

Разработка модели цифрового компонента в Altium Designer

Часть 1

Юрий Леган (yuri.legan@altium.com)

В статье рассмотрены задачи моделирования смешанных электрических цепей, приведены сведения о возможностях интегрированного имитатора электрических цепей Altium Designer, дано описание процесса разработки модели четырёхразрядного счётчика микросхемы MC14520B фирмы On Semiconductor от сбора исходных данных до формирования компонента библиотеки. Статья демонстрирует возможность разработки модели дискретной логики силами пользователя в имитаторе электрических цепей с опорой на сведения из открытых источников.

Введение

Основной задачей моделирования смешанных электрических цепей с помощью имитатора является расчёт переходного процесса и анализ результатов. Расчёт переходного процесса имеет несколько параметров: начальное время, конечное время и шаг времени переходного процесса.

При выборе параметров расчёта переходного процесса следует руководствоваться следующими критериями: искомый переходный процесс должен быть представлен на временной оси, шаг моделирования должен быть минимум в 2 раза меньше времени

самого быстротекущего явления переходного процесса. Требование к шагу моделирования диктуется теоремой Котельникова.

Возможности Altium Designer для имитации смешанных электрических цепей

Altium Designer имеет интегрированный имитатор электрических цепей со смешанными сигналами, который реализуется дополнительным системным модулем Mixed Simulation. Дополнительность системного модуля говорит о том, что модуль доступен для установки, однако при начальной установке

Altium Designer может быть исключён из программы инсталляции. Системный модуль имитатора электрических цепей может быть установлен в любой момент при доступе к установщику Altium Designer. Дополнительную установку системного модуля [1] можно сделать как с помощью пакета офлайн-инсталляции, так и при подключении к учётной записи AltiumLive через сеть Интернет.

Имитатор электрических цепей Altium Designer позволяет выполнять моделирование цепей со смешанными сигналами, имеет встроенную поддержку моделей логических устройств. Перечень базовых моделей логических устройств имитатора приведён в таблице 1.

С полным перечнем поддерживаемых моделей имитатора электрических цепей Altium Designer можно ознакомиться в руководстве пользователя имитатора Altium Mixed Sim на русском языке [2].

Модели более сложных логических устройств должны быть построены на основе перечисленных базовых моделей.

Таблица 1. Базовые модели логических устройств

Тип модели SPICE	Описание типа модели
d_buffer	Цифровой буфер шириной в один разряд
d_inverter	Цифровой инвертор шириной в один разряд
d_and	Цифровой вентиль типа И
d_nand	Цифровой вентиль типа И-НЕ
d_or	Цифровой вентиль ИЛИ
d_nor	Цифровой вентиль ИЛИ-НЕ
d_xor	Цифровой вентиль ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ
d_xnor	Цифровой вентиль ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ
d_tristate	Цифровой буфер с третьим состоянием
d_pullup	Цифровой подтягивающий резистор к положительному полюсу питания
d_pulldown	Цифровой подтягивающий резистор к отрицательному полюсу питания
d_open_c	Цифровой буфер с открытым коллектором
d_open_e	Цифровой буфер с открытым эмиттером
d_dff	D-триггер
d_jkff	JK-триггер
d_tff	T-триггер
d_srff	SR-триггер
d_dlatch	D-защёлка
d_sr latch	SR-защёлка
d_state	Автомат состояний
d_fdiv	Цифровой делитель частоты
d_ram	Память с произвольным доступом
d_source	Источник цифрового сигнала

Описание процесса разработки модели четырёхразрядного счётчика

Рассмотрим процесс разработки модели логического устройства – микросхемы четырёхразрядного счётчика Motorola MC14520B. Процесс разработки составной (сложной) модели состоит из нескольких этапов:

- поиск информации;
- построение структуры модели;
- выражение составных частей через модели имитатора;
- параметризация модели;
- идентификация параметров модели;
- верификация модели;
- формирование паспорта модели;
- разработка компонента интегрированной библиотеки.

Поиск информации

Началом разработки модели является сбор и анализ информации об объекте моделирования. Основой для раз-

купи **СЕЙЧАС**
плати **ПОТОМ**



ALTIUM
DESIGNER20 +



A365

Получите бессрочную лицензию Altium Designer On-Demand

+ годовую подписку A365

с рассрочкой платежа на 6 месяцев



Electronics Lifecycle
Management

Altium

www.altiumdesigner-20.ru



ООО "ЭЛМ" официальный дистрибьютор Altium Limited
Тел. +7 (495) 005-51-45 Email: info@elm-c.ru www.elm-c.ru

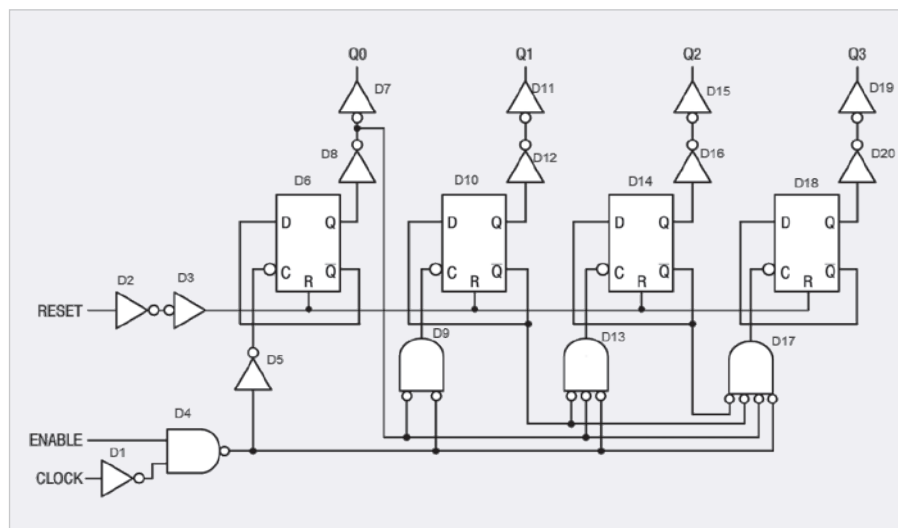


Рис. 1. Структурная схема вентиля микросхемы MC14520B из спецификации с текстовыми обозначениями элементов

Таблица 2. Зависимость входного напряжения от напряжения питания

Характеристика	Напряжение питания, В	Напряжение входа, В
Vil («0»)	5	1,5
Vil («0»)	10	3,0
Vil («0»)	15	4,0
Vih («1»)	5	3,5
Vih («1»)	10	7,0
Vih («1»)	15	11,0

работки моделей могут стать открытые источники информации о компонентах, например спецификация фирмы изготовителя. От разработчика модели требуется: определить структуру составных частей модели, выразить составные части при помощи доступных имитатору базовых моделей, выполнить параметризацию модели (если требуется), выполнить идентификацию параметров модели, произвести верификацию, сформировать паспорт модели для её пользователей.

В спецификации микросхемы MC14520B [3] указано, что она представляет собой сдвоенный четырёхразрядный счётчик импульсов с входами сброса и установки. На рисунке 1 представлена логическая схема половины счётчика. Этот рисунок будет являться основой для построения структуры модели счётчика.

Построение структуры модели

Логическая структура

Логическая структура, предлагаемая в спецификации, содержит следующие элементы:

- инвертор с инверсией на выходе;
- инвертор с инверсией на входе;

- элемент 2И–НЕ;
- элемент 2НЕ–И;
- элемент 3НЕ–И;
- элемент 4НЕ–И;
- динамический D-триггер с инверсией на входе С.

Необходимо выразить элементы логической структуры через базовые логические элементы, поддерживаемые имитатором. Рисунок, приведённый в спецификации, не содержит условных текстовых обозначений элементов, поэтому для улучшения изложения введём обозначения D1...D20 (см. рис. 1), а логическая схема будет выражена в электрической схеме в Altium Designer.

Поскольку прямые соответствия некоторым элементам логической схемы среди базовых моделей логических устройств имитатора установить невозможно, то придётся выразить таковые элементы через композицию базовых моделей. Это несколько меняет логическую схему, что может повлиять на задержки сигналов, поскольку в имитаторе каждая модель логического устройства имеет ненулевую задержку распространения. Для парирования дополнительной задержки распространения в электрической цепи можно применить один из двух приёмов: уменьшить задержку последующего элемента по пути распространения сигнала или добавить аналогичные элементы задержки в параллельные участки электрической цепи. Первый способ позволяет явно парировать задержку, второй способ предоставляет возможность выполнить выравнивание задержки на параллельных участках. При выполнении компенсации задерж-

ки следует отдать приоритет первому способу по той причине, что он связан с изменением параметров существующих элементов и не требует добавления дополнительных элементов, что снижает временные издержки на выполнение расчёта, так как не приводит к излишнему увеличению сложности электрической цепи.

При разработке структуры модели рекомендуется ориентироваться на допустимые значения электрических и временных параметров, соответствующих рабочей температуре +25°C. В спецификации указано, что типичные значения электрических параметров не должны использоваться при решении задач проектирования, а указаны для демонстрации потенциальной производительности микросхемы.

Структура входов

Информация о технологии изготовления и внутреннем устройстве микросхемы может быть использована для формирования структуры входов и выходов микросхемы.

В спецификации указано, что микросхема изготавливается по КМОП-технологии с P- и N-канальными транзисторами. Все входы имеют диодную защиту. Допустимый диапазон напряжения питания от 3 до 18 В. В спецификации указано, что входное напряжение зависит от напряжения питания микросхемы (см. табл. 2). Входы микросхемы имеют предельную ёмкость 7,5 пкФ. Предельный постоянный ток потребления для входов указан равным 0,1 мкА при напряжении питания 15 В.

Таким образом, для формирования структуры входа следует разработать схему замещения, которая должна быть чувствительна к напряжению питания, а также иметь диодную защиту. К сожалению, в спецификации отсутствует детальная информация о напряжении срабатывания входов от напряжения для типичной микросхемы, а приведены только предельные значения.

Если построить зависимость напряжения срабатывания входа от напряжения питания (см. рис. 2), то можно увидеть, что кривая зависимости меняет свой наклон примерно в области 10 В. Эти характеристики можно аппроксимировать при помощи полинома второй степени (см. линии тренда на рисунке 2). При этом для трёх точек коэффициент корреляции получается равным 1, и применение полино-

ма более высокой степени не является целесообразным. Полиномиальные функции следует использовать в качестве порога для сравнения входного напряжения и формирования логического состояния в выходном каскаде схемы замещения входа микросхемы.

Для формирования порогового сигнала можно использовать упрощающие приёмы, например кусочно-линейную функцию, определяемую таблицей значений координат точек. Кусочно-линейная функция ограничивает значения функции координатами точек, заданными на концах. Поскольку данные о напряжении срабатывания входов известны только для напряжения питания от 5 до 15 В, а допустимое напряжение питания составляет от 3 до 18 В, то применение кусочно-линейной функции в данных условиях не позволит выполнить экстраполяцию при напряжении питания от 3 до 5 В и от 15 до 18 В. В сравнении с кусочно-линейной функцией использование полиномиальной функции позволяет выполнять расчёт порога срабатывания для какого угодно напряжения питания.

При разработке модели часто применяется приём нормирования сигналов таким образом, чтобы логическая структура модели не была чувствительна к напряжению питания микросхемы, а пороги срабатывания входов и выходов масштабировались в зависимости от него. Таким образом, целесообразно определить для напряжения срабатывания, соответствующего логическому «0», величину 0 В, а для соответствующего логической «1» – величину 1 В. Исходя из этого допущения, необходимо добавить в модель входа элемент сравнения, выходное значение которого будет нормировано на указанный диапазон и приведено к потенциалу базовой цепи 0, относительно кото-

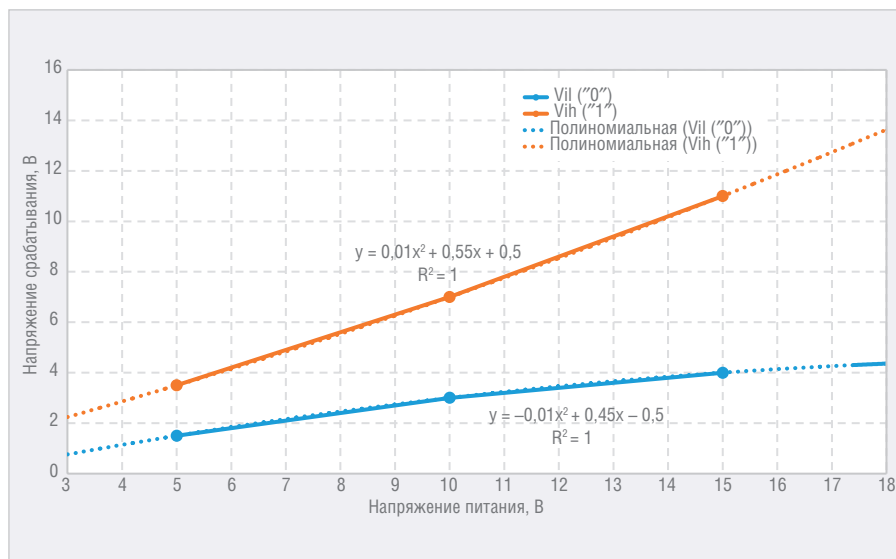


Рис. 2. Зависимость напряжения срабатывания от напряжения питания для входов микросхемы

рой работают базовые модели логических устройств.

Учитывая, что микросхема изготавливается по КМОП-технологии, можно утверждать, что собственное входное сопротивление внутренних цепей микросхемы чрезвычайно велико. Таким образом, ток потребления входов обеспечивается утечками в их элементах защиты. На это косвенно указывают сведения, приведённые в спецификации: допустимое входное напряжение составляет от VSS -0,5 В до VDD +0,5 В, ток потребления входов составляет ±0,1 мА при напряжении питания 15 В. Указанные свойства характерны для маломощных импульсных диодов, которые действительно могли быть изготовлены на едином кристалле микросхемы вместе с логической частью. Исходя из этого предположения и для избегания чрезмерного усложнения модели микросхемы, при верификации достаточно выполнить только оценку тока потребления вхо-

дов без необходимости точной имитации этого эффекта.

Таким образом, схема замещения входа микросхемы должна принять законченный вид (см. рис. 3). Элементы V1 и V2 реализуют диодную защиту. Элементы C1 и C2 реализуют входную ёмкость. Элементы U8 и U9 формируют пороговые напряжения логической «1» и логического «0» соответственно. Элемент U5 реализует перенос сигнала с потенциала узла VSS на потенциал базового узла 0. Элементы U6, U7, A1 (делитель) и A2 (ограничитель) выполняют нормализацию и приведение сигнала к диапазону от 0 до 1 В для последующей обработки логической структурой микросхемы. При этом уровню 0 В соответствует логический «0», а уровню 1 В – логическая «1».

Структура выходов

В спецификации указано, что все выходы имеют предельную нагрузочную способность до 10 мА постоянного тока. Выходное напряжение для

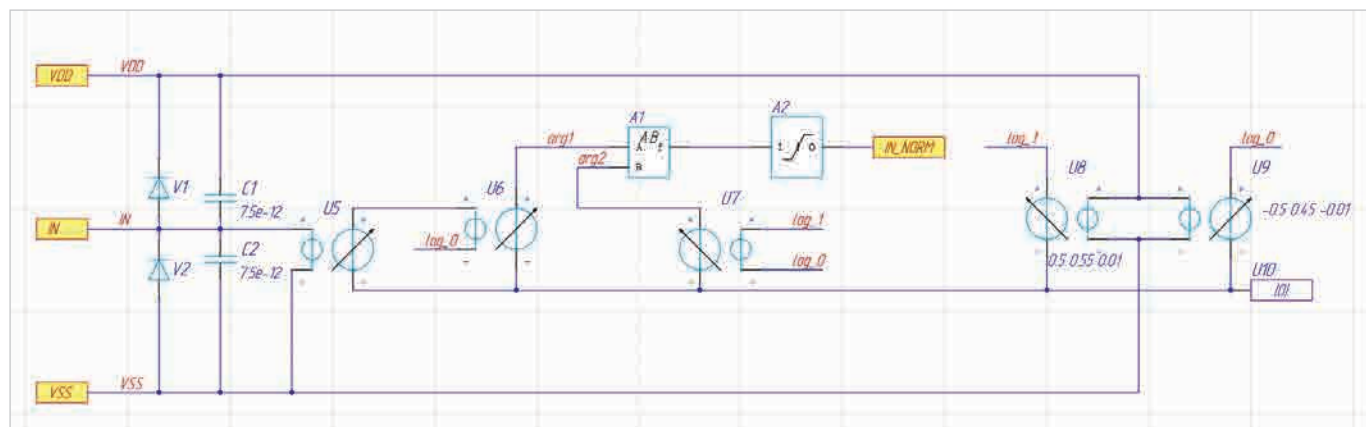


Рис. 3. Принципиальная схема функциональной группы входа (схема замещения)

Таблица 3. Зависимость предельного выходного напряжения от напряжения питания

Характеристика	Напряжение питания, В	Напряжение выхода, В
Vol («0»)	5	0,05
Vol («0»)	10	0,05
Vol («0»)	15	0,05
Voh («1»)	5	4,95
Voh («1»)	10	9,95
Voh («1»)	15	14,95

Таблица 4. Зависимость предельного выходного тока от напряжения питания

Характеристика	Напряжение питания, В	Ток выхода, А
Iol («0», Vol=0,4 В)	5	$0,51 \times 10^{-3}$
Iol («0», Vol=0,5 В)	10	$1,3 \times 10^{-3}$
Iol («0», Vol=1,5 В)	15	$3,4 \times 10^{-3}$
Ioh («1», Voh=2,5 В)	5	$-2,4 \times 10^{-3}$
Ioh («1», Voh=4,6 В)	5	$-0,51 \times 10^{-3}$
Ioh («1», Voh=9,5 В)	10	$-1,3 \times 10^{-3}$
Ioh («1», Voh=13,5 В)	15	$-3,4 \times 10^{-3}$

выходов (см. табл. 3) имеет зависимость от напряжения питания. Нагрузочная способность по току для выходов (см. табл. 4) имеет зависимость от напряжения питания. Сведения из таблиц 3 и 4 предоставляют информацию о предельных вольт-амперных характеристиках (ВАХ) выходов микросхемы в зависимости от напряжения питания.

Для имитации указанных характеристик удобно применить источники тока, управляемые напряжением. Микросхема имеет выходы активного типа. Это значит, что схема замещения такого выхода должна иметь два «плеча»: верхнее плечо имитирует P-канальный транзистор, исток которого соединён с цепью питания положительной полярности; нижнее плечо имитирует N-канальный транзистор, исток которого соединён с цепью питания отрицательной полярности.

Обозначим нагрузочную характеристику выхода как $I_{\text{вых}}$ и представим как линейную независимую суперпозицию функций, зависящих от напряжения на выходе, напряжения питания и требуемого логического состояния. Для верхнего плеча функция выходного тока принимает вид: $I_{\text{вых_вл}}(U_{\text{вых}}, U_{\text{пит}}) = f(U_{\text{пит}} - U_{\text{вых}}) \times g(U_{\text{пит}}) \times \text{Log}1$. Для нижнего плеча: $I_{\text{вых_вл}}(U_{\text{вых}}, U_{\text{пит}}; \text{Log}0) = f(U_{\text{вых}}) \times g(U_{\text{пит}}) \times \text{Log}0$. Функции f и g – неко-

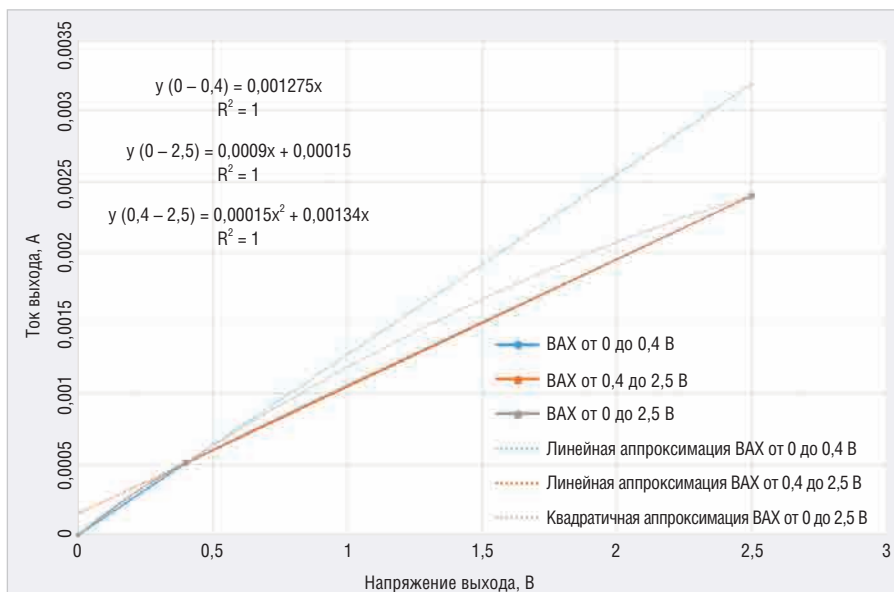


Рис. 4. Зависимость тока выхода от напряжения выхода

торые произвольные линейно независимые функции, которые определяют зависимость от напряжения на выходе и напряжения питания. Функции $\text{Log}0$ и $\text{Log}1$ определяют требуемое логическое состояние выхода ($\text{Log}0 = 1$, если выход должен принять состояние логический «0», и $\text{Log}0 = 0$ – для логической «1»; $\text{Log}1 = 1$, если выход должен принять состояние логическая «1», и $\text{Log}1 = 0$ для – логического «0»). Имея подобное представление, можно подобрать функции f и g такими, чтобы функция выходного тока соответствовала фактической выходной характеристике микросхемы наилучшим образом. Для точной идентификации функций f и g необходимо обладать массивом экспериментальных данных. Так как в текущем случае разработка модели ведётся только по сведениям из спецификации, представляющей предельные допустимые значения величин, и чрезвычайно высокая точность результата не требуется, достаточно попасть в порядок величины выходного тока, то функции f и g допустимо аппроксимировать полиномами первой или второй степени.

Из принятых определений для $I_{\text{вых_вл}}$ и $I_{\text{вых_вл}}$ видно, что функция g является общей для верхнего и нижнего плеч. При этом плечи по своим ВАХ должны быть симметричны. Таким образом, функцию g удобно реализовать в Altium Mixed Sim в форме зависимого источника напряжения, выраженного кусочно-линейной функцией. Значения функции g при этом будут описывать безразмерную величину – некоторый коэффициент, зависящий от напряжения питания. Для идентифи-

кации функции g удобно проводить измерение выходного тока при фиксированном напряжении выхода и изменением напряжении питания.

Идентификацию функций f и g будем выполнять следующим способом, при этом функцию f , имеющую размерность тока, будем для простоты изложений рассматривать для нижнего плеча (плечи имеют симметричные ВАХ):

1. идентифицируем функцию f тока выхода для напряжения питания 5 В в диапазоне от 0 до 2,5 В напряжения выхода с помощью аппроксимации полиномом второй степени;
 2. вычислим на основе полученного полинома промежуточные значения для напряжений выхода 0,5 и 1,5 В, одинаковых для напряжений питания 10 и 15 В;
 3. перейдём для функции f от напряжений к проводимости, что упростит построение схемы замещения;
 4. выполним интерполяцию для известных разных напряжений питания и одинаковых напряжений выхода для того, чтобы экстраполировать проводимость для предельных значений напряжения питания 3 и 18 В;
 5. вычислим значения функции g как отношение проводимости для напряжений питания 3, 5, 10, 15 и 18 В к значению проводимости для 5 В, что допустимо сделать, так как проводимость имеет прямую пропорциональность с протекающим током.
- На основании предположения, что ток выхода для напряжения выхода 0 В должен иметь ток 0 А, для напряжения питания 5 В получаем три точки на вольт-амперной характеристи-

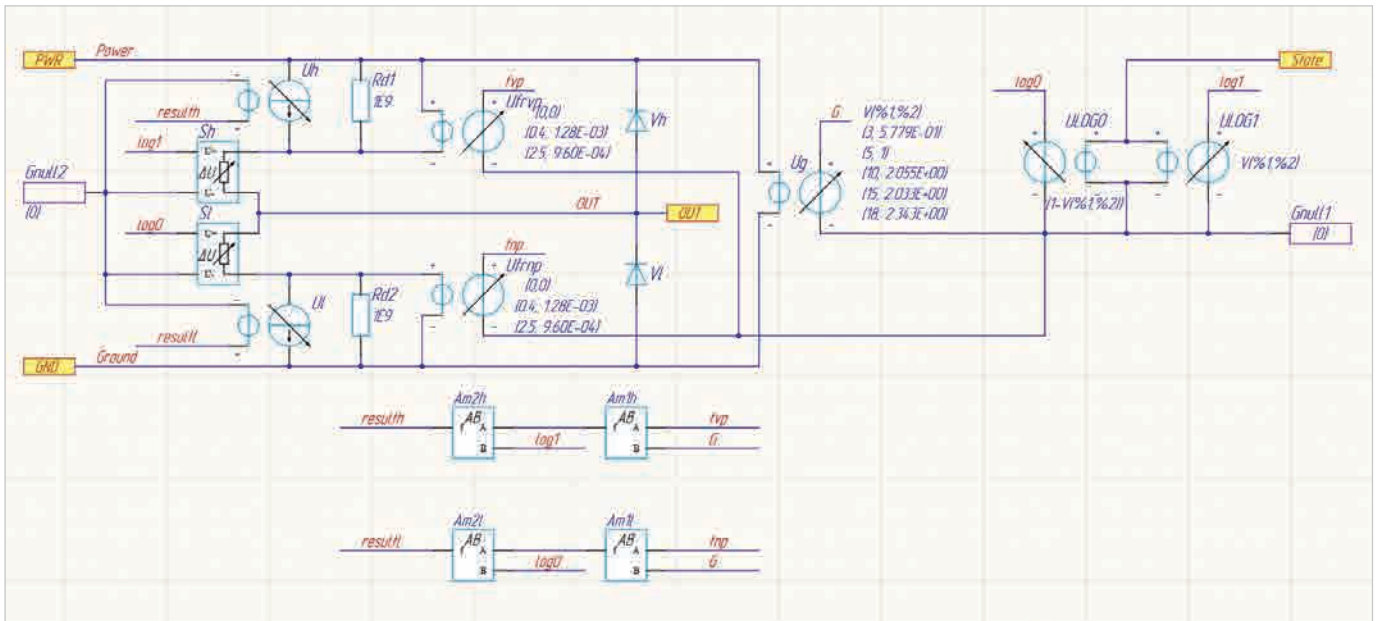


Рис. 5. Принципиальная схема функциональной группы выхода (схема замещения)

ке (0 В, 0 А), (0,4 В, $5,1 \times 10^{-4}$ А) и (2,5 В, $2,4 \times 10^{-3}$ А). На основании этих данных можно выполнить аппроксимацию ВАХ в области напряжения выхода от 0 до 2,5 В (см. рис. 4). На рисунке 4 видно, что линейная аппроксимация отдельных участков между соседними парами точек ВАХ даёт при экстраполяции к другой граничной точке довольно большой промах, а метод аппроксимации полиномом второй степени позволяет достичь коэффициента корреляции $R = 1$ и расположить все точки исходных данных на линии тренда. Уравнение полинома второй степени имеет вид: $y(x) = -1,5 \times 10^{-4} \times x^2 + 1,34 \times 10^{-3} \times x$.

На основании полученного полинома выполним интерполяцию тока выхода для напряжений выхода 0,5 и 1,5 В при напряжении питания 5 В. Для напряжения питания 10 В известен ток выхода при напряжении выхода 0,5 В. Воспользуемся полученным полиномом и рассчитаем значение тока для напряжения выхода 0,5 В при напряжении питания 5 В, получим значение $I_{\text{вых}}(U_{\text{вых}} = 0,5 \text{ В}, U_{\text{пит}} = 5 \text{ В}) = 6,325 \times 10^{-4}$ А. Для напряжения питания 15 В известен ток выхода при напряжении выхода 1,5 В, аналогично $I_{\text{вых}}(U_{\text{вых}} = 1,5 \text{ В}, U_{\text{пит}} = 5 \text{ В}) = 1,673 \times 10^{-3}$ А.

Для упрощения построения схемы замещения удобно использовать для формирования тока выхода источник тока, зависящий от собственного напряжения и управляемый некоторой профилирующей функцией, имеющей размерность проводимости $I_{\text{вых}}(U_{\text{вых}}, U_{\text{пит}}) = G(U_{\text{вых}}, U_{\text{пит}}) \times U_{\text{вых}}$, $G(U_{\text{вых}}, U_{\text{пит}}) = f(U_{\text{вых}}) \times g(U_{\text{пит}}) / U_{\text{вых}}$. Таким образом, определим отношение $f(U_{\text{вых}}) / U_{\text{вых}}$ как функцию $f_{\text{пров}}(U_{\text{вых}})$.

Эти сведения позволяют получить зависимость проводимости источника тока, формирующего ток плеча, используя данные одинаковых напряжений выхода и при различных напряжениях питания. Для получения значения проводимости следует разделить ток выхода на напряжение выхода (см. табл. 5).

Для построения функции $f_{\text{пров}}(U_{\text{вых}})$ для напряжения питания 5 В разделим значения тока выхода на напряжения выхода (приведены в таблице 4). В результате получим набор координат точек для представления в кусочно-линейной форме: (0 В, 0 А), (0,4 В, $1,275 \times 10^{-3}$ А), (2,5 В, $9,600 \times 10^{-4}$ А).

Пары точек из таблицы 5 для одинакового напряжения выхода позволяют выполнить линейную аппроксимацию и достаточно точно экстраполировать ближайшие предельные значения проводимости для напряжений питания 3 и 18 В. Для экстраполяции значения проводимости для напряжения питания 3 В используем значения проводимости для напряжений питания 5 и 10 В при напряжении выхода 0,5 В. Значение проводимости для напряжения питания 3 В и напряжения выхода 0,5 В равно $7,31 \times 10^{-4}$ См. Аналогично для экстраполяции значения проводимости для напряжения питания 18 В используем значения проводимости для напряжения питания 5 и 15 В при напряжении выхода 1,5 В. Значение проводимости для напряжения питания 18 В и напряжения выхода 1,5 В равно $2,6126 \times 10^{-3}$ См.

Так как функция g определяет коэффициент пропорциональности для

Таблица 5. Проводимость выхода при различных напряжениях выхода и питания

Напряжение питания, В	Напряжение выхода, В	Проводимость, См
5	0,5	$1,265 \times 10^{-3}$
5	1,5	$1,115 \times 10^{-3}$
10	0,5	$2,600 \times 10^{-3}$
15	1,5	$2,267 \times 10^{-3}$

тока, а значит и проводимости, в зависимости от напряжения питания, то представим значения координат узловых точек как отношение проводимости для определённого напряжения к проводимости для напряжения 5 В. При этом воспользуемся значениями проводимости для соответствующих напряжений выхода 0,5 и 1,5 В при напряжении питания 5 В. В результате для определения функции g получим следующие точки: (3 В, $5,779 \times 10^{-1}$), (5 В, 1), (10 В, 2,055), (15 В, 2,033), (18 В, 2,343).

Выразить все изложенные выше построения можно в виде схемы замещения выхода (см. рис. 5). Элементы Vh и Vl реализуют диодную защиту. Элементы Sh, Uh, Rd1 реализуют верхнее плечо выходного каскада. Элементы Sl, Ul, Rd2 реализуют нижнее плечо выходного каскада. Элементы Rd1 и Rd2 являются фиктивными для обеспечения сходимости расчёта. Причина их добавления в схему замещения заключается в том, что при запертых ключах Sh и Sl и при разомкнутой цепи вывода порта «OUT» формируется условные разрывы электрической цепи для источников тока Uh и Ul, которые могут иметь ненулевое значение. Это

Таблица 6. Предельный ток питания

Наименование характеристики	Ток потребления питания, А
$I_{DD} (U_{пит}=5 В)$	5×10^{-6}
$I_{DD} (U_{пит}=10 В)$	10×10^{-6}
$I_{DD} (U_{пит}=15 В)$	20×10^{-6}

Таблица 7. Зависимость тока питания $I_{пит}$ от напряжения питания

Напряжение питания, В	Ток питания, А
3	$4,4 \times 10^{-6}$
5	5×10^{-6}
10	10×10^{-6}
15	20×10^{-6}
18	$28,4 \times 10^{-6}$

приводит к срыву расчёта по причине отсутствия сходимости: при бесконечно большом сопротивлении цепи ненулевой ток вызывает бесконечно большое значение напряжения. Чтобы обеспечить протекание тока, требуется добавить резисторы с заведомо большим, но конечным сопротивлением. Элементы ULOG1 и ULOG0 формируют пороговые напряжения логической «1» и логического «0» соответственно из сигнала состояния, приводимого на порт «State». Элементы Gnull1 и Gnull2 реализуют потенциал базового узла 0. Все математические операции отсчитываются от потенциала базового узла 0. Элементы Ufrvp, Ufrnp реализуют огибающую ВАХ вывода микросхемы для напряжения 5 В – функцию $f_{чрв}$ – для верхнего и нижнего плеча соответственно. Элемент Ug реализует коэффициент умножения тока для напряжения питания – функцию g. Элементы Am1h, Am2h, Am1l, Am2l нужны для выполнения математических операций умножения при вычислении функции сопротивления для каждого плеча выхода (формула вычисления приведена выше). Значению порта «State», соответствующего 0 В, соответствует логический «0» на выходе, значению порта «State2», соответствующего 1 В, – логическая «1» на выходе.

Структура узла регулирования потребления тока питания

Потребление тока питания в спецификации указано зависящим от напряжения питания.

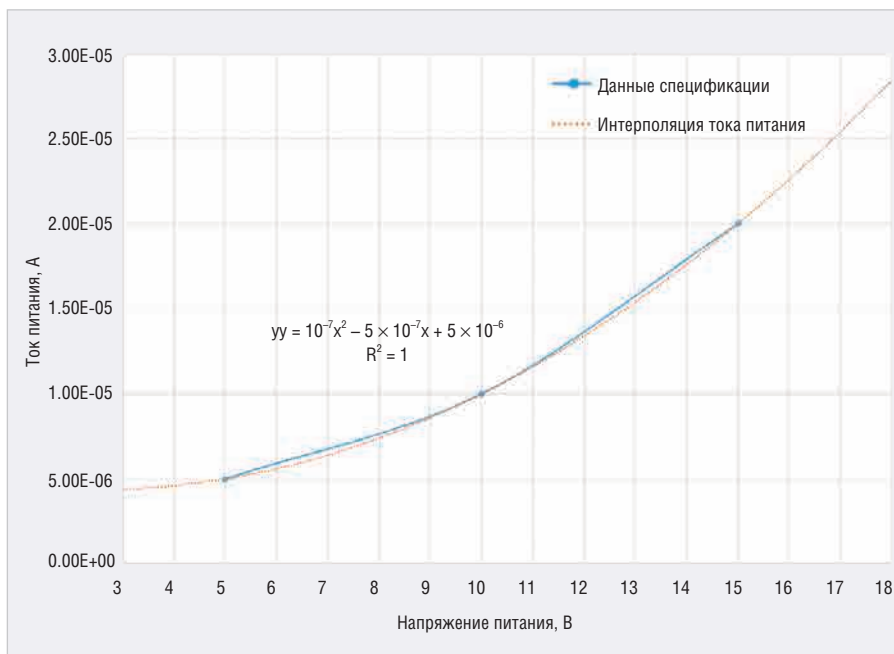


Рис. 6. Зависимость тока потребления от напряжения питания

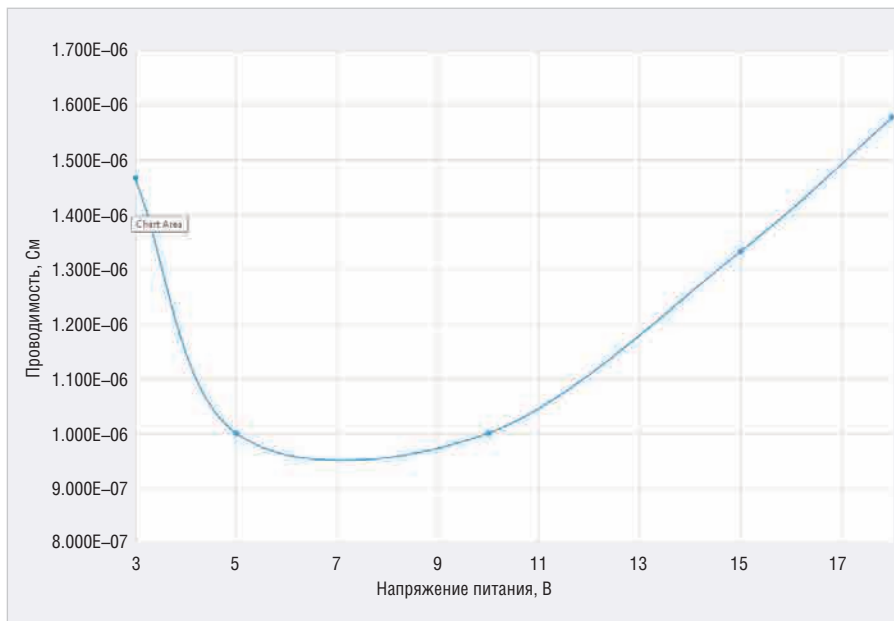


Рис. 7. Зависимость проводимости узла регулирования тока питания от напряжения питания

Поскольку в спецификации указано, что типичные значения должны быть использованы только для оценки производительности, то для построения схемы замещения узла потребления тока питания следует использовать предельные максимальные значения. В спецификации приведены сведения для напряжений питания 5, 10 и 15 В (см. табл. 6).

Однако диапазон допустимого напряжения питания составляет от 3 до 18 В. Следовательно, для получения сведений о токе питания для напряжения питания 3 и 18 В данные спецификации требуется экстраполировать. Данные спецификации по

току потребления удобно аппроксимировать полиномом второй степени. В результате аппроксимации уравнение полинома имеет вид: $I_{пит}(U_{пит}) = 10^{-7} \times U_{пит} \times U_{пит} - 5 \times 10^{-7} \times U_{пит} + 5 \times 10^{-6}$ А, достигнутый коэффициент корреляции $R=1$ (см. рис. 6). Аппроксимация позволяет экстраполировать данные для напряжения питания $U_{пит}=3 В$ и $U_{пит}=18 В$. Для $U_{пит}=3 В$ экстраполированное значение максимального тока питания $I_{пит}=4,4 мкА$, для $U_{пит}=18 В$ экстраполированное значение максимального тока питания $I_{пит}=28,4 мкА$. Совокупность данных по току потребления можно свести в таблицу (см. табл. 7).

Сведения из таблицы 7 можно использовать для представления потребления тока питания в табличной форме, поскольку такая форма является более удобной для последующей модификации модели. Построение узла регулирования тока питания удобно выполнить в форме источника тока, линейно зависящего от падения напряжения на своих выводах. При этом токи питания, приведённые в таблице 6, следует привести к напряжению питания, чтобы получить значение сопротивления узла питания для каждого напряжения питания (см. рис. 7).

Результат можно представить в виде схемы замещения (см. рис. 8). Элемент U_r реализует таблицу сопротивления узла питания в зависимости от напряжения питания. Элемент U_{lc} реализует сопротивление микросхемы току питания, зависящее от напряжения питания.

В следующих частях статьи будут рассмотрены параметризация модели, вопросы идентификации и верификации. Отдельное внимание будет уделено разработке компонента интегрированной библиотеки.

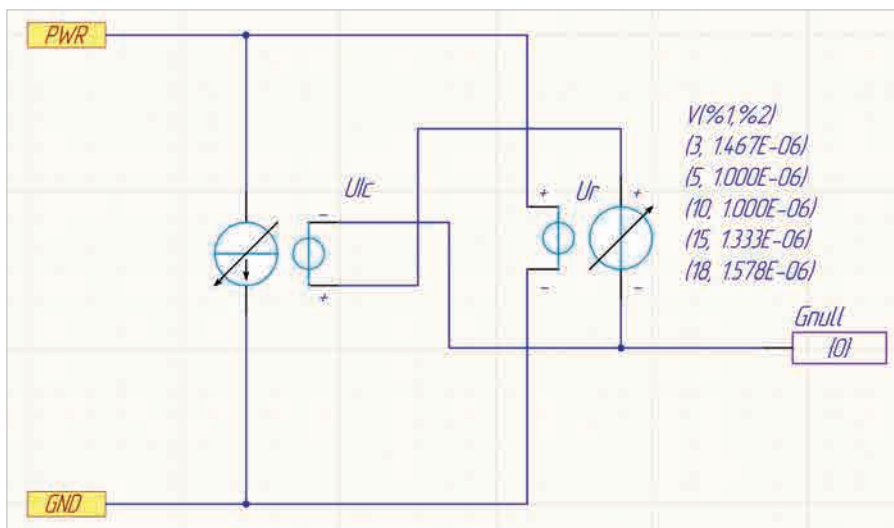


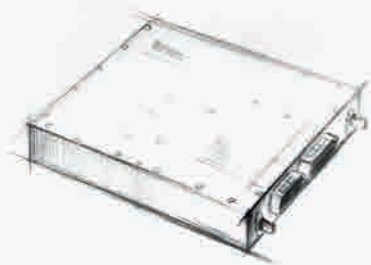
Рис. 8. Принципиальная схема функциональной группы узла регулирования тока питания (схема замещения)

Литература

1. Расширение функциональных возможностей Altium Designer. URL: <https://www.altium.com/ru/documentation/altium-designer/extending-altium-designer>.
2. Altium Mixed Sim. Руководство пользователя Altium Designer. URL: <https://resources.altium.com/sites/default/files/2020-05/Altium Mixed Sim ->
3. Руководство пользователя Altium Designer.pdf.
3. MC14518B, MC14520B. Dual up counter. Сайт компании On Semiconductor (лист спецификации в формате pdf). URL: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC14518B-D.PDF>.
4. Библиотека базовых моделей Sim Lib GOST. URL: <https://www.altium-ru.com/sites/default/files/attachments/Sim%20Lib%20GOST.zip>.



НОВЫЕ МОЩНОСТИ — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ



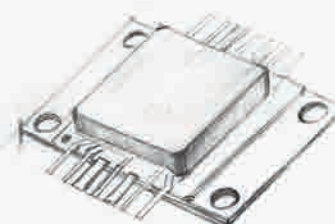
СВЧ-усилители мощности

- Диапазон частот: от HF до Ku
- Выходная мощность: 2...1000 Вт
- Типовое усиление: 25...65 дБ
- Рабочее напряжение: 28, 40 В



Многофункциональные CMOS MMIC

- Диапазон частот: S, C, X, Ku
- Выходная мощность: до 15 Вт
- Исполнение: QFN-корпус



GaN и GaAs MMIC

- Диапазон частот: 2...18 ГГц
- Выходная мощность: до 12 Вт
- Типовое усиление: 10...23 дБ
- Исполнение: QFN-корпус/кристалл



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

(495) 232-2522 ■ INFO@PROCHIP.RU ■ WWW.PROCHIP.RU

ПРОЧИП