

Ами ГОРОДЕЦКИЙ, к. т. н. (JTAG.TEST)  
amigo@jtag-test.ru

## Новый JTAG-стандарт IEEE 1149.7

Событием февраля нынешнего года в мире тестирования стала формальная публикация международным институтом IEEE нового JTAG-стандарта, который отныне будет известен под именем 1149.7, или просто «точка-7».

Работа над этим новым стандартом велась длительное время группой экспертов и рядом ведущих электронных компаний, и с его появлением связывались значительные ожидания специалистов как в области разработки и производства интегральных микросхем (ИС), так и в области разработки и производства печатных плат. Мы в дальнейшем подробно обсудим этот новый стандарт во всех деталях, предлагаемая же колонка является кратким обзором побудительных мотивов разработки стандарта и его основных параметров.

Следует сразу предупредить энтузиастов революционных перемен: традиционный стандарт граничного сканирования JTAG, или 1149.1 [ПЭ. 2007. № 5], успешно применяемый в тестировании более двадцати лет, жив, эффективен и останется одной из ведущих технологий тестирования в сколько-нибудь обозримом будущем. Новый стандарт 1149.7 с довольно длинным названием «Архитектура граничного сканирования и порт тестового доступа с усовершенствованными функциями и сокращенным числом контактов» вовсе не призван заменить «старый JTAG», а напротив, базируется на нем, представляет собой его расширение, полностью с ним совместим, и его задачи вполне эволюционны — улучшить характеристики 1149.1 и расширить области его применения. Основные отличия стандарта 1149.7, называемого также cJTAG (compact JTAG), следующие:

- Уменьшение до двух числа обязательных контактов.
- Соединение «звездой» вместо «цепочки».
- Прямая адресация микросхем.
- Обход микросхем на уровне чипа.
- Дополнительные возможности управления напряжениями питания.

К главным преимуществам нового стандарта относятся:

- Упрощение связей между микросхемами, обеспечивающих их тестопригодность.

- Усовершенствование тестовой поддержки многоядерных микросхем.
- Улучшение возможностей отладки тестов.

Стандарт 1149.7 охватывает две группы характеристик, каждая из которых подразделяется на классы. Первая группа характеристик представляет собой расширение стандарта 1149.1, то есть определяет ряд усовершенствованных методов тестирования, реализация которых в рамках традиционного стандарта JTAG даже не предполагалась. Вторая группа характеристик определяет двухконтактный протокол функционирования таких усовершенствованных JTAG-структур. Стандарт 1149.7 подразделяется на шесть операционных классов, каждый из которых строится на базе функций, задаваемых предыдущим классом. Первые четыре класса, от T0 до T3, относятся к первой группе характеристик, а два класса, T4 и T5 — ко второй группе.

Класс T0 определяет совместимость ИС, поддерживающих стандарт 1149.1 (ИС.1), и ИС, поддерживающих стандарт 1149.7 (ИС.7), в рамках одной и той же схемы. Правила совмещения класса T0 предполагают использование n-разрядного РК и одноразрядного РО для выполнения команды обхода BYPASS, 32-разрядный РИ необходим [ПЭ. 2007. № 6], а обязательные команды те же, что и в стандарте 1149.1. При задании общего сброса TLR все одновременно управляемые ИС.7 реализуют одноразрядное DR-сканирование, выполняя обычную команду BYPASS.

Характеристики класса T1 определяют так называемые уровни управления ИС.7, которых вовсе не существует для ИС.1. Эти уровни управления являются основой построения всех функций, определяемых классами T1–T5, и базируются они на той же диаграмме состояний контроллера TAP, хорошо нам знакомой по традиционному стандарту 1149.1 [ПЭ. 2007. № 5].

Введение уровней управления ИС.7 (будем их обозначать далее как УУ ИС.7) является

ключевым новшеством стандарта 1149.7, которое заключается в использовании последовательностей состояний диаграммы TAP в сочетании с подсчетом количества обходов состояния Shift-DR, или, если угодно, числа невхождений в это состояние диаграммы TAP. УУ ИС.7 используют команды BYPASS или IDCODE совместно с сериями 1149.1-совместимых последовательностей, которые мы будем называть нулевым DR-сканированием (zero-bit DR scans), или ZBS. Такое ZBS-сканирование заключается (внимание, это важно!) в смене состояний диаграммы TAP в обход состояния Shift-DR, то есть переход от состояния Select-DR-Scan к Capture-DR и далее к Exit1-DR, а оттуда — к Update-DR. Оба этих последних перехода выполняются при удержании TMS = 1.

Применение УУ ИС.7 предполагает наличие некоего ZBS-счетчика числа выполненных ZBS-сканирований, всегда начинающихся в состоянии TLR диаграммы порта TAP, поскольку именно в этом состоянии происходит инициализация регистров команд (PK) обеими командами — BYPASS и IDCODE. Начиная с ZBS = 0, этот счетчик инкрементируется при каждом следующем ZBS-сканировании. Если происходит DR-сканирование, включающее в себя прохождение состояния Shift-DR, но содержимое счетчика не равно нулю, его инкрементирование блокируется, и никакие последующие ZBS-сканирования счетчик не включают. Блокирование ZBS-счетчика означает, таким образом, запоминание числа последовательно выполненных ZBS-сканирований,

Таблица. Уровни управления IEEE 1149.7

УУ ИС.7	Функция перегрузки	DR-сканирование
0–1	Нет	Системное
2	Команды управления	Бит обхода на уровне чипа
3	Нет (резерв)	Резерв
4–5	Добавочные пути сканирования	Определяется пользователем
6–7	Используется системой отладки	Определяется пользователем

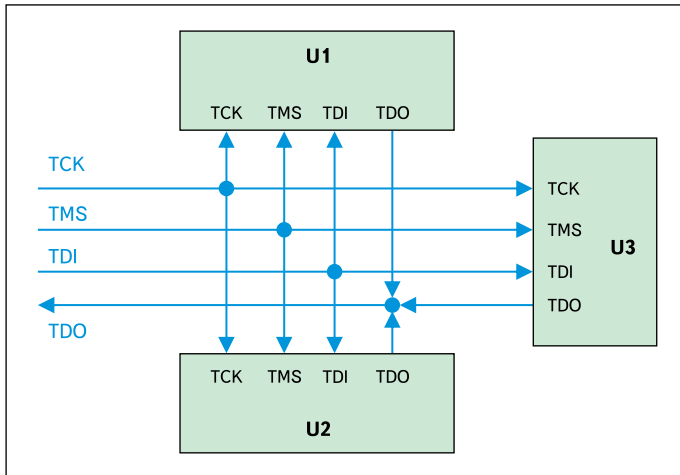


Рис. 1. Соединение ИС.7 «звездой» в формате JSCAN3

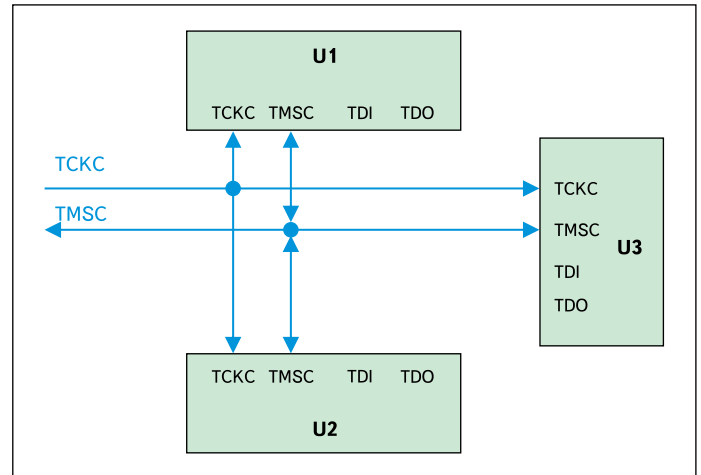


Рис. 2. Передача данных по цепи TMSC

иными словами — запоминание одного из уровней управления ИС.7, принимающих значения от 1 до 7.

Сброс ZBS-счетчика происходит при наступлении одного из следующих событий: прохождение состояний Select-IR-Scan или Test-Logic-Reset диаграммы TAP, а также выдача определенных команд, связанных с синхронизацией операций, определяемых классами T4 и T5. Учет содержимого ZBS-счетчика, или УУ ИС.7, не только меняет функцию команд BYPASS и IDC CODE, как указано в столбце «Функция перезагрузки» таблицы УУ, но и влияет на изменение пути DR-сканирования.

Например, на уровне управления 2 активизируются так называемые команды управления, подразумевающие выполнение двух последовательных DR-сканирований и представляющие собой 10-разрядные слова, старшие 5 разрядов которых (CP1) — это код операции, а младшие (CP2) — собственное операнд. Само содержимое этих слов формируется динамически путем подсчета (с округлением до 5 разрядов) числа проходов через состояние Shift-DR диаграммы TAP между состояниями Capture-DR и Update-DR при DR-сканировании. Иерархия управления структурой 1149.7 с учетом содержимого ZBS-счетчика как раз и образует ту основу, на которой базируется двухконтактный протокол, определяемый классами T4 и T5. Поскольку команды управления представляют собой некоторую функцию последовательности переходов между состояниями диаграммы TAP, для управления протоколом требуется лишь два контакта — TCK и TMS.

Кроме определения уровней управления, класс T1 определяет следующие 4 режима выключения питания ИС.7, что может быть критично при тестировании самих ИС и ПП, а также при отладке тестов:

- Выключение питания, если сигнал TCK находится на уровне «лог. 1» более 1 мс.
- Выключение питания, если сигнал TCK находится на уровне «лог. 1» более 1 мс при нахождении TAP в состоянии сброса TLR.

- Всегда включено.

Класс T2 определяет механизм обхода ИС.7 на уровне чипа, который предназначен для укорачивания цепочек сканирования при разработке тестов сложных схем. Этот же класс обуславливает механизм так называемого горячего включения (hot-connect) ИС.7. Для реализации этих новых возможностей класс T2 определяет три формата JTAG-сканирования:

- JSCAN0 — операции, совместимые с традиционным JTAG-стандартом 1149.1.
- JSCAN1 — обеспечивает защиту при горячем включении и отключении ИС.7, обуславливая обход всех подключенных ИС.7 при включении питания по умолчанию. Этот формат предназначен для защиты отдельных портов TAP от непреднамеренных подключений и предотвращения повреждения функциональных ядер при горячем включении.
- JSCAN2 — обеспечивает обход ИС.7 на уровне чипа для последовательных цепочек ИС. Этот механизм работает как некий заслон безопасности (firewall), разрешающий доступ к порту ИС.7 только после выполнения заданной последовательности операций, содержащих, кроме прочего, проверку стабильности электрических соединений.

Характеристики класса T3 определяют возможность соединения ИС.7 «звездой», что является определенным упрощением стандарта 1149.1, предполагающего соединение ИС только «в цепочку». Соединение «звездой» обеспечивает новый формат JSCAN3 (рис. 1), для определения которого в классе T3 используется специальный регистр «Только для записи». Стандарт 1149.7 предусматривает также возможность адресации каждой из ИС.7 при соединении их «звездой».

Операции сканирования в стандарте 1149.7 при соединении «звездой» функционально эквивалентны последовательным сканирова-

ням, при этом прохождение состояний Capture-xR и Update-xR в группе из нескольких ИС.7 синхронизировано. Смена данных сканирования в каждом из портов TAP группы происходит в интервале времени между этими состояниями, а выборка и блокирование этих портов выполняется без захода в состояния Capture-xR и Update-xR. Для обеспечения возможности адресации при соединении «звездой» каждой ИС.7 присваивается идентификатор CID, для чего используется специальная итеративная арбитражная схема.

Класс T4 вводит ряд дополнительных форматов сканирования для поддержки протокола передачи тестовых данных при помощи только двух контактов порта TAP вместо четырех. Контакты передачи данных TDI и TDO не используются вовсе, а тестовые данные передаются по теперь уже двунаправленной цепи TMSC (рис. 2). Кроме того, класс T4 определяет ряд оптимизированных режимов ввода тестовых данных, позволяющих вводить только абсолютно необходимые данные, без повторов и избыточности.

Функции класса T5 предназначены в основном для разработчиков программного обеспечения, использующих протокол JTAG в целях отладки. Основное преимущество этих функций заключается в сокращении числа контактов, предназначенных только для отладки, а также в использовании контактов TMSC и TCKC для реализации разнообразных пользовательских протоколов.

В заключение следует отметить, что наряду с полной совместимостью с традиционным стандартом 1149.1 новый стандарт 1149.7 обеспечивает сокращение числа контактов сложных ИС типа SOC, массово применяемых последнее время в потребительской электронике, выключение питания ИС в схемах с пониженным потреблением, упрощает производство и тестирование многоядерных модулей и ИС с многоядерными чипами, а также существенно повышает эффективность процедур отладки. ■