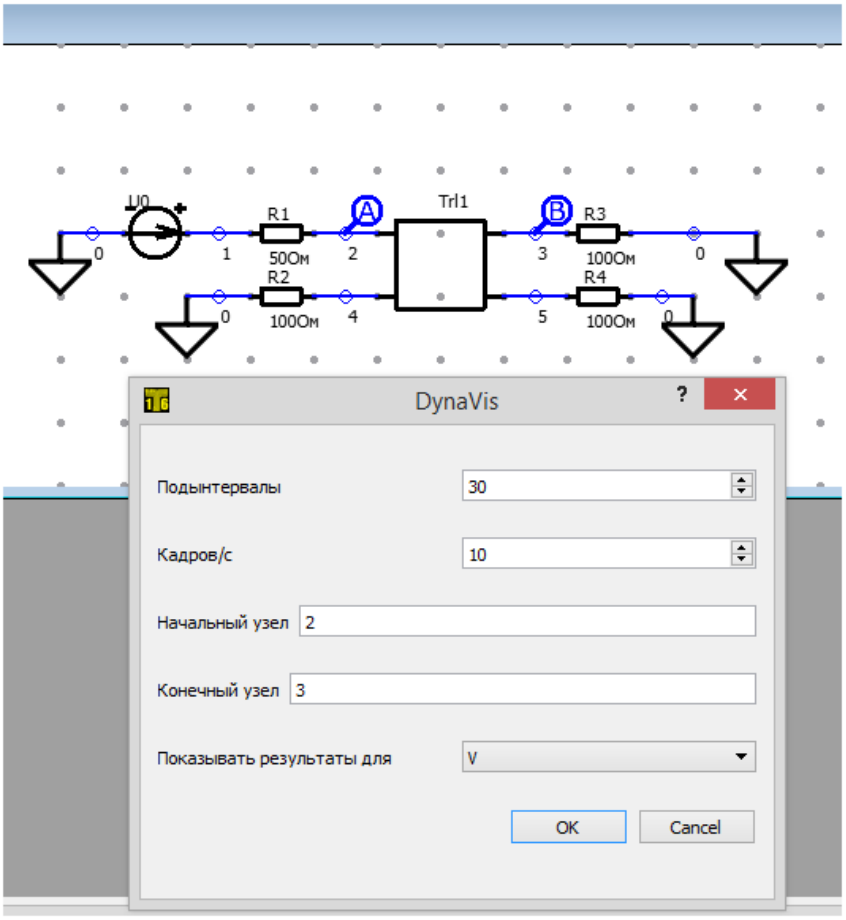


Рисунок 1.11 – Выбранные начальный и конечный узлы

Откроется окно настройки переходного анализа. Шаг времени установите 4e–11, n=12, граничные значения – галочка на «Автомасштаб» (рисунок 1.12).

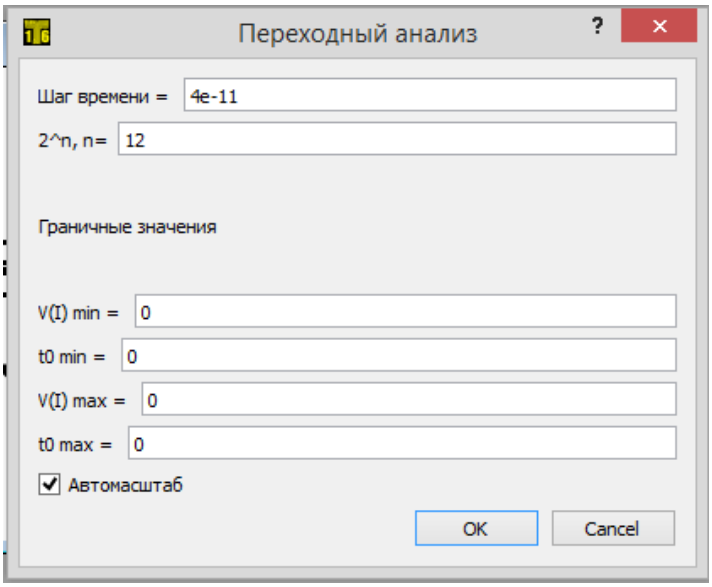


Рисунок 1.12 – Настройки переходного анализа

Нажимаем ОК, окно закроется, и запустится компилятор. Откроется окно с кодом, затем окно, в котором указаны формы напряжений в начальном и конечном узлах, а также окно с динамической визуализацией напряжений. Причем во время анимации распространения напряжений одновременно их местоположение будет указываться на принципиальной схеме, цвет графика будет совпадать с цветом локализации (рисунок 1.13). В окне с динамической визуализацией у пользователя есть возможность оставить анимацию, снова запустить ее, перейти на кадр назад/вперед, а также вычислить и локализовать максим или минимум. Попробуйте поработать со всеми перечисленными возможностями. Обратите внимание, что при нажатии на кнопку вычисления максимума и минимума, отображается не только форма напряжений, где он присутствует, но и его локализация на принципиальной схеме (рисунок 1.14). Также слева от кнопок «Max» и «Min» отображается сегмент, в котором локализован максимум или минимум и его значение (рисунок 1.15).

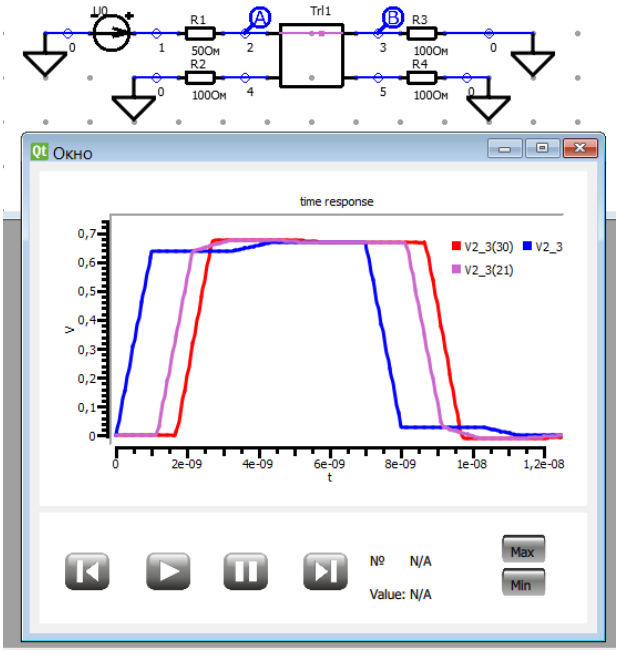


Рисунок 1.13 – Окно с динамической визуализацией напряжений

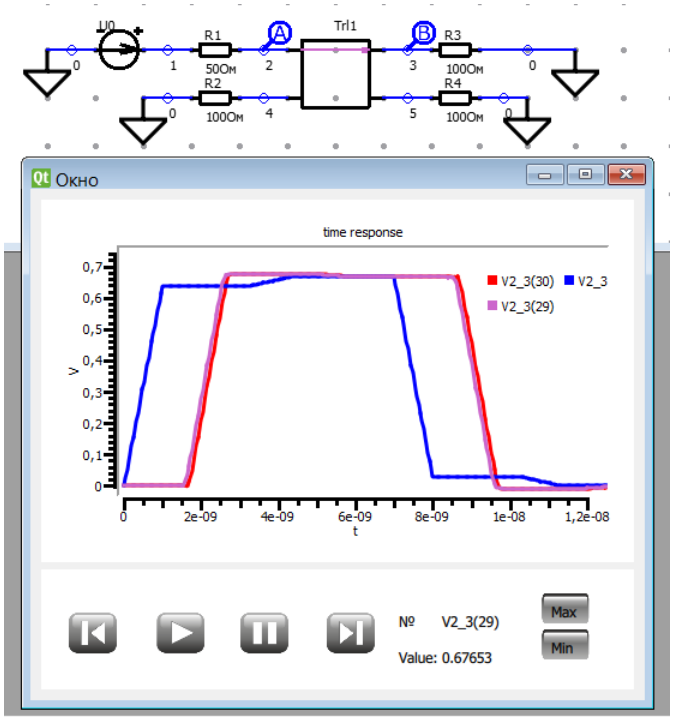


Рисунок 1.14 – Локализация максимума сигнала

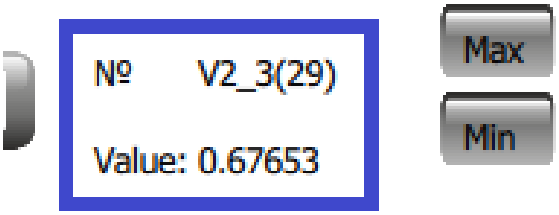


Рисунок 1.15 – Значение максимума и сегмент, в котором он локализован

Для отображения токов необходимо изменить источник сигнала. Для этого на принципиальной схеме нажмите ЛКМ на источник сигнала, кнопка «удалить» (рисунок 1.16).

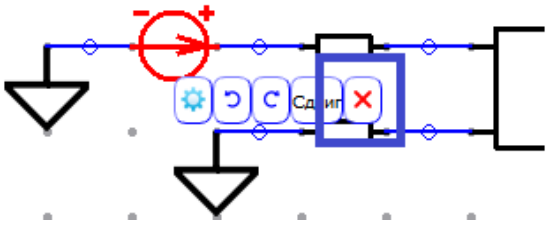


Рисунок 1.16 – Удаление элемента «источник сигнала»

Далее выберите на панели инструментов «Источник тока» и установите его на место удаленного элемента (рисунок 1.17).

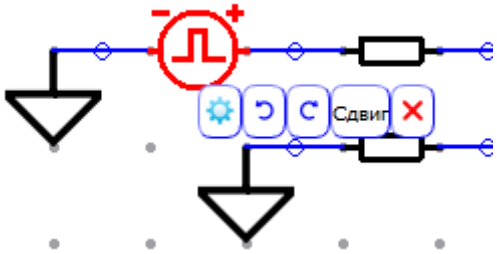


Рисунок 1.17 – Установлен источник тока

В параметрах источника тока укажите те же значения, что и для напряжения, затем «готово». Аналогично воспользуйтесь функцией DynaVis для отображения токов вдоль активного и пассивного проводников вашей линии передачи.

Для того чтобы построить пересечение соединительной линии необходимо выбрать элемент «Соединительная линия» на панели инструментов, а затем в контекстном меню (открывается ПКМ) выбрать «Пересекать», таким образом, линии не будут соединяться. Чтобы линии снова соединялись, надо убрать галочку с «Пересекать» (рисунок 1.18).

Аналогичным образом необходимо построить все остальные примеры, принципиальные схемы, которых представлены на рис. 1.2 и 1.3 и выполнить задание. Исходные параметры приведены в табл. 1.2.

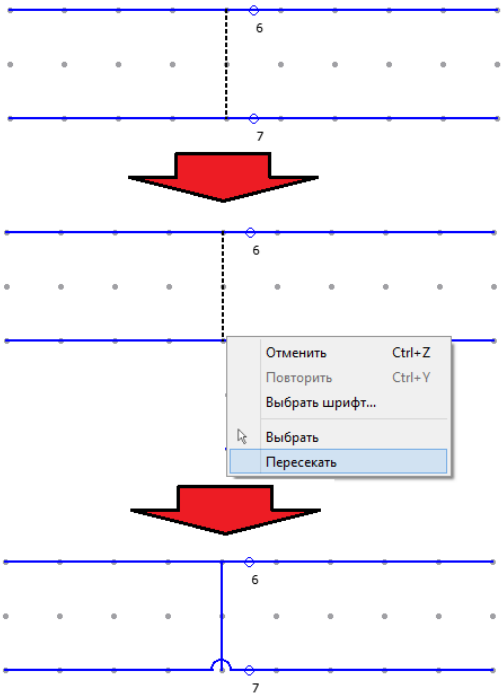


Рисунок 1.18 – Пересечение соединительной линии

Таблица 1.2 – Исходные параметры принципиальных схем

Изображение схемы		**Источник сигнала**	**Переходный анализ 1) шаг времени; 2) п**	**Резисторы**	**Линия передачи**			
Рисунок	**Буква**	**1) амплитуда; 2) время нарастания; 3) время спада; 4) длительность вершины.**			**Имя**	**L, нГн/м**	**C, пФ/м**	**Длина, м**
3.1	*а*	1) 1 В; 2) 1 нс; 3) 1 нс; 4) 6 нс	1) 10 пс 2) 12	R_1=50 Ом; R_2=100 Ом; R_3=100 Ом; R_4=100 Ом.	trl1	L_{11}=494,6 L_{22}=494,6 L_{12}=63,3 L_{21}=63,3	C_{11}=62,8 C_{22}=62,8 C_{12}=-4,9 C_{21}=-4,9	0,3048
3.1	*б*	1) 1 В; 2) 1 нс; 3) 1 нс; 4) 6 нс	1) 10 пс 2) 12	R_1=50 Ом; R_2=100 Ом; R_3=50 Ом; R_4=100 Ом.	trl1	L_{11}=494,6 L_{22}=494,6 L_{12}=63,3 L_{21}=63,3	C_{11}=62,8 C_{22}=62,8 C_{12}=-4,9 C_{21}=-4,9	0,3048
					trl2	L_1=2000	C_{11}=15	0,3048
3.1	*в*	1) 1 В; 2) 1 нс; 3) 1 нс; 4) 6 нс	1) 10 пс 2) 12	R_1=50 Ом; R_2=100 Ом; R_3=200 Ом; R_4=200 Ом; R_5=200 Ом; R_6=200 Ом.	trl1	L_{11}=494,6 L_{22}=494,6 L_{12}=63,3 L_{21}=63,3	C_{11}=62,8 C_{22}=62,8 C_{12}=-4,9 C_{21}=-4,9	0,3048
					trl2	L_{11}=494,6 L_{22}=494,6 L_{12}=63,3 L_{21}=63,3	C_{11}=62,8 C_{22}=62,8 C_{12}=-4,9 C_{21}=-4,9	0,4572
					trl3	L_{11}=494,6 L_{22}=494,6 L_{12}=63,3 L_{21}=63,3	C_{11}=62,8 C_{22}=62,8 C_{12}=-4,9 C_{21}=-4,9	0,6096

Продолжение таблицы 1.2 – Исходные параметры принципиальных схем

Изображение схемы		**Источник сигнала**	**Переходный анализ**	**Резисторы**	**Линия передачи**			
Рисунок	**Буква**	**1) амплитуда; 2) время нарастания; 3) время спада; 4) длительность вершины.**	**1) шаг времени; 2) п**		**Имя**	**L, нГн/м**	**C, пФ/м**	**Длина, м**
3.1	*г*	1) 1 В; 2) 1 нс; 3) 1 нс; 4) 6 нс	1) 10 пс 2) 12	R_1=50 Ом; R_2=100 Ом; R_3=200 Ом;	trl1	L_{11}=494,6 L_{22}=494,6 L_{12}=63,3 L_{21}=63,3	C_{11}=62,8 C_{22}=62,8 C_{12}=-4,9 C_{21}=-4,9	0,3048
					trl2	L_{11}=494,6 L_{22}=494,6 L_{12}=63,3 L_{21}=63,3	C_{11}=62,8 C_{22}=62,8 C_{12}=-4,9 C_{21}=-4,9	0,3048
					trl3	L_1=494,6	C_1=62,8	0,3048
3.2	*а*	1) 1 В; 2) 100 пс; 3) 100 пс; 4) 100 пс	1) 10 пс 2) 12	R_1=50 Ом; R_2=50 Ом.	trl1	L_{11}=253,9 L_{22}=253,9 L_{12}=148,72 L_{21}=148,72	C_{11}=141,3 C_{22}=141,3 C_{12}= -58,13 C_{21}= -58,13	0,027
3.2	*б*	1) 1 В; 2) 100 пс; 3) 100 пс; 4) 100 пс	1) 10 пс 2) 12	R_1=50 Ом; R_2=50 Ом.	trl1	L_{11}=L_{22}=L_{33}= L_{44}=500 L_{12}=L_{21}=L_{23}= L_{32}=L_{34}= L_{43}=180 L_{13}=L_{14}=L_{24}= L_{31}=L_{41}= L_{42}=0	C_{11}=C_{22}=C_{33} =C_{44}=266 C_{12}=C_{21}=C_{23} =C_{32}=C_{34}= C_{43}= -20 C_{13}=C_{14}=C_{24} =C_{31}=C_{41}= C_{42}=0	0,027

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ШИНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИЙ МОДУЛЯ DYNAVIS СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ TALGAT

2.1. Цель работы: исследовать шину печатной платы (ПП) радиоприемного устройства (РПУ) системы автономной навигации (САН) космического аппарата с помощью функций модуля DynaVis системы компьютерного моделирования TALGAT, на выявление и локализацию экстремумов сигнала, распространяющегося вдоль проводников шины, при различных комбинациях активных и пассивных проводников, а также форм сигнала и нагрузок

2.2. Теоретический материал

Фрагмент ПП с шиной изображен на рисунке 2.1, а ее принципиальная схема – на рисунке 2.2. Для наглядности на рисунке 2.3 изображен тот же фрагмент, но с пронумерованными линиями передачи из принципиальной схемы рисунка 2.2. Нумеровались только линии передачи с 2-мя и более проводниками. Обратите внимание на линию передачи 5 на рисунках 2.2 и 2.3, верхний проводник (будем считать его первым) из принципиальной схемы (Рисунок 2.2) это нижний проводник, изображенный на рисунке 2.3. Учитывайте это при исследовании шины и не перепутайте проводники.

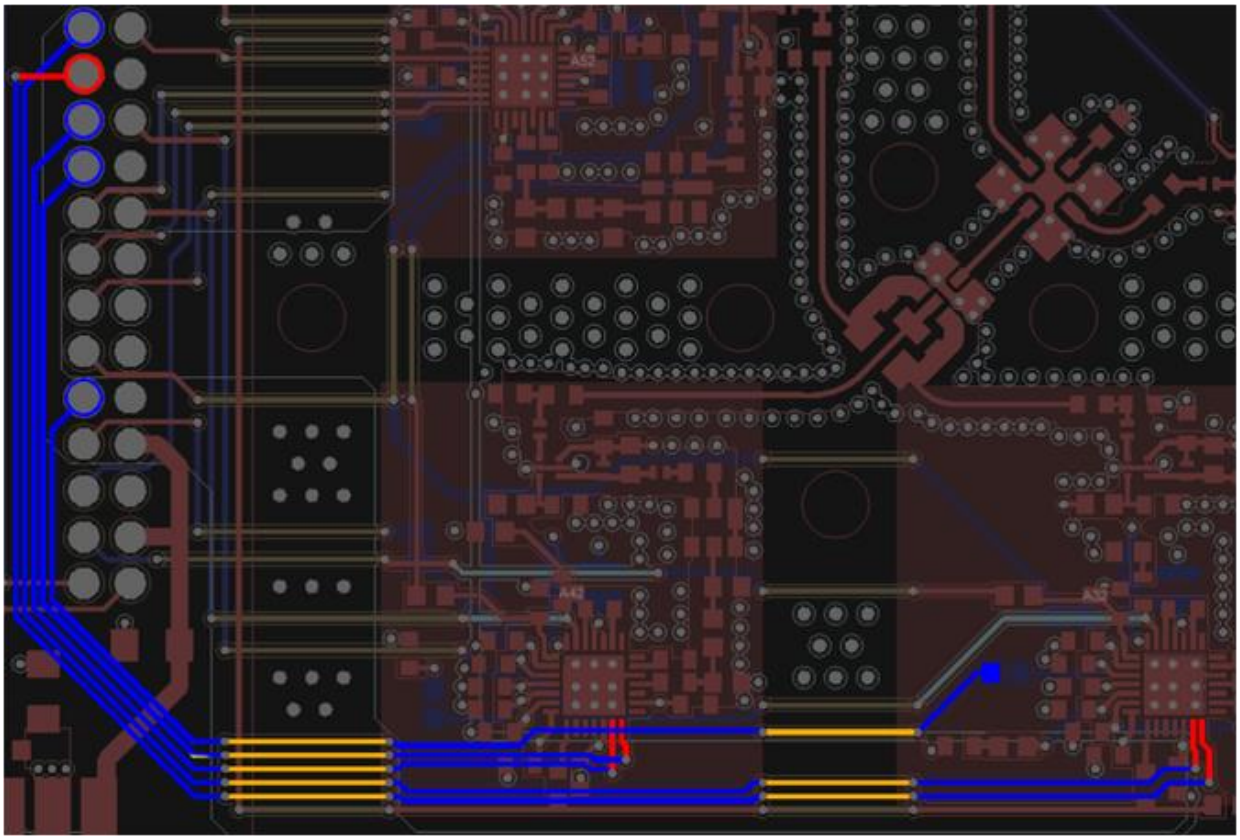


Рисунок 2.1 – Фрагмент шины ПП РПУ САН

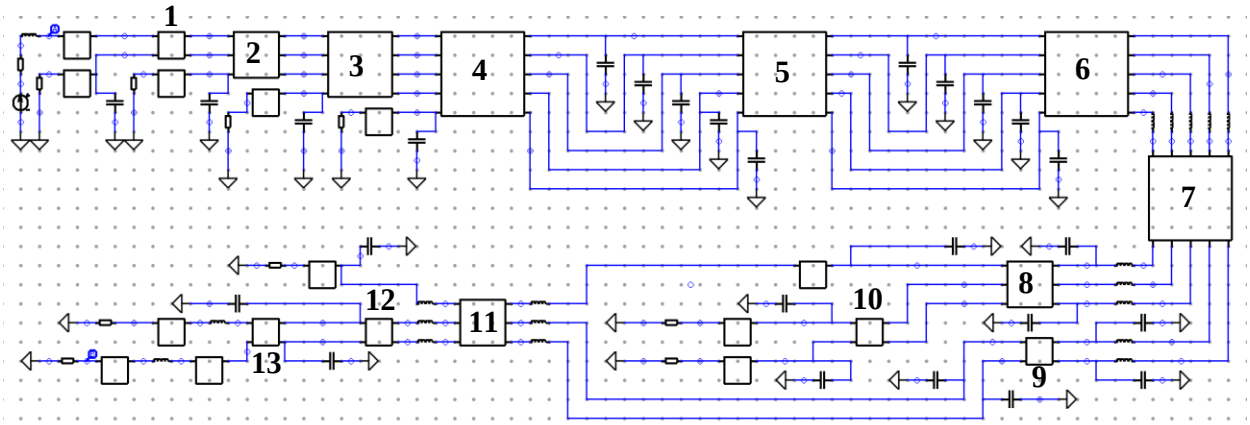


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема шины ПП РПУ САН

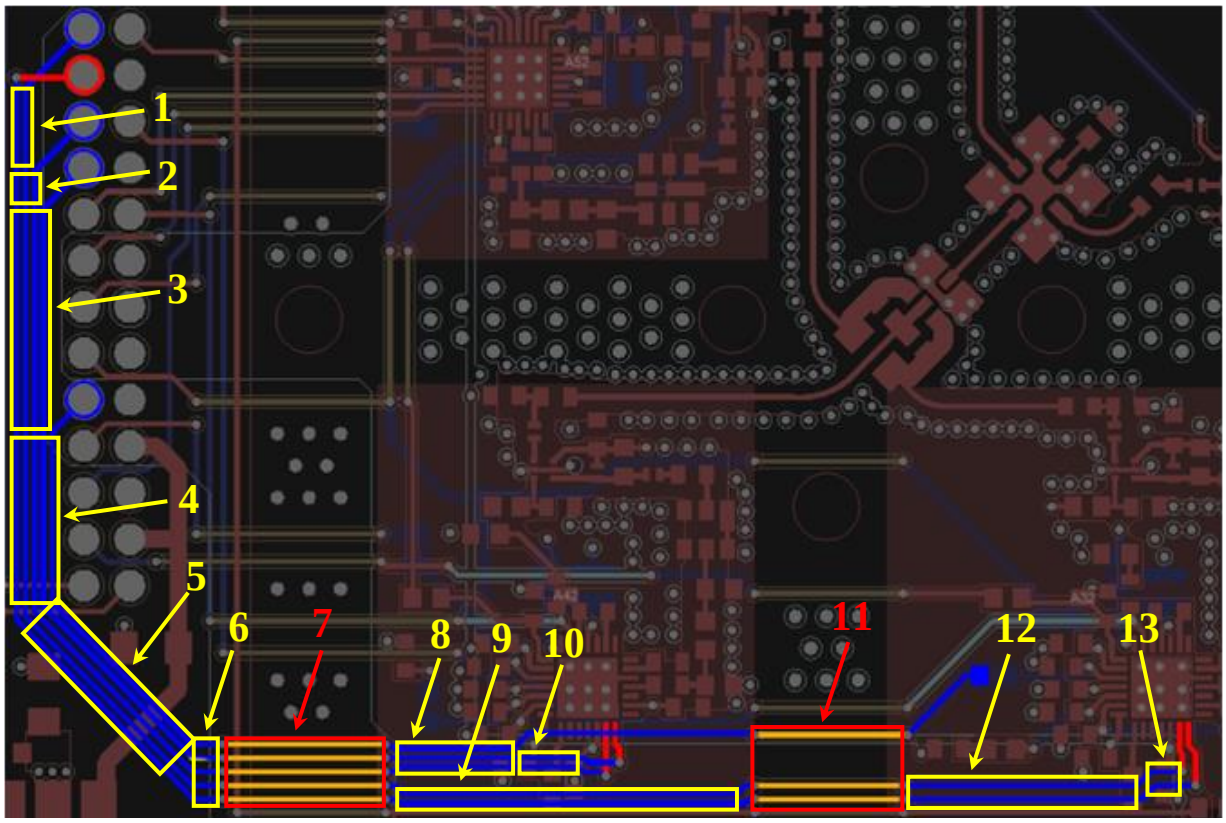


Рисунок 2.3 – Фрагмент шины ПП РПУ САН с пронумерованными линиями передачи

2.3. Задание для выполнения

Преподавателю необходимо выдать студентам готовые принципиальные схемы шины ПП РПУ САН.

В соответствии со своим вариантом (Табл. 3) необходимо выполнить исследования на локализацию максимумов и минимумов сигнала при различных воздействиях с комбинациями активных и пассивных проводников, а также при различных нагрузках на концах.

В результате необходимо составить отчет. В отчете указать необходимую информацию, описанную в методическом пособии: результаты, анализ, выводы. А также знать ответы на вопросы. Под результатами понимаются подробные скриншоты экстремумов сигнала, а также описание к этим скриншотам (под подробными скриншотами подразумевается те, в которых видна полная форма сигнала, т.е. виден его конец, где он затухает и обращается в 0 или близок к этому). Перед каждой

парой скриншотов сигналов необходимо представить исходные данные (параметры формы импульса, номер проводника (считать относительно линии передачи 5 сверху вниз), начальный и конечный узел, максимальное или минимальное значение сигнала, в какой линии передачи он локализован и в каком сегменте). После каждой пары скриншотов представить описание полученных результатов (насколько величина максимума или минимума превышает амплитуду исходного сигнала). После каждого «блока» с напряжениями описать, какой выявлен наибольший и наименьший экстремум соответственно, где он выявлен, в каком сегменте, на что влияет место, в котором он локализован (ваше предположение), что повлияло на изменение исходного сигнала. Такое же описание необходимо сделать после каждого «блока» с токами.

2.4. Порядок выполнения работы

Заходим в TALGAT 2016, открываем файл с принципиальной схемой шины ПП РПУ САН. Устанавливаем значение всех (10 шт.) нагрузок по 50 Ом (Рисунок 2.4). Далее устанавливаем необходимое количество источников питания в соответствии с вашим вариантом (табл. 2.3), в нашем случае будем использовать 2. Поскольку в нашем файле по умолчанию установлено четыре источника, то необходимо убрать два лишних. Для этого выделите ЛКМ источник, нажмите сдвиг, переместите источник на пустое место, немного в стороне от схемы и снова нажмите ЛКМ (Рисунок 2.5). Соединительная линия переместится за источником, поэтому ее необходимо будет удалить, для этого выделите ее и нажмите Delete или кнопку с крестиком. После удаления соединительных линий, снова соедините заземление с нагрузкой, в обход источника питания (Рисунок 2.6). Для того, чтобы соединительная линия дальше не «рисовалась», нажмите клавишу «Esc».

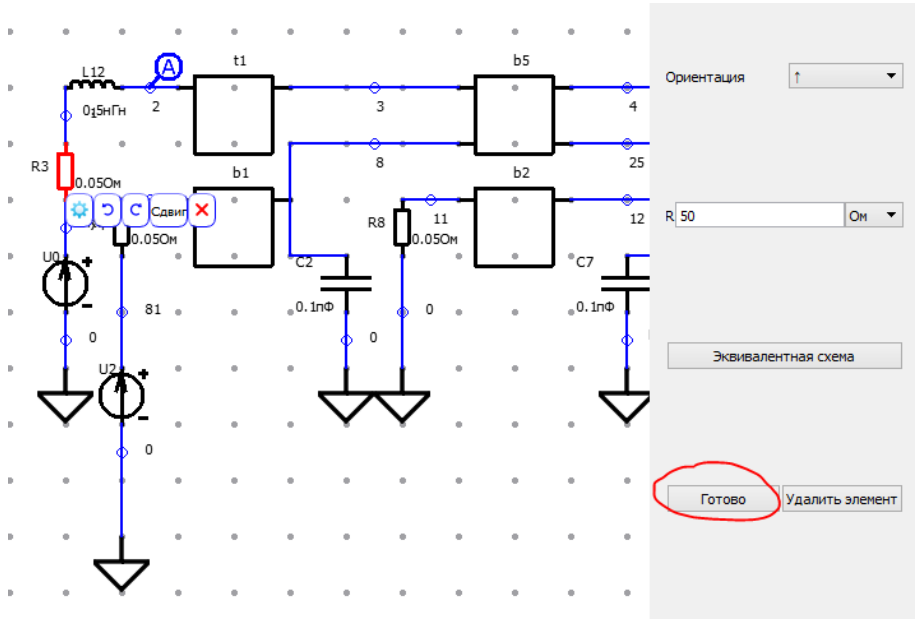


Рисунок 2.4 – Установка значений нагрузок

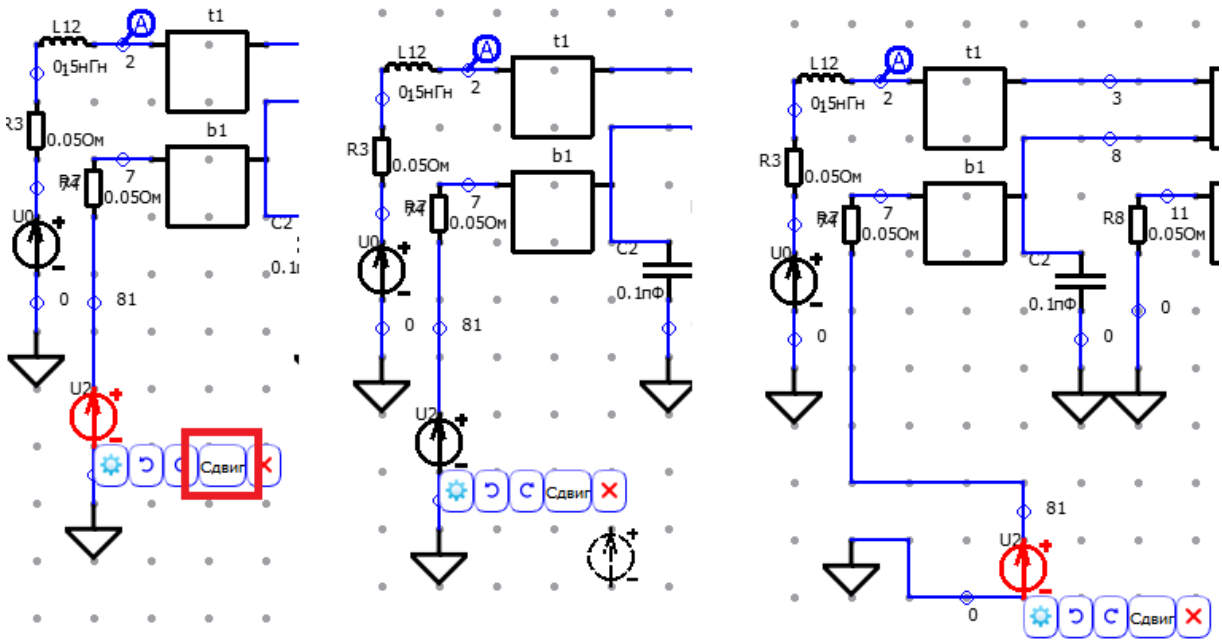


Рисунок 2.5 – Сдвиг источника питания

Повторим описанные выше действия с еще одним источником питания. В результате получим две активных линии и три пассивных (Рисунок 2.7). Далее необходимо указать параметры источника сигнала: выделяем источник, нажимаем «параметры», в правом окне вводим необходимые значения (начальное значение напряжения – 0, максимальное – 1, время задержки – 0, длительности переднего, заднего фронтов и вершины

по 1 нс) (Рисунок 2.8). Аналогично указываем параметры второго источника сигнала.

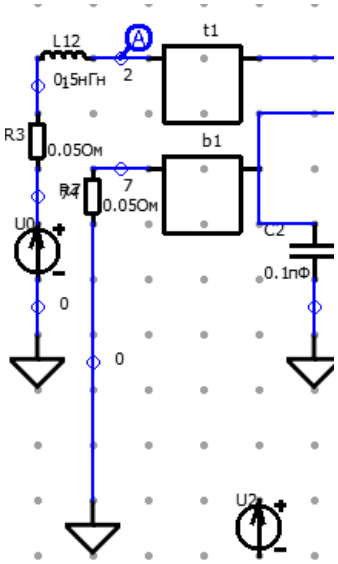


Рисунок 2.6 – Соединение заземления с резистором

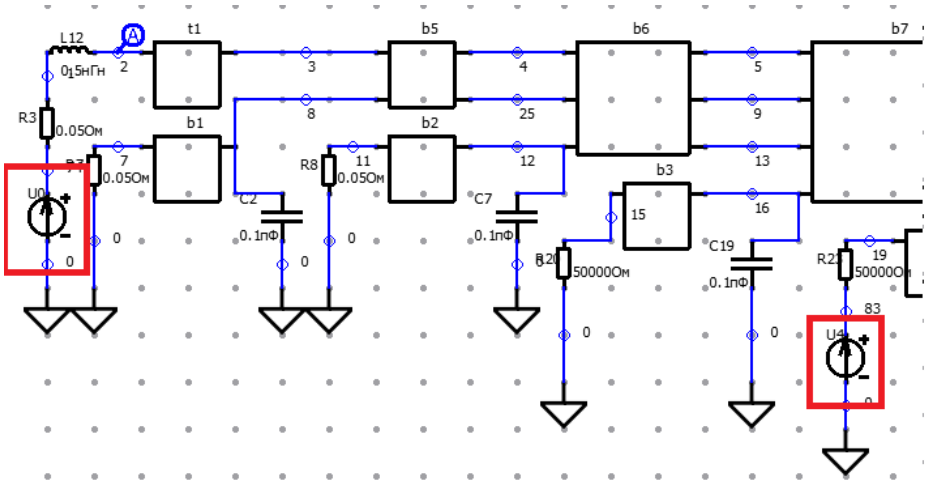


Рисунок 2.7 – Полученные активные проводники

Теперь приступаем к вычислению отклика. Выбираем меню компиляции кода, там меню DynaVis, в котором указываем начальный и конечный узел, вводим параметры переходного анализа, выбираем временной отклик и получаем формы сигнала в выбранном проводнике (проводники выбирать в соответствии с вариантами). Нажимаем на кнопку максимума и делаем скриншот полученного сигнала, таким образом, чтобы справа было видно, как сигнал затухает почти до нуля. При этом необходимо посмотреть, в каком сегменте локализован максимум. Если это не граничные

сегменты, тогда кроме скриншота сигнала, делаем скриншот линии передачи, в которой он локализован. Полученные скриншоты вставляем в текстовый редактор и под ними пишем характеристики полученного отклика: максимальное значение напряжения, номер сегмента, название линии передачи, в котором он локализован. На рисунке 2.9 представлен пример скриншотов, в случае выявления максимума сигнала не на граничном сегменте.

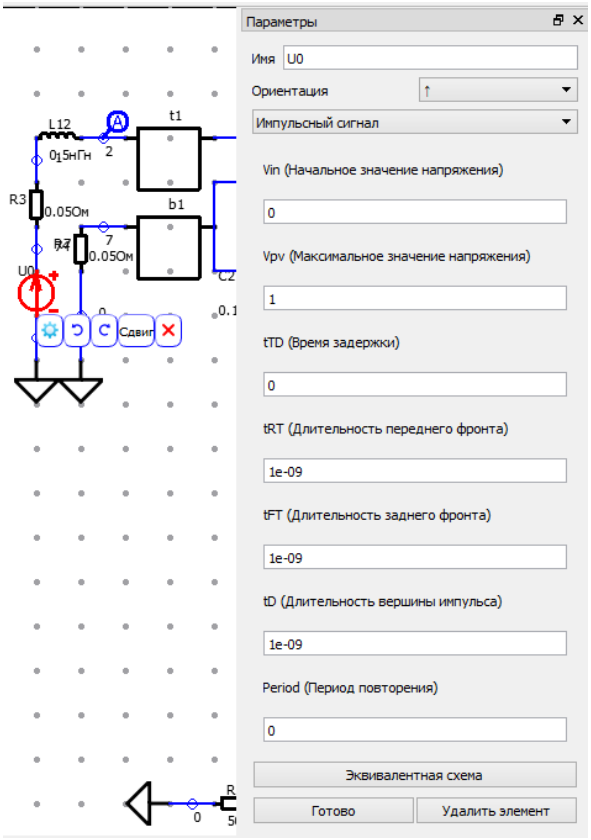


Рисунок 2.8 – Ввод параметров источника напряжения

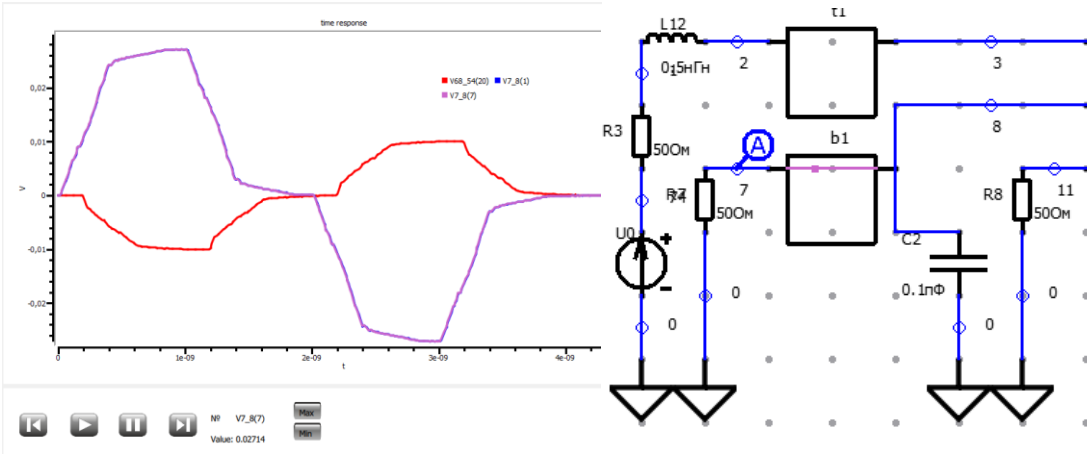


Рисунок 2.9 – Локализованный не на граничных сегментах максимум сигнала

Далее выберите одну из 5-проводных линий передачи и зафиксируйте на ней форму сигнала в центре для ваших проводников. Для этого выполните следующее. Допустим, мы решили выбрать линию передачи под номером 7 из рисунка 2.2. Она имеет 5 проводников, значит, удовлетворяет условию. Вычисляем отклик на вашем проводнике, в нашем случае приведем пример для второго. Смотрим сразу на два окна и готовимся остановить анимацию в нужном для нас сегменте. Поскольку всего сегментов в линии 20, то будем смотреть формы отклика в сегменте 10. Проще всего это делать так: сначала обратить внимание на схему, как только график появится на предыдущей линии передачи, нажать паузу и пошагово перемещать график в следующую линию к нужному сегменту (Рисунок 2.10).

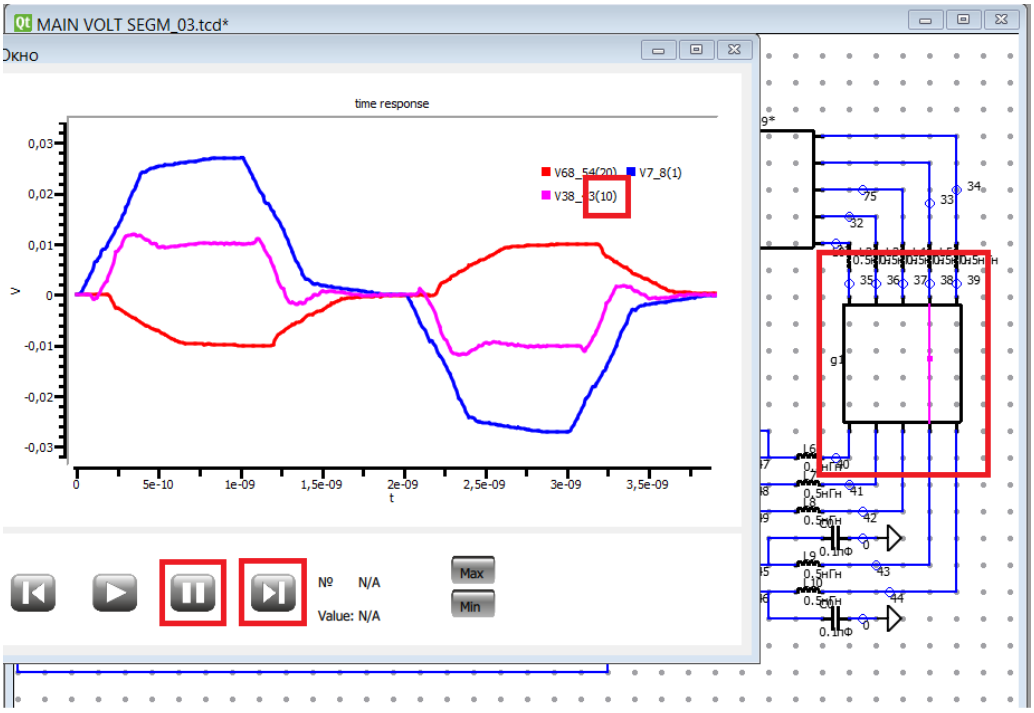


Рисунок 2.10 – Выбор формы отклика в определенном сегменте

Когда получили форму отклика в нужном сегменте, сделайте скриншот сигнала (скриншот схемы делать не нужно) и отложите его в конец документа, либо в другой документ – он еще пригодится в дальнейшем для анализа.

После выполнения всех вычислений с первой формой сигнала, изменяем ее в источнике напряжений, в соответствии с табл. 2.1, и повторяем

вышеописанные действия. Всего 3 формы сигнала, которые отличаются лишь длительностями фронтов и вершин, поэтому у вас будет три блока со скриншотами после выполнения этой части задания (у каждого по два проводника, поэтому итого это 6 пар (max и min) скриншотов плюс 6 скриншотов в центре линии передачи). **Обратите внимание на то, что при изменении форм сигналов, надо либо менять их на всех источниках, либо, неиспользуемые источники удалять, иначе появится ошибка при установке степени двойки и шага!**

Таблица 2.1 – Перечень чередования форм сигнала

Параметры		№ случая		
		1	2	3
Форма сигнала	Длительность фронта нарастания, нс	1	0,1	0,01
	Длительность фронта спада, нс	1	0,1	0,01
	Длительность вершины импульса, нс	1	0,1	0,01
Вычисление временного отклика	Степень двойки	11	11	11
	Временной шаг, пс	100	10	1

Далее изменяем нагрузки. Будем использовать 3 вида нагрузок: 50 Ом (сопротивление согласования), холостой ход (ХХ) и короткое замыкание (КЗ). Для того, чтобы задать в резисторах значение ХХ или КЗ будем использовать следующие значения: для ХХ – 50 кОм, для КЗ – 50 мОм. Используются именно значения много большие и много меньшие исходного, а не «бесконечность» и «нуль», поскольку при квазистатическом вычислении (в частности в TALGAT) нельзя задавать данные значения (∞ и 0), так как это будет причиной некорректного вычисления или же вообще невозможности такого вычисления. В табл. 2.2 указан перечень чередования нагрузок для исследования. Для каждого случая из табл. 2.2 необходимо выполнить вышеописанные вычисления, в том числе с чередованием случаев из таблицы 1 (итого у вас получится: 6*6 = 36 пар скриншотов с максимумами и минимумами, плюс скриншоты с их локализацией, в тех случае, где это необходимо, плюс 6 скриншотов из центров линии передачи). **Внимание! В центре 5-проводной линии**

передачи скриншоты делать нужно только для случая «1» из таблицы 2. Т.е. у вас их должно быть только 6, для разных воздействующих сигналов!

Таблица 2.2 – Перечень чередования нагрузок для исследования

№ случая	Резисторы в начале	Резисторы в конце
1	50 Ом	50 Ом
2	50 Ом	XX
3	50 Ом	КЗ
4	КЗ	50 Ом
5	КЗ	XX
6	КЗ	КЗ

Как только получили значения максимумов и минимумов при трех формах сигналов, необходимо провести сравнительный анализ полученных данных. Для начала воспользуемся теми формами откликов, которые мы получили в центре линии передачи. Необходимо представить их в одном ряду или в одном столбике, чтобы наглядно можно было увидеть различия между ними (важно не смешивать разные проводники, для каждого из них свой ряд или столбик). Описать, как меняется максимальная и минимальная амплитуда сигнала, превышают ли они амплитуды на входе и выходе, сохраняется ли трапециевидная форма сигнала, как изменяются длительности фронтов.

Затем делаем общий анализ работы: описываем, как изменяются сигналы при изменении нагрузок и источников питания в активном и пассивном проводнике по отдельности. Ну и, традиционно, в каком случае и где локализованы наибольшее и наименьшее значения напряжения (локализованные на граничных сегментах не учитывать). Указать эти места на рисунке 2.1 и сделать вывод о его местонахождении (на что может это повлиять).

В табл. 2.3 представлены варианты для выполнения лабораторной работы.

Таблица 2.3 – Варианты для выполнения работы

Вариант	Исследуемые проводники	Активные проводники
1	1, 2	1
2	2, 3	2
3	3, 4	3
4	4, 5	4
5	5, 3	5
6	1, 3	1, 5
7	2, 1	1, 5
8	3, 5	1, 5
9	4, 1	1, 5
10	5, 4	1, 5
11	1, 2	2, 4
12	2, 3	2, 4
13	3, 4	2, 4
14	4, 1	2, 4
15	5, 2	2, 4
16	1, 4	1, 3
17	2, 3	1, 3
18	3, 5	1, 3
19	4, 3	1, 3
20	5, 4	1, 4
21	1, 2	1, 3, 5
22	2, 3	1, 3, 5
23	3, 4	1, 3, 5
24	4, 5	1, 3, 5
25	5, 2	1, 3, 5

2.5. Контрольные вопросы

1) Что такое ПП РПУ САН?

2) Сколько линий передачи изображено на исследуемой принципиальной схеме? Резисторов? Конденсаторов? Катушек индуктивности?

3) Какие возможности предоставляет функция DynaVis?

4) Какая последовательность действий для перемещения и изменения параметров источника воздействия? Опишите.

5) Зачем разбивать линию передачи на сегменты? Можно ли установить «0» сегментов?

6) Каким образом можно посмотреть временной отклик в определенном месте на линии передачи?

7) Каким образом в TALGAT 2016 задается сопротивление XX и КЗ? Почему именно так?

8) С какой целью в лабораторной работе предлагается вычислять и сравнивать формы сигналов в одной и той же точке?

9) Рассчитайте общее число возможных комбинаций для данной принципиальной схемы, если:

- необходимо вычислять формы отклика вдоль каждого проводника;

- каждый резистор чередовать как 50 Ом, XX, КЗ.

10) С помощью каких элементов на принципиальной схеме строятся повороты шины? А переходы на другой слой?

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ШИНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С ПОМОЩЬЮ АМПЛИТУДНЫХ КРИТЕРИЕВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАСПОЛОЖЕНИЯХ ИСТОЧНИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ

3.1. Цель работы: исследовать шину ПП РПУ САН космического аппарата с помощью амплитудных критериев в системе компьютерного моделирования TALGAT при различных комбинациях активных и пассивных проводников.

3.2. Теоретический материал

Работа выполняется с той же шиной, принципиальная схема которой изображена на рисунке 2.2. Отличие данной работы заключается в использовании амплитудных критериев (N-норм) для оценки работоспособности этой шины.

Так называемые, N-нормы являются параметрами, которые используются для характеристики сигнала во временной области, и исторически были предложены, чтобы определить пределы восприимчивости оборудования. Особый интерес к использованию норм обусловлен тем, что их можно использовать для указания влияния данного поля на системы [1, 2]. Расчет N-норм основан на применении математических операторов ко всей форме сигнала. Краткое изложение определения норм $N_1 - N_5$ вместе с указанием на то, почему норма представляет особый интерес, представлено в таблице 3.1, воспроизведенной из [3, 1]. Таким образом, вычисление максимума сигнала (то, чем занимались в разделах 1 и 2) является вычислением N_1.

Таблица 3.1 – *N*-нормы, используемые для мощных переходных сигналов [4, 5]

Норма	Название	Применение
$N_1 = \left\|R(t)\right\|_{\max}$	Пиковое (абсолютное) значение	Сбой схемы / электрический пробой / дуговые эффекты
$N_2 = \left\|\frac{\partial R(t)}{\partial t}\right\|_{\max}$	Пиковая (абсолютная) производная	Искрение компонента / сбой схемы
$N_3 = \left\|\int_0^t R(t)dt\right\|_{\max}$	Пиковый (абсолютный) импульс	Диэлектрический пробой (если R обозначает поле E)
$N_4 = \int_0^\infty \left\|R(t)\right\|dt$	Выпрямленный общий импульс	Повреждение оборудования
$N_5 = \left\{\int_0^\infty \left\|R(t)\right\|^2 dt\right\}^{\frac{1}{2}}$	Квадратный корень интеграла действия	Выгорание компонента

3.3. Задание для выполнения

Необходимо вычислить максимальные значения для каждой нормы вдоль каждого проводника (в соответствии со своим вариантом из табл. 3.2), указать локализацию нормы (на принципиальной схеме и фрагменте шины ПП РПУ САН), привести формы сигнала в локализованном сегменте для каждой нормы. Выполнить анализ полученных результатов.

3.4. Порядок выполнения работы

В соответствии с вашим вариантом устанавливаем необходимые проводники, как активные (инструкция по установке источника воздействия на проводник приведена в разделе 2). Проверяем параметры всех нагрузок (требуется по 50 Ом).

Для примера взят вариант 15, поэтому на рисунке 3.1 показана принципиальная схема с активным проводником 1.

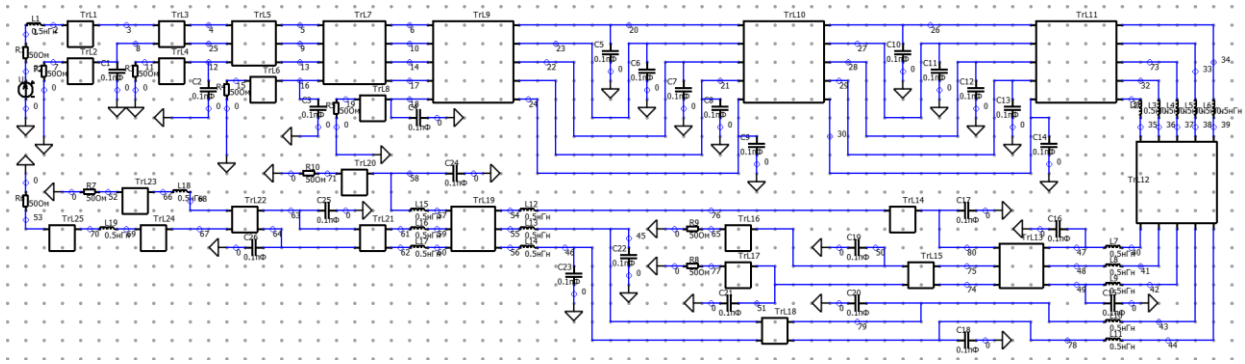


Рисунок 3.1 – Принципиальная схема шины для варианта 15

Для источника (или источников, если в варианте их несколько) указать следующие параметры: начальное значение напряжения – 0, максимальное – 1, время задержки – 0, длительности переднего, заднего фронтов и вершины по 53,11 пс. Для этого выделяем источник ЛКМ, нажимаем на кнопку «Параметры», в правом окне вводим необходимые значения (Рисунок 3.2).

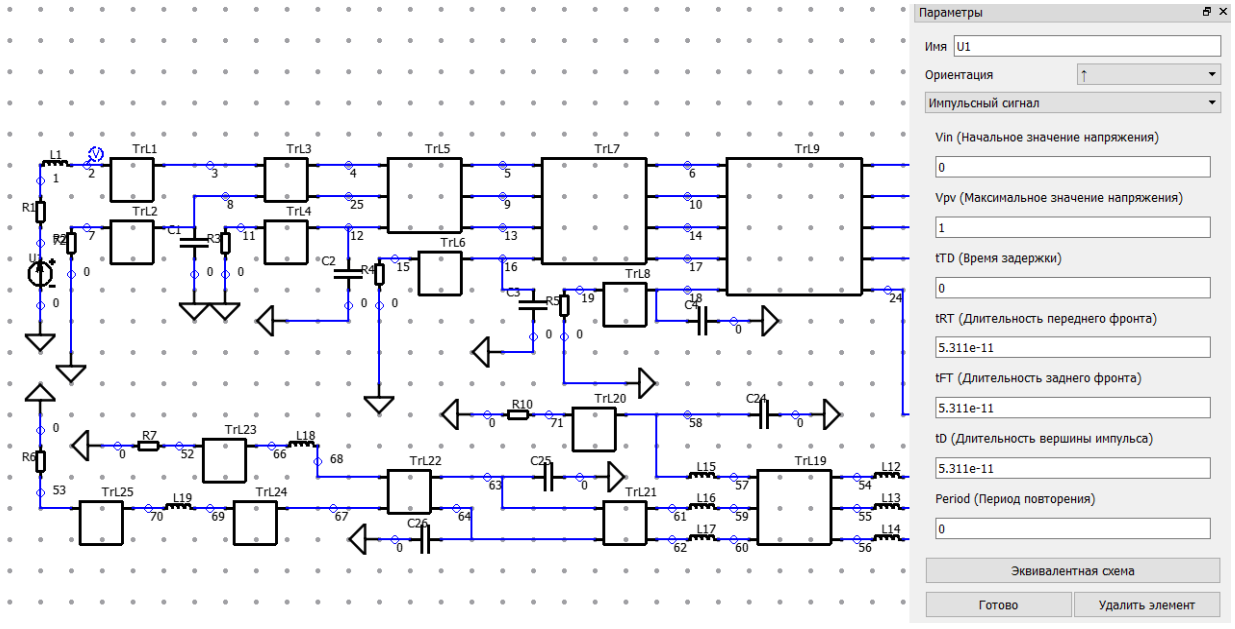


Рисунок 3.2 – Параметры источника напряжения и его местоположение

Далее приступаем к вычислению норм вдоль каждого активного и пассивного проводников. Выбираем меню компиляции кода, модуль DynaVis системы компьютерного моделирования TALGAT указываем начальный и конечный узел. На рисунке 3.3 представлен пример выбора точек *A* и *B* вдоль первого (активного проводника). Необходимо указать параметры переходного анализа, для этого выбираем временной отклик и прописываем все параметры как на рисунке 3.4, затем нажимаем «ОК». В результате

сгенерируется код для вычисления, который запускается автоматически, и на экран выводятся анимированные формы сигнала, распространяющиеся вдоль выбранного проводника (рисунок 3.5).

Для получения значения каждой нормы в каждом сегменте каждого проводника необходимо нажать на кнопку «пауза», анимация остановится на каком-то сегменте, для котрого отобразятся значения N_2, N_3, N_4 и N_5 (рисунок 3.6):

N_2 – дуговой пробой;

N_3 – пробой диэлектрика;

N_4 – повреждение оборудования;

N_5 – выгорание компонента.

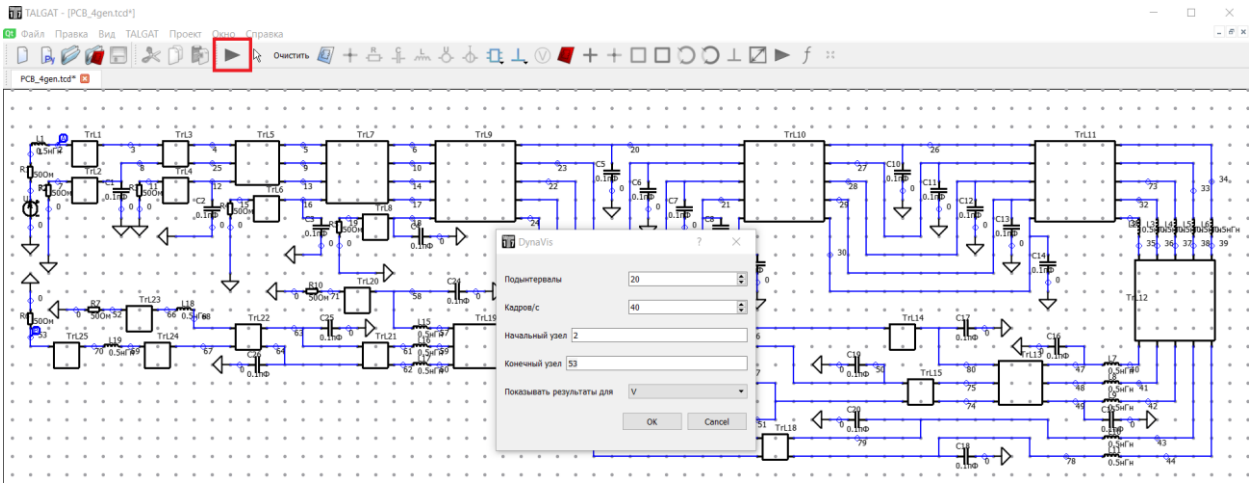


Рисунок 3.3 – Меню компиляции кода, модуль DynaVis системы компьютерного моделирования TALGAT 2017

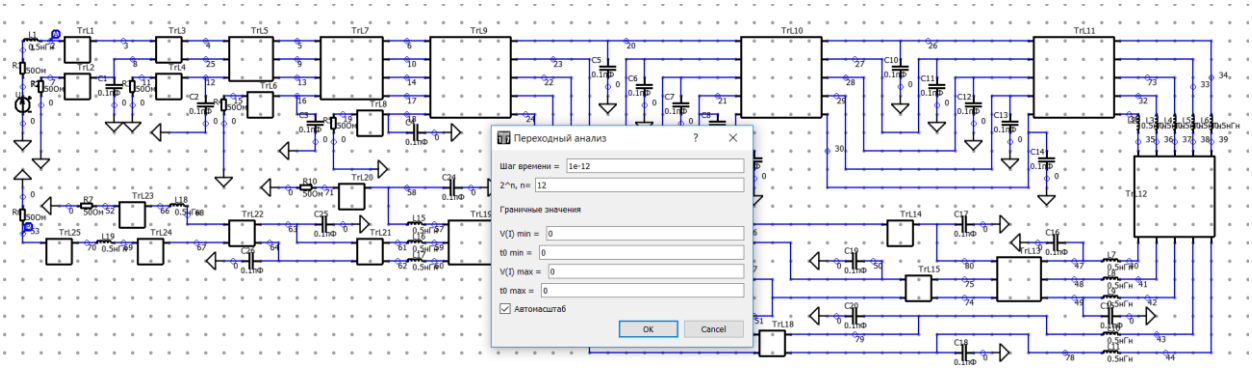


Рисунок 3.4 – В параметрах переходного анализа значения временного отклика

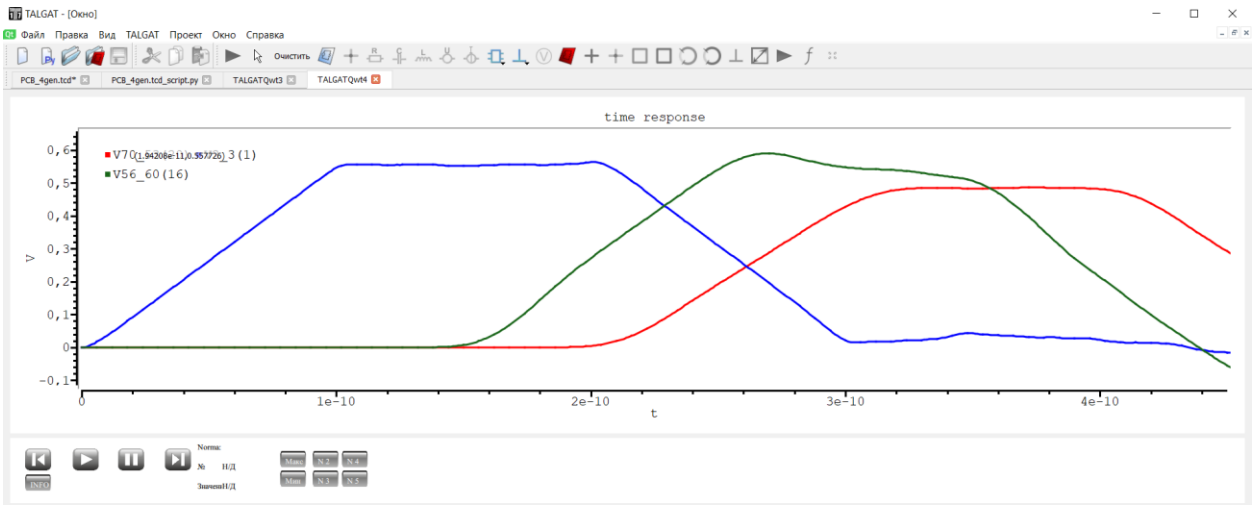


Рисунок 3.5 – Полученные формы сигнала в выбранном проводнике

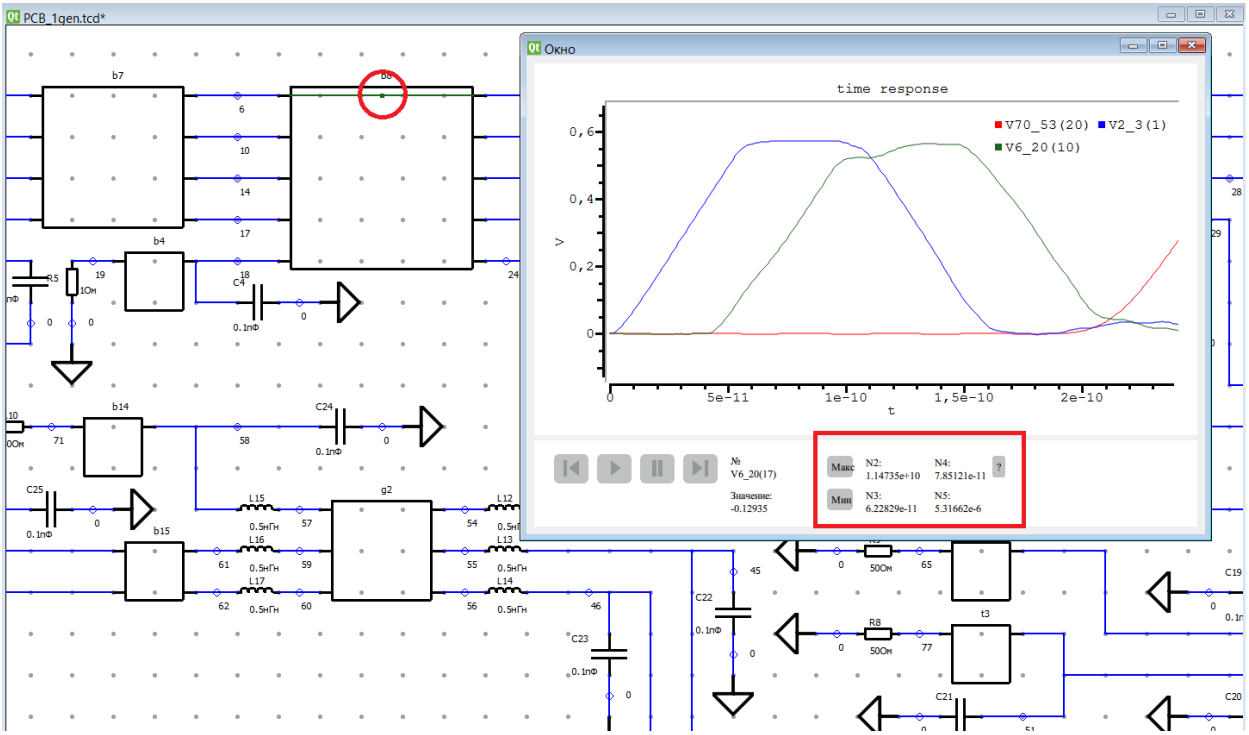


Рисунок 3.6 – Вычисленные значения норм в заданном сегменте

Таким образом, необходимо записать все полученные значения каждой *N*-нормы в текстовый редактор (**обратите внимание, записывать только для сегмента 1 и 10 каждой линии передачи**!) и определить наибольшие из них. Затем на принципиальной схеме, необходимо указать локализацию максимальных значений для каждой нормы в каждом проводнике. В отчете указать все скриншоты, описать их, сделать выводы.

Таблица 3.2 –Варианты для выполнения работы

Вариант	**Активные проводники**
1	1, 5
2	1, 2, 5
3	2, 4
4	1, 2, 4, 5
5	2, 4, 5
6	3
7	2
8	1, 3, 4, 5
9	2, 3, 4, 5
10	1, 2, 3, 5
11	4, 5
12	1, 3, 5
13	1, 2, 3, 5
14	5
15	1

3.5. Контрольные вопросы

1) Зачем нужны амплитудные критерии?

2) В чем суть (какой дефект выявляет) каждой нормы?

3) Как рассчитать значение нормы в определенном сегменте проводника?

4) Можно ли вычислить значения норм сразу в нескольких проводниках?

5) Можно ли получить два разных значения N_2 в одном сегменте?

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ШИНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С ПОМОЩЬЮ АМПЛИТУДНЫХ КРИТЕРИЕВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ

4.1. Цель работы: исследовать шину ПП РПУ САН космического аппарата с помощью амплитудных критериев в системе компьютерного моделирования TALGAT при изменении длительности воздействия.

4.2. Теоретический материал

В современном мире быстрыми темпами развивается радиоэлектронная аппаратура, в частности повышается ее быстродействие. Таким образом, важно рассматривать на этапе анализа электромагнитной совместимости не только полезные сигналы, но и помеховые. К полезным сигналам можно отнести сигналы с длительностью в наносекундном диапазоне. К помеховым – уже с более короткими фронтами (несколько сотен или десятков пс).

Для работы используется шина ПП РПУ САН из предыдущих разделов. В соответствии с вариантом (табл. 4.1) необходимо внести исправления в принципиальную схему шины.

4.3. Задание для выполнения

Необходимо исправить принципиальную схему в соответствии с вариантом. Выполнить вычисления N-норм для 3-х длительностей СКИ вдоль каждого проводника. Провести анализ результатов и составить выводы.

4.4. Порядок выполнения работы

1). Внести исправления в принципиальную схему (выбор активных проводников).

2) Выбор для моделирования полезного сигнала (длительности фронтов и вершины по 1 нс).

3). Указать параметры источника (или источников) с требуемой длительностью.

4). Выполнить вычисление форм напряжений вдоль каждого из проводников.

5). Выявить и локализовать экстремумы напряжения, а также максимума для каждой из норм (скриншоты с формой сигнала, значениями максимумов, локализацией на принципиальной схеме и фрагменте ПП).

6). Описать полученные данные.

7). Повторить действия 2–6 с использованием помеховых сигналов (длительности фронтов и вершины: по 100 пс и по 10 пс).

8). Выполнить анализ результатов.

Таблица 4.1 –Варианты для выполнения работы

Вариант	**Активные проводники**
1	2, 3, 4, 5
2	1, 2, 3, 5
3	4, 5
4	1, 3, 5
5	1, 2, 3, 5
6	5
7	1
8	1, 5
9	1, 2, 5
10	2, 4
11	1, 2, 4, 5
12	2, 4, 5
13	3
14	2
15	1, 3, 4, 5

4.5. Контрольные вопросы

1). Как влияет длительность СКИ на локализацию экстремумов напряжения?

2). При какой длительности СКИ значения норм выше?

3). Можно ли задать разную длительность для фронтов и вершины?

4). Приведите примеры длительностей полезного и помехового сигналов.

5). Как получить общую длительность воздействия, если известны только длительности фронтов и вершины?

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ШИНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗЫ ДАННЫХ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ ОТ РЕАЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

5.1. Цель работы: исследовать шину ПП РПУ САН космического аппарата на выявление и локализацию экстремумов сигнала с использованием базы данных сверхкоротких импульсов (СКИ) от реальных генераторов в системе компьютерного моделирования TALGAT.

5.2. Теоретический материал

В системе TALGAT есть возможность выбора типов воздействий. Для того чтобы ознакомиться со всеми возможными типами следует нажать 2 раза ЛКМ на источник воздействия на схеме, в правой части экрана откроется область, где присутствуют параметры источника воздействия (рисунок 5.1). В верхней части этого окна следует нажать на выпадающее меню, таким образом, откроется весь список возможных типов воздействий для моделирования в системе TALGAT (рисунок 5.2). Перечислим каждый из них:

- импульсный сигнал;
- синусоидальный импульс;
- гауссов импульс;
- экспоненциальный импульс;
- гармонический импульс;
- сверхкороткий импульс;
- пользовательский сигнал.

В прежних разделах в качестве воздействия использовался импульсный сигнал (в виде трапеции), однако в этой работе нас интересует «сверхкороткий импульс». В этом типе воздействия хранится база данных СКИ из [6], формы которых оцифрованы с импульсов, полученных от реальных генераторов преднамеренных воздействий. При выборе данного типа импульса, исчезают все поля для ввода параметров, однако остается

одно выпадающее меню, содержащее в себе список СКИ. Формы каждого СКИ изображены на рисунках 5.3 и 5.4.

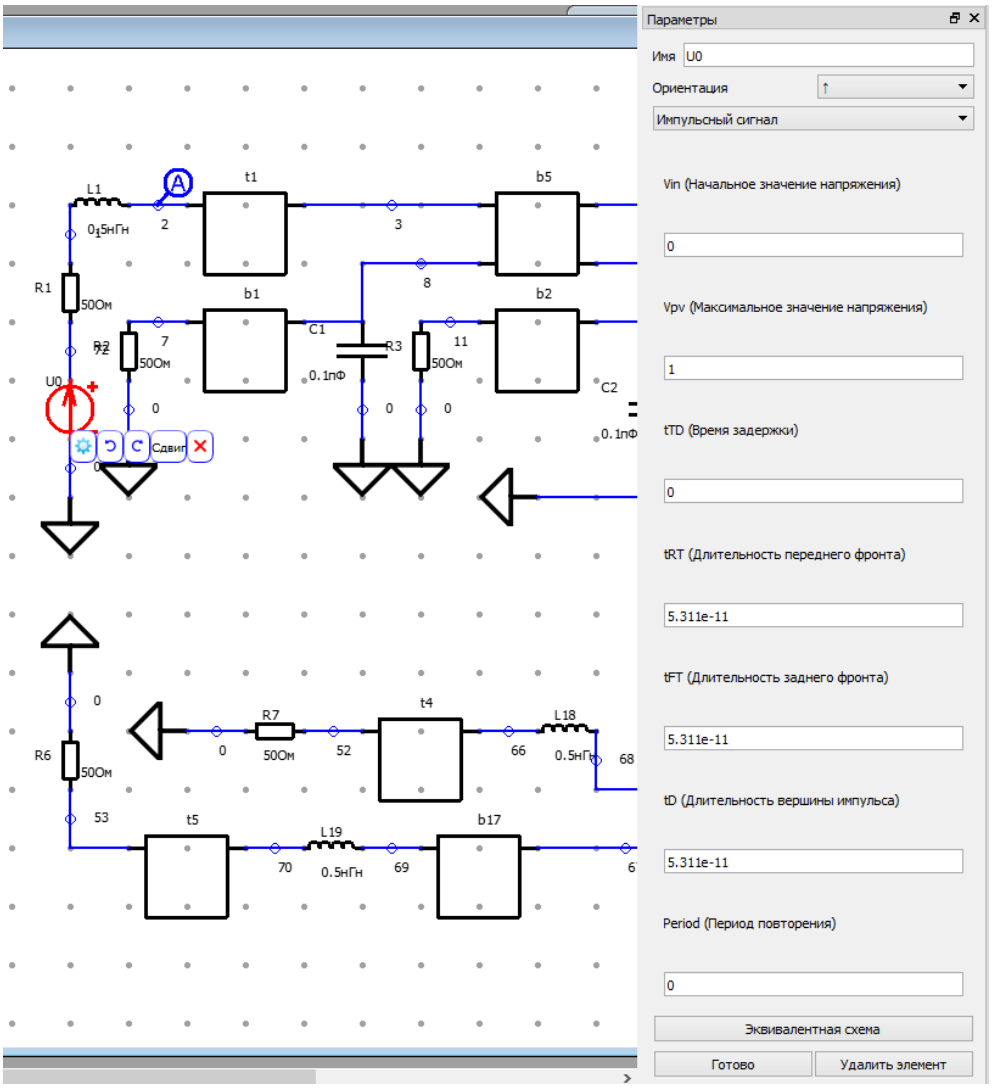


Рисунок 5.1 – Параметры источника воздействия

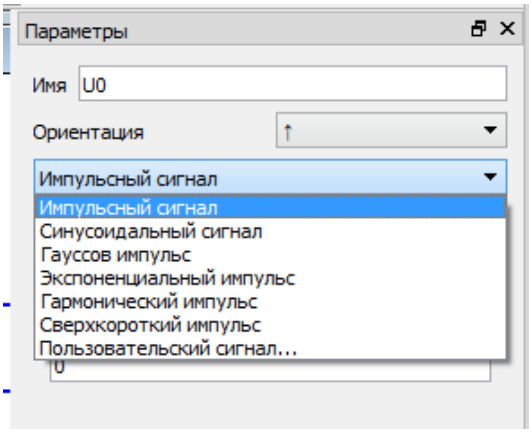


Рисунок 5.2 – Типы источника воздействия в системе TALGAT

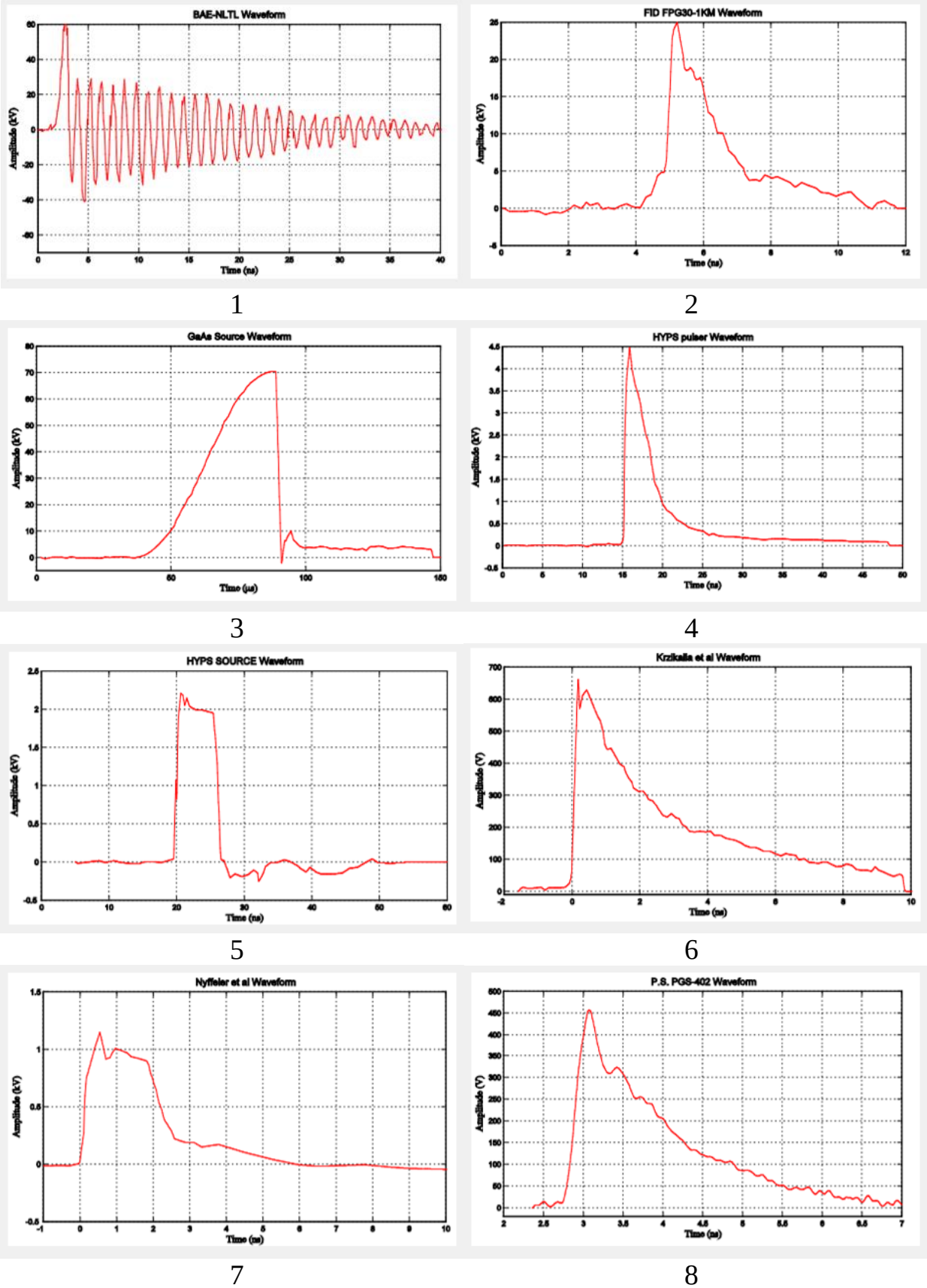
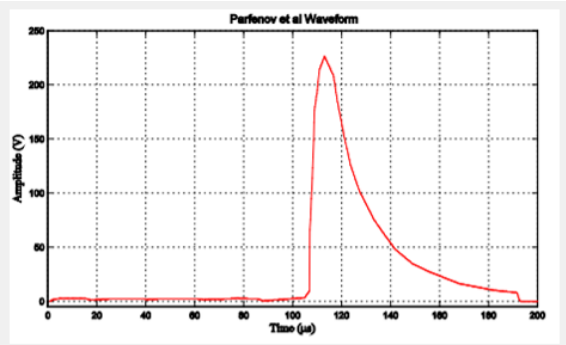
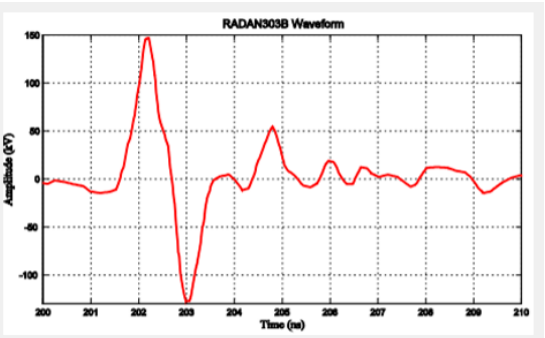


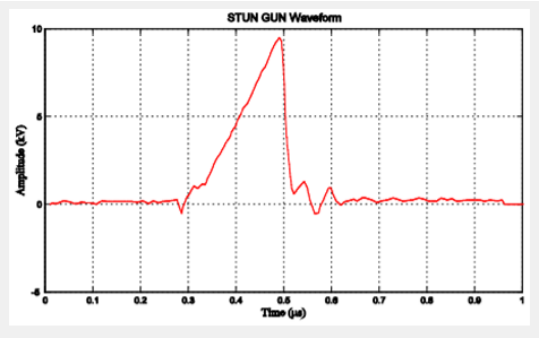
Рисунок 5.3 – Оцифрованные формы СКИ от реальных генераторов



9



10



11

Рисунок 5.4 – Оцифрованные формы СКИ от реальных генераторов

Для выбора определенного СКИ необходимо выбрать его из выпадающего меню, нажать на его название и кнопку «готово».

5.3. Задание для выполнения

В соответствии с вашим вариантом (табл. 5.1) необходимо внести исправления в принципиальную схему, а также выбрать нужные СКИ, для каждого из которых, вычислить экстремумы напряжения вдоль каждого проводника. Выполнить анализ результатов.

5.4. Порядок выполнения работы

1). Внести исправления в принципиальную схему в соответствии со своим вариантом (**требуется только включить источник сигнала в нужный проводник**).

2). В параметрах источника воздействия выбрать один из СКИ для вашего варианта.

3). Выполнить вычисление форм напряжений вдоль каждого проводника шины ПП РПУ САН (алгоритм действий, которые необходимо выполнить для получения форм напряжений вдоль проводника, приведены в предыдущих разделах).

4). Выявить и локализовать экстремумы напряжения в каждом проводнике. При выполнении этого пункта необходимо сделать скриншоты форм напряжений с экстремумами в каждом проводнике, а также с их локализацией. Скриншоты и их описание следует отразить в отчете. **Важно! Требуется сделать скриншоты форм напряжений, как в активном проводнике, так и перекрестных помех в пассивном.**

5). Повторить действия 2–4 для других СКИ.

6). Выполнить анализ результатов и составить выводы.

Таблица 5.1 – Варианты для выполнения работы

Вариант	**Активный проводник**	**Номер СКИ**
1	2	1, 3, 5, 7, 9
2	3	2, 4, 6, 8, 10
3	4	3, 6, 9, 10, 11
4	5	2, 4, 5, 7, 10
5	1	1, 6, 8, 10, 11
6	2	2, 5, 8, 10, 11
7	3	1, 4, 5, 7, 8
8	4	2, 3, 6, 9, 10
9	5	3, 4, 6, 7, 11
10	1	4, 5, 7, 8, 9
11	2	1, 2, 3, 4, 8
12	3	2, 5, 6, 7, 8
13	4	7, 8, 9, 10, 11
14	5	3, 5, 6, 9, 10
15	1	5, 6, 7, 10, 11

5.5. Контрольные вопросы

1). Сколько типов источников воздействия можно смоделировать в системе TALGAT? Перечислите.

2). Как выглядит «импульсный сигнал» в системе TALGAT?

3). Каким образом можно выбрать определенный СКИ из базы данных для выполнения моделирования?

4). Можно ли при моделировании в системе TALGAT одновременно использовать два разных СКИ в источниках воздействия на разных проводниках?

6. ИССЛЕДОВАНИЕ ШИНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКИМ АЛГОРИТМОМ

6.1. Цель работы: исследовать шину ПП РПУ САН космического аппарата с применением оптимизации генетическим алгоритмом (ГА).

6.2. Теоретический материал

В последнее время большое внимание уделяется математическому моделированию различных задач прикладной электродинамики, решение которых необходимо для проектирования радиоэлектронных устройств, основой которого является их компьютерное моделирование. Однако с увеличением сложности этих устройств возникает колоссальный объем задач, необходимых для решения, что многократно увеличивает количество вычислений. В этой связи важна оптимизация, поскольку с помощью нее можно избежать выполнения лишних действий или вычислений. Смысл оптимизации, в общем случае, заключается в увеличении или уменьшении (т.е. его улучшение) результата целевой функции (функции качества), изменяя ее параметры, при многократном вычислении целевой функции.

В работе [7] сформулирована методика оптимизации электромагнитной совместимости бортовой аппаратуры космического аппарата, которая приведена на рисунке 6.1. Для оптимизации существует большое число алгоритмов, в данной работе будет представлен ГА (обоснование выбора метода оптимизации приведено в работе [8], дальнейшее описание теоретических основ взято из нее же). ГА использует целевую функцию (которую задаёт пользователь), чтобы вычислить степень «приспособленности» каждого генома к выживанию. Чтобы решить поставленную задачу, используя ГА, необходимо:

- определить представление чисел;
- выбрать операторы и задать параметры ГА;
- задать целевую функцию.

ГА определяет, какие индивидуумы должны выжить, какие – участвовать в скрещивании, а какие – умереть. Также ГА определяет, как долго будет длиться процесс эволюции. Обычно ГА не имеет четкого условия останова. Необходимо задать критерий завершения работы, часто таким критерием является количество поколений или вырождение популяции, т.е. если практически нет разнообразия в генах особей популяции, либо задано время работы. Алгоритм работы ГА представлен на рисунке 6.2.

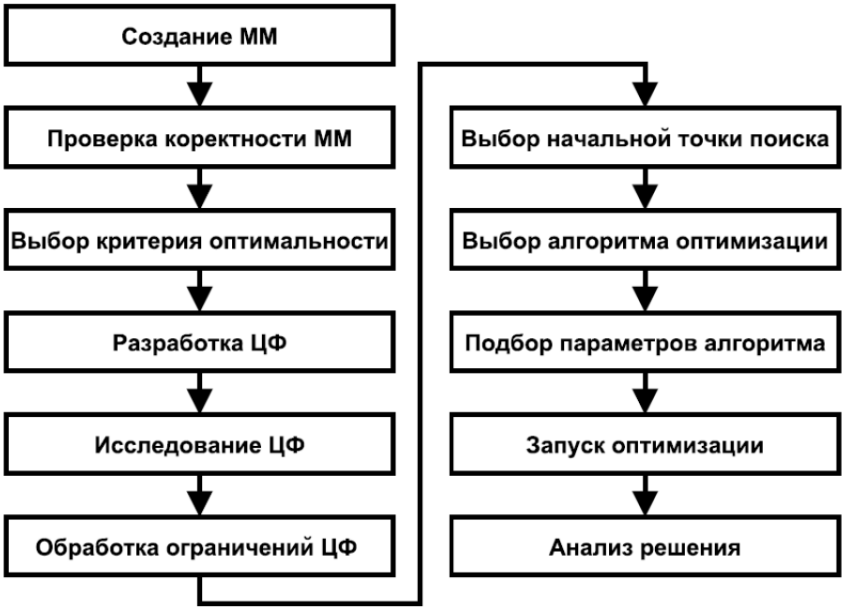


Рисунок 6.1 – Методика оптимизации ЭМС БА КА

Каждый геном имеет три основных оператора: инициализация, мутация, кроссовер. Использование этих операторов позволяет влиять на начальную популяцию, определить особенности мутации и кроссовера для задачи, либо изменять части ГА по мере развития популяции. В системе TALGAT все эти операторы имеют установки по умолчанию для каждого типа генома, но можно изменить любой из них.

Оператор инициализации определяет, как будет инициализирован геном. Он вызывается, когда инициализируется популяция или ГА. Этот оператор не создает геном, скорее он «наполняет» геном первоначальным генетическим материалом, из которого будут получены все решения, часто в

его основе лежит какой-либо генератор случайных чисел. Класс популяции имеет свой оператор инициализации. По умолчанию, в популяции просто вызывается оператор инициализации генома, но можно вызывать любой оператор инициализации.

Оператор мутации определяет процесс мутации каждого генома. В разных типах данных мутация действует по-разному. Например, типичный оператор мутации, примененный к бинарной строке, проинвертирует биты в строке с заданной вероятностью.

Оператор кроссовера определяет процедуру создания «ребенка» от двух «родителей» генома. Как и у оператора мутации, действие оператора кроссовера зависит от типа данных. В отличие от мутации, кроссовер включает множество геномов. В TALGAT, каждый геном «знает» свой предпочитаемый метод скрещивания (метод кроссовера по умолчанию).

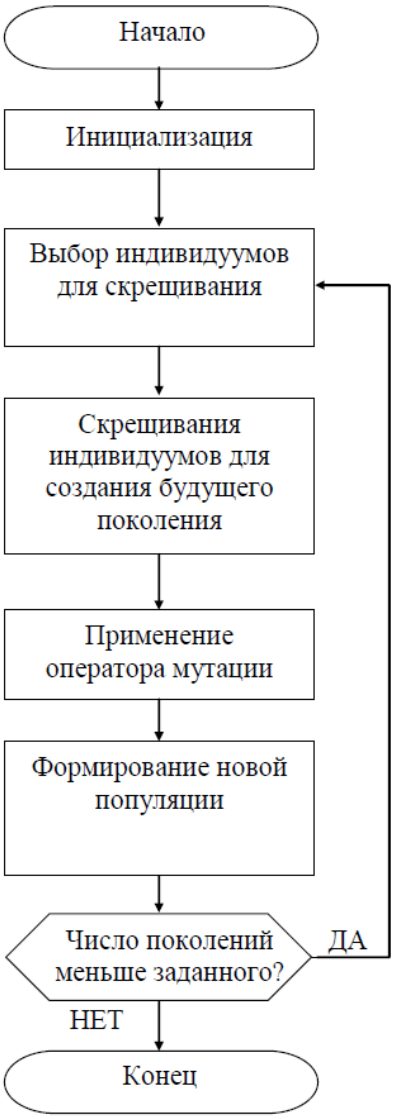


Рисунок 6.2 – Алгоритм работы ГА

6.3. Задание для выполнения

Применить оптимизацию для максимизации напряжения в заданном узле шины ПП РПУ САН при изменении длительности воздействия.

6.4. Порядок выполнения работы

В соответствии с вариантом (табл. 6.1) внести исправления в принципиальную схему (включить источник воздействия в требуемый проводник). Далее необходимо выбрать «Пробник» на панели элементов и нажать на критичный узел, указанный в варианте. Допустим, что это узел 56 (рисунок 6.3). Необходимо переключить клиент на «старый интерпретатор» (находится во вкладке «TALGAT»). Далее запускаем генерацию кода, сразу

выбрав временной анализ. Открывшиеся формы напряжения закрываем и переходим во вкладку с кодом.

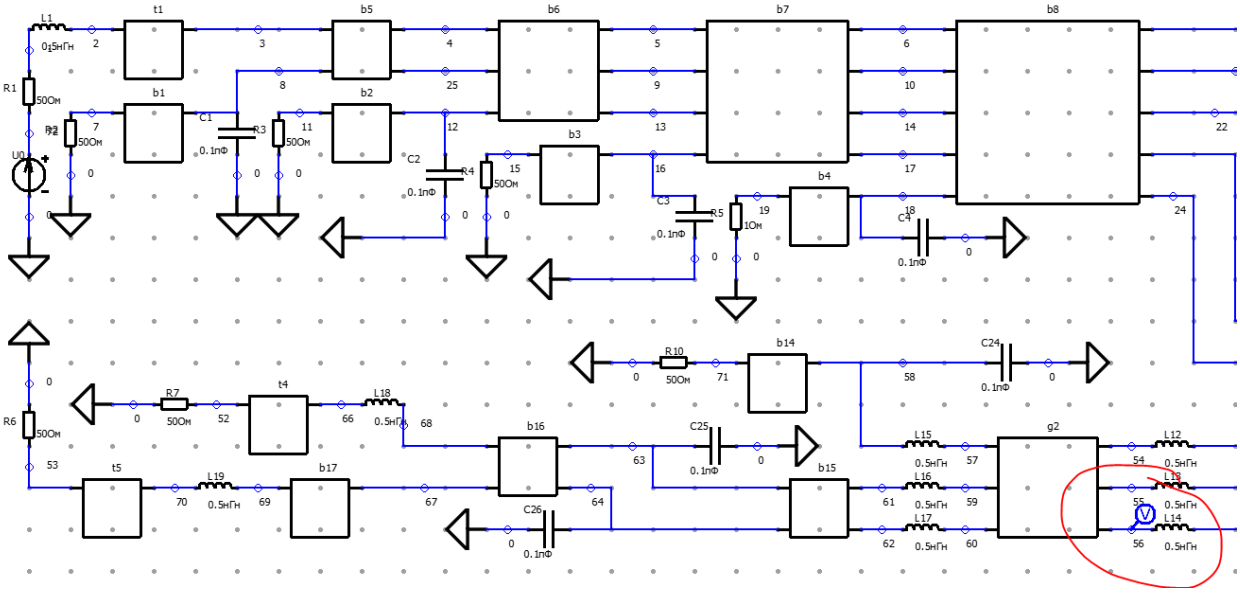


Рисунок 6.3 – Выбор критичного узла на принципиальной схеме

В первую очередь необходимо подключить библиотеку с ГА (рисунок 6.4).

```
INCLUDE "RESPONSE"
INCLUDE "GRAPH"
INCLUDE "UTIL"
INCLUDE "MATRIX"
INCLUDE "GA"


CLEAR_SCHEME
CLEAR_RESPONSE
RESPONSE_CLEAR
```

Рисунок 6.4 – Подключение библиотеки с ГА

Затем необходимо построить целевую функцию. Для этого следует строки, отвечающие за местоположение и параметры источника воздействия, из рисунка 6.5 перенести в конец, перед строкой с вычислением отклика (рисунок 6.6). Затем добавляем диапазон переменных ГА как на рисунке 6.7 (т.е. здесь указывается минимальная и максимальная длительность фронта или вершины импульса). Далее необходимо сохранить структуру в память,

создать открытие кейворда для целевой функции, зачистить схему и указать параметры, с которыми будет работать ГА (рисунок 6.8).

```
CAPACITOR "C22" 0 45 1.e-13
SOURCE "U0" 0 72
SIMULATION_SOURCES_VPULSE 0. 1. 0. 5.311e-11 5.311e-11 5.311e-11 0.
TRANSMISSION_LINE "t1" 1 2 3
//L,C,R,G Matrices
```

Рисунок 6.5 – Строки с параметрами источника воздействия

```
SET_ROW G_for_b20 4 0. 0. 0. 0. 0.
TRANSMISSION_LINE_PARAMETERS L_for_b20 C_for_b20 R_for_b20 G_for_b20 0.00025
SET "nTransmissionLineSubsections" 20

SOURCE "U0" 0 72
SIMULATION_SOURCES_VPULSE 0. 1. 0. 5.311e-11 5.311e-11 5.311e-11 0.


T_RESPONSE 0.
DISABLE_WARNINGS
```

Рисунок 6.6 – Строки с параметрами источника воздействия в нужном месте

```
TRANSMISSION_LINE_PARAMETERS L_for_b20 C_for_b20 R_for_b20 G_for_b20 0
SET "nTransmissionLineSubsections" 20

SOURCE "U0" 0 72

//диапазон переменных для ГА
SET "k1" 1.e-11
SET "k2" 1.e-9

SIMULATION_SOURCES_VPULSE 0. 1. 0. 5.311e-11 5.311e-11 5.311e-11 0.



T_RESPONSE 0.
```

Рисунок 6.7 – Диапазон переменных ГА

Следующим шагом необходимо изменить параметры источника воздействия, чтобы указать, какие параметры будет изменять ГА (рисунок 6.9).

```
SET "nTransmissionLineSubsections" 20

SOURCE "U0" 0 72

//диапазон переменных для ГА
SET "k1" 1.e-11
SET "k2" 1.e-9

//сохраняем в память структуру
SET "scheme" GET_SCHEME

//начало целевой функции
CREATE_KEYWORD "quality_function"

// зачищаем все, чтобы не было лишних данных
CLEAR_SCHEME
CLEAR_RESPONSE
RESPONSE_CLEAR

//достаем структуру из памяти
SET_SCHEME scheme

//вводим имена для переменных ГА
SET "x1" GA_PARAM_1
SET "x2" GA_PARAM_2
SET "x3" GA_PARAM_3

SIMULATION_SOURCES_VPULSE 0. 1. 0. 5.311e-11 5.311e-11 5.311e-11 0.

T_RESPONSE 0.
```

Рисунок 6.8 – Создание целевой функции для ГА

```
// задаются параметры генератора {начальное напряжение, амплитуда,
//задержка, передний фронт, задний фронт, вершина, период повторения}
// в этом же месте и задается тот факт, что оптимизируем длительности импульса
// переменные x1 x2 x3 - это длительности фронта, вершины и спада
// т.е. как раз наши переменные для ГА
SIMULATION_SOURCES_VPULSE 0. 1. 0. x1 x3 x2 0.
```

Рисунок 6.9 – Параметры воздействия для ГА

Далее все строки, после команды для вычисления отклика удаляем (строки, которые нужно удалить выделены на рисунке 6.10). Затем вводим результат целевой функции (т.е. получаем значение амплитуды напряжения в критичном узле, которую надо максимизировать), как показано на рисунке 6.11. После определения результата целевой функции, необходимо настроить проверку на максимальный результат, для этого требуется прописать условия из рисунка 6.12.

```
//вводим имена для переменных ГА
SET "x1" GA_PARAM_1
SET "x2" GA_PARAM_2
SET "x3" GA_PARAM_3

// задаются параметры генератора {начальное напряжение, амплитуда,
//задержка, передний фронт, задний фронт, вершина, период повторения}
// в этом же месте и задается тот факт, что оптимизируем длительности импульса
// переменные x1 x2 x3 - это длительности фронта, вершины и спада
// т.е. как раз наши переменные для ГА
SIMULATION_SOURCES_VPULSE 0. 1. 0. x1 x3 x2 0.

T_RESPONSE 0.
DISABLE_WARNINGS
OPEN_FOR_WRITE "PCB_1gen.tcd_results.txt"
ENABLE_WARNINGS
ADD_XY_DATA_c ts V56 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 1. 0. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING V56
DISABLE_WARNINGS
WRITE LINE_TO_STRING ts V56
WRITE NEW_LINE
WRITE NEW_LINE
WRITE MATRIX_HORZCAT TRANSPOSE REAL ts TRANSPOSE REAL V56
CLOSE
ENABLE_WARNINGS
SET_PLOT_TITLE LINE_TO_STRING time response
SET_X_TITLE LINE_TO_STRING t
SET_Y_TITLE LINE_TO_STRING V
SET_PLOT_RANGE 0. -1. 2.38995e-10 1.
PLOT_XY
WINDOW SCHEME IS NO LONGER PROCESSED
```

Рисунок 6.10 – Строки для удаления

```
// т.е. как раз наши переменные для ГА
SIMULATION_SOURCES_VPULSE 0. 1. 0. x1 x3 x

T_RESPONSE 0.

SET "V56_max" MATRIX_MAX REAL V56

SET "qf_result" V56_max
```

Рисунок 6.11 – Записываем результат целевой функции

```
// здесь проверка на наилучший результат. Текущее макс значение сравнивается с предыдущим
// если больше, оно выводится, если нет - выводится предудыщее
IF EQU RESULT_COUNT 0
THEN  SET "maxResult" qf_result
IF LESS maxResult qf_result
THEN  SET "maxResult" qf_result
//ECHO Max
ECHO maxResult:
SET "RESULT_COUNT" PLUS RESULT_COUNT 1

// конец работы целевой функции
END_CREATE_KEYWORD qf_result

SET "RESULT_COUNT" 0
```

Рисунок 6.12 – Проверка на максимальный результат

Далее необходимо прописать команду для запуска ГА и вывод результатов (рисунок 6.13).

```
SET "RESULT_COUNT" 0

SET_NBITS_PER_NUMBER 4

ECHO "BITS:"
ECHO GET_NBITS_PER_NUMBER

// команда запуска ГА
// особи, поколения (от нуля), к. мутации, к. кроссовера, число переменных, границы переменных, имя целевой функции
REPORT_TIMER GA_MAX 1 0 0.1 0.5 3 k1 k2 k1 k2 k1 k2 "quality_function"

// вывод результатов
ECHO "ITOG_BEST"
ECHO GET_BEST_GA_PARAMETER 0
ECHO GET_BEST_GA_PARAMETER 1
ECHO GET_BEST_GA_PARAMETER 2
ECHO GET_BEST_GA_RESULT
```

Рисунок 6.13 – Команда запуска ГА

В приведенном примере реализован ГА для 3-х переменных, т.е. когда длительности каждого из фронтов и вершины не равны и подбираются независимо друг от друга (но в заданном диапазоне).

После построения кода вычисления, запустите его и убедитесь, что он выполняется без ошибок и выдает требуемые результаты (наилучший результат целевой функции, а также значения переменных, при которых он получен). Если все работает, можно начинать исследование.

Исследование заключается в многократных запусках ГА с целью получить наилучший результат. Это значит, что необходимо выполнить 10 запусков ГА для каждого набора параметров из табл. 6.2. **Перед запуском зайдите на вкладку TALGAT и убедитесь в том, что галочка стоит напротив «вывод в новое окно», в противном случае поставьте ее туда.** Если этого не сделать результаты вычисления могут не сохраниться. После каждого запуска полученные результаты записываются в текстовый документ, и составляется график зависимости результатов целевой функции от запуска и числа вычислений (пример приведен на рисунке 6.14).

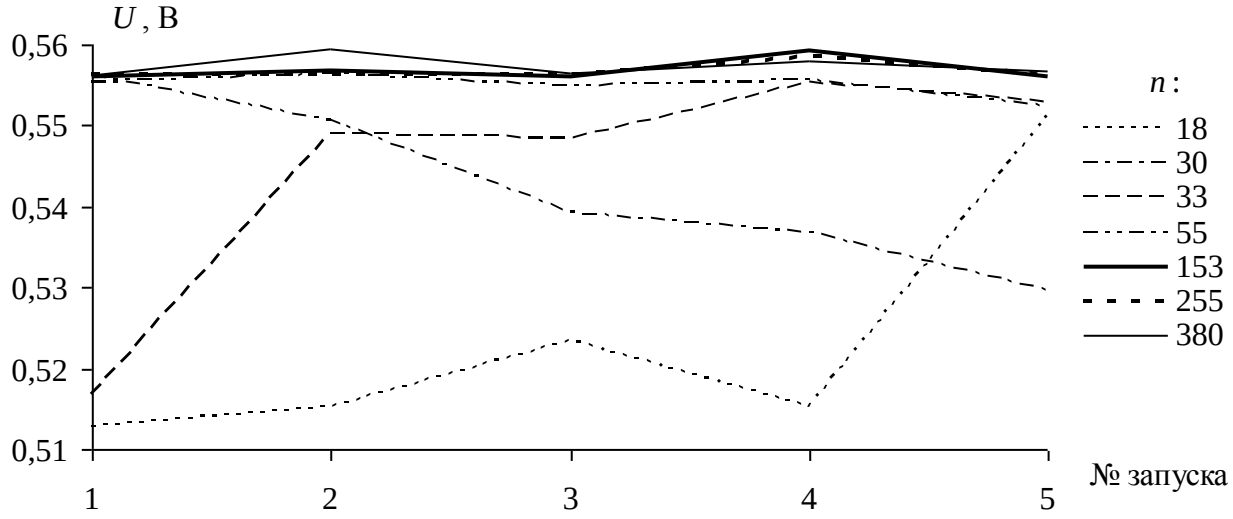


Рисунок 6.14 – Значения напряжения для 5-ти запусков при разных *n*

На рисунке 6.14 *n* означает число вычислений ГА, которое получается с помощью произведения числа особей на число поколений.

Таблица 6.1 – Варианты для выполнения работы

Вариант	**Активный проводник**	**Критичный узел**	**Диапазон длительностей**
1	2	44	0,5–1 нс
2	3	37	0,1–0,5 нс
3	4	36	50–100 пс
4	5	40	100–200 пс
5	1	56	200–500 пс
6	2	55	0,5–1 нс
7	3	74	10–50 пс
8	4	41	50–150 пс
9	5	57	0,25–0,45 нс
10	1	69	300–500 пс
11	2	55	30–70 пс
12	3	77	10–60 пс
13	4	65	0,4–0,8 нс
14	5	71	0,5–1,1 нс
15	1	56	10–70 пс

Таблица 6.2 – Параметры запуска ГА

Набор	Количество особей	Количество поколений
1	2	2
2	2	4
3	4	7
4	4	9
5	5	9
6	5	11
7	5	19

6.5. Контрольные вопросы

1). Как расшифровывается ГА? Для чего его используют?

2). Какие параметры есть у ГА?

3). Как определить число вычислений алгоритма?

4). Зачем несколько раз запускать ГА?

5). Какая команда в системе TALGAT отвечает за запуск вычисления отклика?

Список литературы

1. IEC, "61000-4-33 : Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-33: Testing and measurement techniques – Measurement methods for high-power transient parameters," ed: IEC, 2005.

2. Baum C.Norms and Eigenvector norms / C. Baum // Mathematics Notes. – 1979. –Vol. 63.

3. Giri D. High-power electromagnetic radiators : nonlethal weapons and other applications / D. Giri // Cambridge, MA: Harvard University Press. – 2004.

4. Survey of worldwide highpower wideband capabilities / W. Prather, C. Baum, R. Torres, F. Sabath, D. Nitsch // Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on. –2004. – Vol. 46. – P. 335–344.

5. Performance limitations of transmission line oscillators for high powermesoband sources / J. Tyo, M. Skipper, M. Abdalla, S. Romero, D. Giri // in Pulsed Power Conference, 2007 16th IEEE International. – 2007. – P. 298–301.

6. Mora N., Vega F., Lugrin G., Rachidi F., Rubinstein M. Study and Classification of Potential IEMI Sources // System Design and Assessment Notes, 8 July 2014, Note 41, P. 1–48.

7. Мелкозеров А. О. Компьютерное моделирование и оптимизация электромагнитной совместимости бортовой аппаратуры космических аппаратов: монография / А. О. Мелкозеров, Р. И. Аширбакиев;

Министерство образования и науки Российской Федерации; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – Томск: ТУСУР, 2013. – 220 с.

8. Газизов Т.Т. Методология, алгоритмы и программное обеспечение для комплексной оптимизации элементов радиоэлектронных устройств : дис. … д-ра техн. наук: 05.13.18 / Газизов Тимур Тальгатович. – Томск, 2017. – 314 с.