

МАРШРУТ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ СХЕМ

Д. Е. Боркивец, А. И. Егоров, А. Г. Кузякин

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

Современные электронные устройства можно подразделить на три больших класса: аналоговые, импульсные и цифровые. К аналоговым устройствам относятся функциональные электронные узлы, предназначенные для выполнения операций над аналоговыми сигналами. Под аналоговыми сигналами понимаются сигналы, существующие во всем рассматриваемом интервале времени, и, имеющие производную по времени во всех точках этого интервала. За исключением, может быть, их конечного числа.

К импульсным устройствам относятся функциональные узлы, предназначенные для создания импульсных сигналов требуемой формы и выполнения над ними различных операций и преобразований (интегрирования, дифференцирования, задержки во времени и т. п.). Импульсными сигналами принято называть электрические колебания, существующие в пределах конечного отрезка времени. При этом импульсные сигналы подразделяют на радиоимпульсы, имеющие высокочастотное синусоидальное заполнение, и видеоимпульсы, не имеющие такового.

У импульсных и аналоговых устройств имеется много общего в части структурных и функциональных схем. Так как носителем информации и объектом обработки является временная зависимость напряжения или тока, то основная задача, которую решают как аналоговые, так и импульсные устройства, состоит в преобразовании одной функции времени в другую.

К цифровым устройствам (ЦУ) относятся функциональные узлы, предназначенные для выполнения различных операций над цифровыми сигналами. С точки зрения обработки информации цифровое устройство выполняет преобразование кодового слова одной размерности в кодовое слово другой или такой же размерности. Таким образом, главное отличие цифровых устройств от аналоговых и импульсных устройств состоит в том, что носителями информации являются двоичные или кодовые слова, а не функции времени.

В настоящее время электроника достигла высочайшего уровня, как по быстродействию, так и по функциональным возможностям. Современная жизнь немыслима без мощных, высокопроизводительных систем. Основной тенденцией в развитии радиоэлектронной и электронно-вычислительной техники является повышение скорости обработки информации. Усложнение структуры устройств и сокращение сро-

ков проектирования приводят к увеличению роли занимаемой средствами моделирования в общем цикле разработки устройства. Моделирование позволяет обоснованно выбирать схемотехнические и конструкторские решения, способствующие обеспечению целостности сигналов и питания.

Цели и задачи

Целью данной работы является проверка маршрута функционального моделирования аналоговых схем из состава модернизируемых и вновь разрабатываемых приборов автоматики. В качестве тестовой схемы выбрана схема блока питания вторичного.

Маршрут

Исходными данными для проведения моделирования являются: принципиальная электрическая схема (Altium Designer, рисунок), перечень элементов (текст, таблица), условия моделирования (текст). Основные этапы маршрута представлены на рис. 1.



Рис. 1. Этапы маршрута функционального моделирования

Данные этапы нацелены на подготовку исходных данных для программы моделирования и включают в себя: корректировку схемы, определение библиотеки моделей, создание тестового окружения.

Корректировка схемы

Исходными данными для корректировки является схема, представленная в формате Altium Designer. В связи с особенностями экспорта программы требуется выполнить следующие действия в редакторе схем (Altium Designer):

- заменить многосоставные элементы односоставными аналогами;
- исключить кириллические символы из обозначений;
- добавить порты ввода/вывода стандартными средствами программы.

Полученная схема из Altium Designer экспортируется в список связей формата Verilog. Пример схемы БПВ адаптированный для экспорта из Altium Designer в список связей представлен на рис. 2.

Для работы программы моделирования, полученные данные, корректируются следующим образом:

- преобразование списка связей в формат Verilog-AMS;
- объявление списка параметров;
- коррекция области описания моделей в структурной схеме.

Представленные операции корректирования являются однотипными и могут быть автоматизированы программными средствами. В результате формируется список связей Verilog-AMS пригодный для программы моделирования.

Определение библиотеки моделей

Исходными данными является перечень элементов схемы и базовый набор моделей элементов. Перечень содержит в себе информацию о позиционном обозначении и наименовании элемента (пример перечня элементов БПВ представлен в табл. 1). Базовая модель выполнена на языке Verilog-AMS или Spice и конфигурируется списком параметров. На основании перечня элементов производится выборка базовых моделей из общего набора, в случае отсутствия модели следует произвести разработку на языке Verilog-AMS или использовать spice модель. К примеру, в связи с отсутствием моделей, были разработаны на Verilog-AMS модели диода, диодной сборки, МДП-транзистора. Для трансформатора использовалось spice описание.

Перечень элементов

Позиционное обозначение	Наименование элемента
R6,R11,R19,R20	P1-12-2,0-1кОм
R7,R8,R15,R17	C2-33Н-2,0-20Ом
R9,R16	P1-12-0,5-301Ом
R10,R14	P1-12-0,25-10Ом
C12,C18,C32	K10-17в-Н90-1,5мкФ
C6,C9,C11,C15,C16,C19, C30,C31,C33,C34,C35	K53-68Е'-50В-15мкФ
C17,C22,C29,C36	K10-47Мв-250В-1500пФ
VD2,VD4,VD5,VD6	2Д237Г1/ПМ ¹
D1	2Д273ВС2 ¹
VT1,VT2	2П7169А ¹
L1,L2	АС319.070-01 600мкГн
L3	АС319.070-01 200мкГн
T3	АИБ3_2x10-2x8 ¹
T4	ТИЛЗВ АГ0.472.105ТУ ¹
¹ Примечание Отсутствует модель элемента	

Создание тестового окружения

Исходными данными являются схема включения и условия моделирования.

Условия моделирования могут включать в себя:

- информацию о требованиях к параметрам входных и выходных сигналов;
- температуру окружения;
- напряжения питания;
- сопротивление нагрузки;
- разбросы номинальных значений элементов схемы.

Представленный перечень является примером, точный список проверяемых условий определяет разработчик схемы.

Для проведения исследования разработана модель тестового окружения, включающего в себя импульсные источники питания, блок питания вторичный и нагрузку на выходах блока питания. Общая схема тестового окружения приведена на рис. 3.

Моделирование тестового окружения должно проводится при нагрузке:

- а) сопротивление нагрузки канала 1 и 2 – 100 Ом;
- б) сопротивление нагрузки канала 3 – 30 Ом.

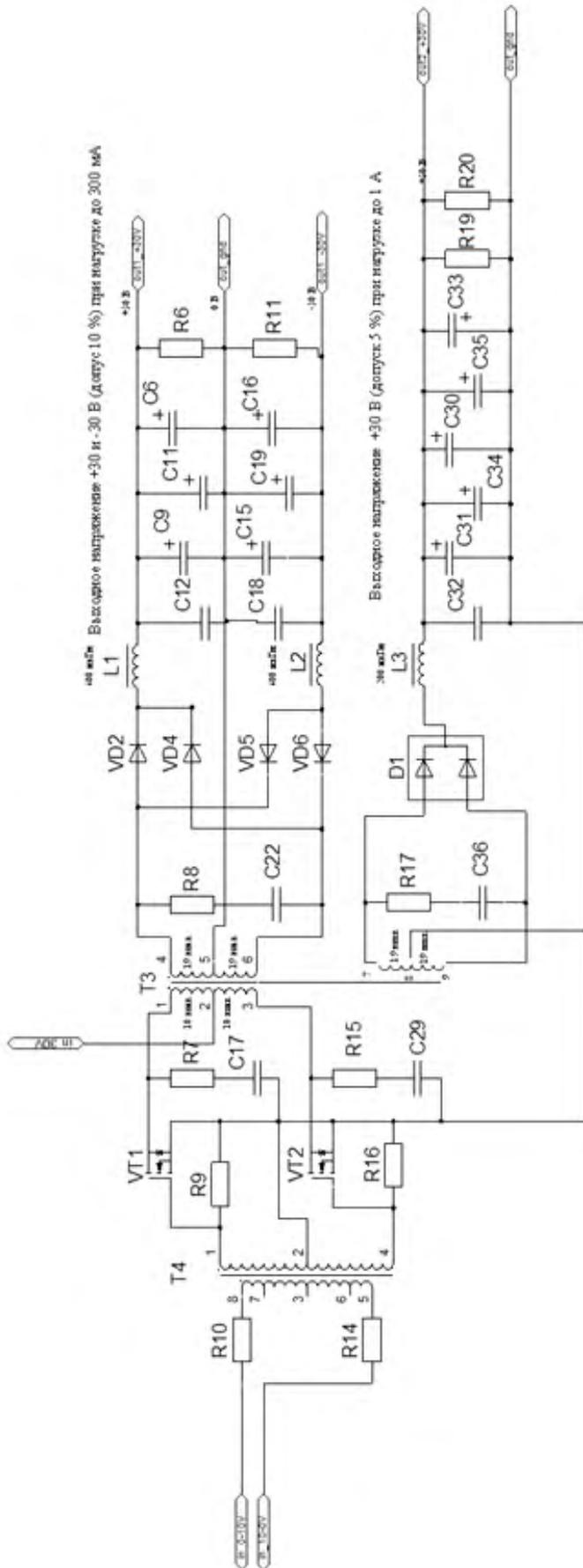


Рис. 2. Схема, адаптированная для экспорта

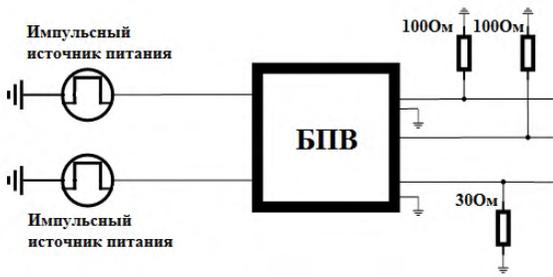


Рис. 3. Схема тестового окружения БПВ

Моделирование требуется провести с параметрами входного напряжения и параметрами импульсных источников, приведенных в табл. 2.

На основании условий моделирования и перечня элементов требуется создать две таблицы параметров. В первую вносится информация о параметрах моделей элементов списка связей (табл. 3). В верхней строке указаны названия параметров, столбец id обозначает номер теста, т. к. требования к элементам отсутствуют, то имеется только одна строка значений, соответствующая номинальным.

Во вторую таблицу параметров вносится информация моделирования тестового окружения (табл. 4).

Таблица 2

Требуемые параметры моделирования

Входное напряжение, В	Период формирования импульсов источниками питания, мкс	Длительность импульса источника питания, мкс	Скважность импульсного источника питания, %
30	10	2.2	22
20	10	2.2	22
20	10	2.5	25

Таблица 3

Параметры моделей БПВ

id	R_R6	R_R11	R_R9	R_R10	C_C30	C_C33	C_C17	C_C12	...
1	1e3	1e3	301	10	15e-6	15e-6	150e-11	1.5e-6	...

Таблица 4

Параметры тестового окружения БПВ

id	V_in	Period	Pulse_Width
1	30	10e-6	2.2e-6
2	20	10e-6	2.2e-6
3	20	10e-6	2.5e-6

В верхней строке указаны названия параметров, столбец id обозначает номер теста. В соответствии с требованиями в табл. 2 записаны три варианта набора параметров.

Из полученных таблиц в автоматическом режиме происходит генерация файлов параметров моделей и тестов. Пример файлов параметров приведен в листинге 1-4.

Листинг 1. Файл параметров моделей БПВ

```
parameter real R_R6=1e3;
parameter real R_R11=1e3;
parameter real R_R9=301;
parameter real R_R10=10;
parameter real C_C30=15e-6;
parameter real C_C33=15e-6;
parameter real C_C17=150e-11;
parameter real C_C12=1.5e-6;
...
```

Листинг 2. Файл параметров теста 1 БПВ

```
parameter real V_in=30;
parameter real Period=10e-6;
parameter real Pulse_Width=2.2e-6;
```

Листинг 3. Файл параметров теста 2 БПВ

```
parameter real V_in=20;
parameter real Period=10e-6;
parameter real Pulse_Width=2.2e-6;
```

Листинг 4. Файл параметров теста 3 БПВ

```
parameter real V_in=20;
parameter real Period=10e-6;
parameter real Pulse_Width=2.5e-6;
```

Моделирование

Моделирование всех необходимых вариантов реализовано в автоматическом режиме. Количество вариантов тестирования характеризуется количеством файлов параметров. Схематичное представление автоматизации моделирования на рис. 4.



Рис. 4. Автоматизация моделирования

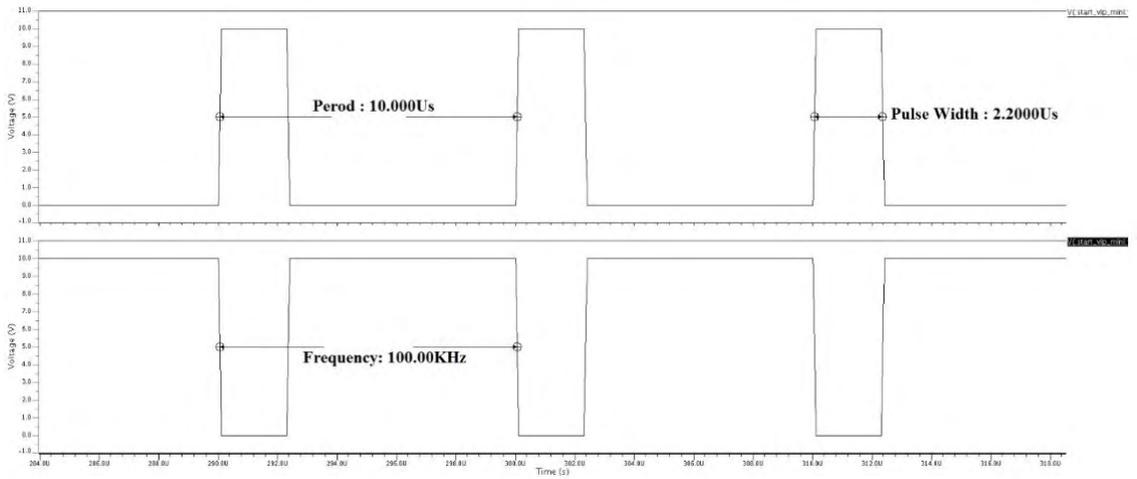


Рис. 5. Общая форма входных сигналов БПВ

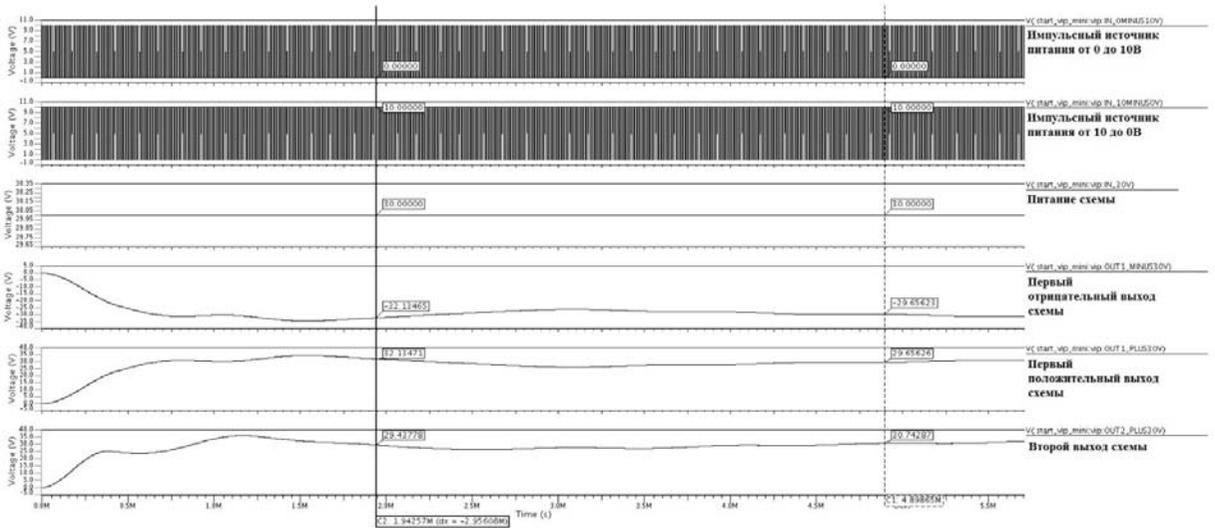


Рис. 6. Графическое представление результатов моделирования БПВ теста 1

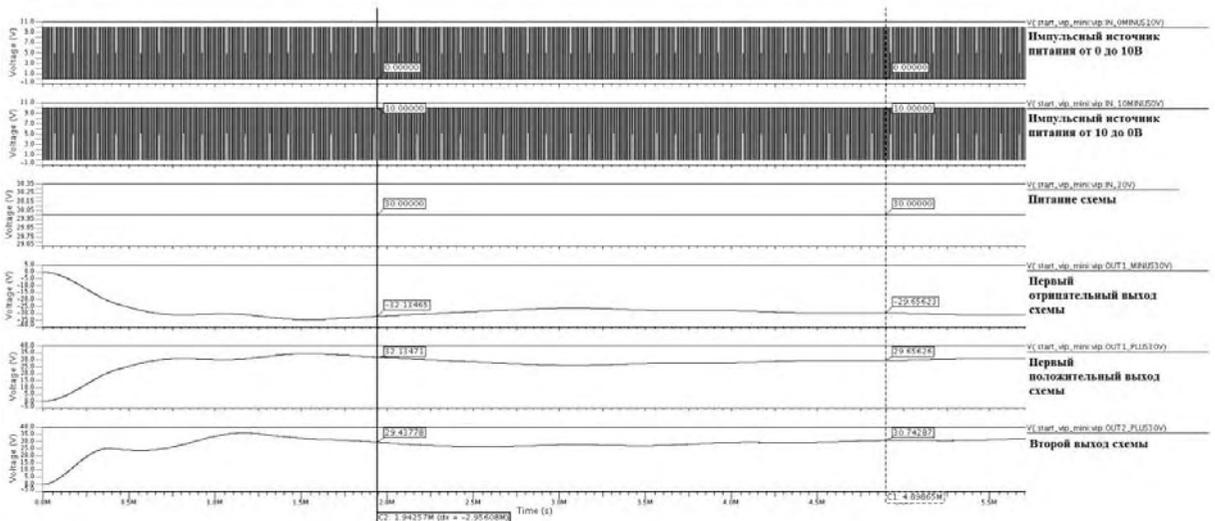


Рис. 7. Графическое представление результатов моделирования БПВ теста 2

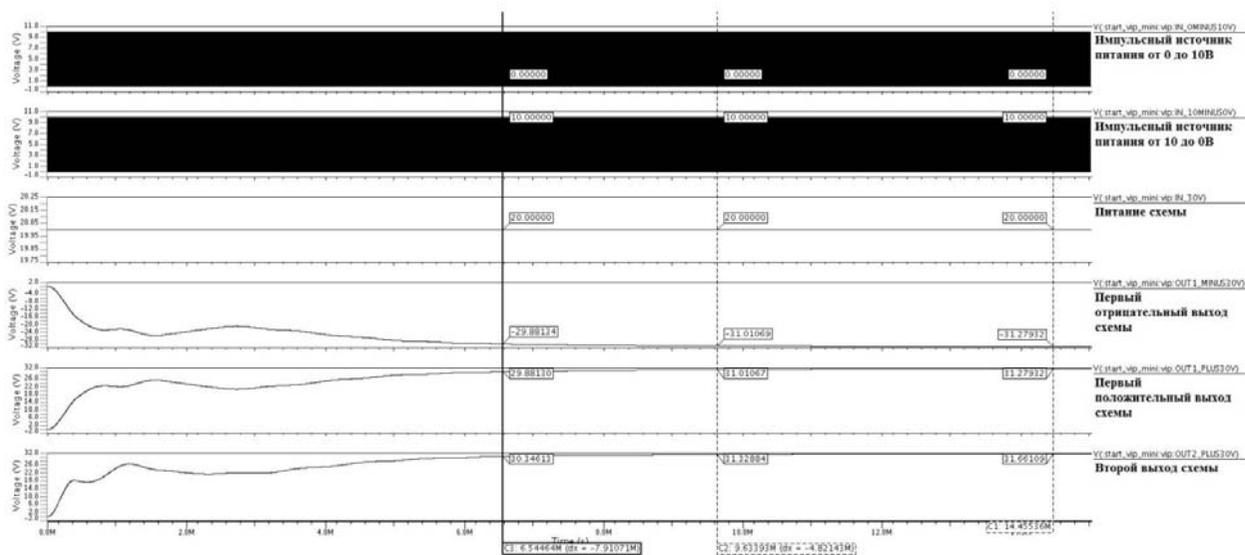


Рис. 8. Графическое представление результатов моделирования БПВ теста 3

При запуске программных средств происходит запись файлов параметров, после чего стартует моделирующая программа. По завершению работы производится автоматическая перезапись файлов параметров с другими данными, после чего программа моделирования запускается вновь. Этот цикл продолжается до тех пор, пока не будут промоделированы структурная схема и тестовое окружение со всеми файлами параметров предоставленных программе.

Обработка

Обработка происходит в автоматическом режиме. Она включает в себя централизованный сбор результатов после каждой итерации моделирования и преобразование в текстовый формат.

Сбор результатов позволяет в любое время просмотреть интересные графики поведения схемы любых условий моделирования сторонними программами. Например, общая форма входных сигналов схемы БПВ представлена на рис. 5. Графическое представление результатов моделирования БПВ на рис. 6,7,8.

Преобразование данных в текстовый формат позволяет работать с результатами на программных средствах, не совместимых с форматом программы моделирования.

Предполагаемое выходное напряжение схемы равняется 30 В. Результаты моделирования представлены в табл. 5.

Из таблицы видно, что при уменьшении входного напряжения до 20 В без изменения скважности вы-

ходной сигнал уменьшается, а при увеличении скважности с напряжением 20В выходной сигнал выходит на уровень, примерно равный первому тесту.

Исследование схемы БПВ подтверждают зависимость выходного напряжения от скважности и амплитуды входных сигналов.

Таблица 5

Результаты моделирования БПВ

Входное напряжение, В	Скважность импульсных источников питания, %	Примерное выходное напряжение		
		Выход 1 Отрицательный, В	Выход 1 Положительный, В	Выход 2, В
30	22	-29.65	29.65	30.74
20	22	-27.85	27.85	28.23
20	25	-31.27	31.27	31.66

Заключение

Подтверждена работоспособность маршрута с наиболее распространённым программным обеспечением, с наиболее распространёнными языками описания аппаратуры. Имеется возможность повышения автоматизации маршрута. По результатам проделанной работы принято решение включить данный маршрут в разработки подразделения. Ожидается, что это приведёт к повышению эффективности работы в следующих проектах.