

## КАК РАЗРАБАТЫВАТЬ IBIS-МОДЕЛИ



Хотя изготовление IBIS-моделей по измерениям возможно и дает наилучший результат, это не только не просто, но и недешево. Этот процесс требует большого количества специального оборудования, мастерства и информации о приборе, которой часто отсутствует, если, конечно, у вас нет друзей среди разработчиков имс. наилучшими на сегодняшний день остаются модели, разработанные производителями интегральных схем на основе моделирования из качественной аналоговой модели.

IBIS-модели (I/O Buffer Information Specification) используются для анализа целостности сигналов и перекрёстных искажений в цифровых печатных платах. Данная спецификация описывается стандартами EIA и ANSI (656-A) и поддерживается большинством производителей интегральных схем, поставляющих на рынок IBIS-модели своих изделий. С другой стороны, данный формат поддерживается почти всеми системами проектирования и моделирования.

Что представляет собой формат IBIS? Это формат внешнего описания электронного устройства как "чёрного ящика" без учёта его внутренней структуры и особенностей функционирования. Упрощённо этот формат можно представить как попытку представить интегральную микросхему в виде резистивной матрицы из комплексных сопротивлений.

Как правило, параметры IBIS-модели получаются на основе знания вольтамперной характеристики для различных логических состояний выводов по постоянному току, паразитных параметров корпуса и передаточных характеристик на идеальной резистивной нагрузке. Такой подход означает, что получить IBIS-модель можно либо выполнив ряд тестовых измерений при соответствующих условиях, либо выполнив полное SPICE-моделирование внутренней схемы устройства.

### ПРОБЛЕМА

В идеальном случае все поставляемые на рынок электронные компоненты должны иметь разработанные производителем IBIS-модели. И хотя имеющиеся библиотеки достаточно обширны, всегда существует вероятность, что какое-либо изделие (например, новое) будет в них отсутствовать. Кроме того, качество имеющихся моделей может быть недостаточным.

Если у какой-либо микросхемы IBIS-модель отсутствует, то как правило, отсутствует и точная SPICE-модель. Математическое моделирование в этом случае становится невозможным, а значит разработчику не остаётся ничего другого, как жертвовать точностью или самостоятельно строить IBIS-модель на основе физических измерений. В последнем случае, он сможет получить корректную модель конкретного устройства.

Хотя теория, стоящая за физическими измерениями, необходимыми для получения IBIS-модели, является достаточно простой, её практическая реализация может быть значительно затруднена. Учёт паразитных эффектов, конфигурирование микросхемы для получения правильных состояний на выводах, точное определение высокоскоростных передаточных характеристик и данных, изменяющихся в процессе её функционирования, могут оказаться очень непростым, а то и вовсе невозможным делом.

Представим, что нам требуется разработать IBIS-модель некоторой воображаемой микросхемы, упакованной в корпус PGA с 200 выводами, что нормально для большинства современных микроконтроллеров.

Микросхема имеет пару многоуровневых шин данных с тремя состояниями, шины адреса и управления и многое другое. Рассмотрим пошаговую процедуру создания IBIS-модели.

### 1. Определение типов выводов

Во-первых, никак не хотелось бы обмерять все 200 выводов. В идеале обмерить бы только один вывод каждого I/O типа (например, драйвер 20 мА, двунаправленный вывод, КМОП-приёмник). Для этого необходимо найти в сопроводительной документации соответствующую информацию и сгруппировать выводы по I/O типу. Даже если это не всегда возможно, можно надеяться, что поведение различных выводов одной шины будет идентичным. Для нашего случая, будем считать, что нам удалось уменьшить число типов выводов до десяти.

### 2. Установка выводов в нужное состояние

Начнём строить модель с выводов типа DATA0. Из документации нам известно, что они являются двунаправленными 3,3-В КМОП-драйверами. Первое измерение, которое мы будем проводить – это снятие вольтамперной характеристики вывода в различных логических состояниях (LOW, HIGH, HIGHZ) в диапазоне рабочих напряжений, например, от -1 до +4,3 В. Первая проблема, с которой мы столкнёмся, заключается в том, как обеспечить нужное логическое состояние вывода?

Если для управления исследуемым прибором нам потребуется построить некоторую схему, то это может оказаться довольно трудно, дорого и может потребовать дополнительного времени. Если предполагается обмерять несколько микросхем разного типа, то это может оказаться неоправданно дорого. Однако, предположим, что наше устройство поддерживает периферийное сканирование согласно промышленному стандарту JTAG Boundary Scan IEEE 1149.1 и позволяет управлять состоянием своих выводов через имеющийся в кристалле последовательный порт с обычного персонального компьютера.

### 3. Конфигурирование тестируемой ИМС

В дополнение к управляющим линиям JTAG, нам потребуется подвести к исследуемому устройству ряд других важных сигналов, например, как минимум, одно напряжение питания, землю и измерительный зонд. Если мы собираемся тестировать только одно устройство, то все эти сигналы можно завести непосредственно к нужным выводам. Если предполагается обмер нескольких однотипных изделий (особенно в корпусах BGA или SOIC), то будет полезно изготовить тестовую плату с колодкой и разъёмом для подключения.

### 4. Измерение вольтамперных характеристик

Завершив все подготовительные операции, мы можем подать на исследуемое устройство питание и установить выводы DATA0 в нужное состояние. Сначала измерим вольтамперные характеристики, для чего установим вывод DATA0 в состояние с низким уровнем (LOW), начнём изменять напряжение на нём и

одновременно измерять ток. Для этого лучше всего использовать программируемый источник напряжения, который сможет должным образом варьировать напряжение и защитить микросхему от перегрузки по току. Сохраним все полученные данные и повторим все измерения для состояний с высоким уровнем (HIGH) и высоким импедансом (HIGHZ).

#### 5. Проведение измерений на переменном токе

Для формирования IBIS-модели необходимо выполнить измерения ряда переходных характеристик. Такие характеристики представляют собой регистрацию формы выходного сигнала драйвера на идеальной резистивной нагрузке. Для микросхем стандарта КМОП такая нагрузка представляет собой два резистора по 50 Ом на "землю" и на питание. Причём для исключения паразитных эффектов нагрузка должна быть подключена непосредственно к выводу устройства.

Число точек изменения по времени должно быть достаточным для получения правильного представления о форме переднего и заднего фронтов. Если вывод имеет время нарастания порядка 1 нс, то число временных отсчётов должно быть не меньше 10. Все снятые переходные характеристики должны быть засинхронизированы относительно начального момента времени, что может быть сделано с помощью тактового генератора JTAG.

#### 6. Паразитные параметры выводов

Для получения качественной IBIS-модели нам нужно знать паразитную ёмкость и индуктивность вывода. Предположим, что эти данные приведены в документации на изделие.

#### 7. Построение модели

Теперь, когда у нас имеются все необходимые данные, мы можем конвертировать их в модель IBIS. Само по себе это непросто, и нам потребуется специальная программа. Однако, по мнению автора, идеального пакета для этой задачи сейчас на рынке не существует и, возможно, вам придётся написать такую программу самостоятельно. Самой сложной задачей здесь будет получение откорректированной вольтамперной характеристики, необходимой для формирования IBIS-модели.

### РЕЗУЛЬТАТ

Итак, мы получили IBIS-модель. Насколько она хороша? Чем мы можем это подтвердить? В формате IBIS мы можем вводить данные как минимальные, типовые или максимальные. Как охарактеризовать наши данные, ведь мы провели всего одно измерение? Опыт показывает, что большинство современных микросхем имеют очень малые отклонения параметров от типового значения и поэтому единственное измерение даёт адекватные данные для типовой модели.

Насколько точны были наши измерения, и правильно ли была построена измерительная установка? Все ли паразитные эффекты мы учли? Не было ли индуктивных петель? Правильно ли были выбраны размеры и полоса пропускания зонда? Какова точность измерения переходной характеристики? Давал ли наш JTAG-коммутатор правильную и надёжную синхронизацию с опорными точками?

Ответы на эти вопросы можно получить или от эксперта в этой области, или на основе дополнительных экспериментов.

### ПОДВОДНЫЕ КАМНИ

При проведении измерений мы сделали ряд предположений:

- Мы предположили, что микросхема соответствовала требованиям JTAG. Это очень оптимистичное предположение, так как обычно периферийное сканирование поддерживают не более 50% сложных компонентов.
- Измерение переходных характеристик высокоскоростной микросхемы требует очень хорошего стенда и опытного персонала.
- Управление исследуемым устройством и автоматическая регистрация данных являются очень непростым делом, но они необходимы, если предполагается обработка большого количества изделий.
- Мы предположили, что поведение микросхемы может быть полностью описано на основе простых измерений фронтов. Для технологий это допущение неверно.

Если любое из этих предположений неверно, мы получили плохую IBIS-модель или вообще ничего не получили.

### УСЛУГИ ТРЕТЬИХ ФИРМ

Ряд независимых компаний специализируются на создании IBIS-моделей по результатам измерений. Клиент передаёт им свои изделия (и деньги) и получает готовую модель. Из числа таких компаний можно отметить фирму DYNAMICS Research Corporation ([www.drc.com](http://www.drc.com)).

### СТОИМОСТЬ

Из приведённого выше перечня операций и оборудования вполне разумно заключить, что формирование IBIS модели даже для чипа умеренной сложности займёт не менее трёх недель и будет стоить от 10 до 20 тысяч долларов. Для большинства конечных пользователей эта цифра выходит за пределы разумного диапазона. Чтобы снизить стоимость, фирма должна сделать что-либо для компенсации, например, организовать многократную продажу полученной модели или предоставления иных услуг. Именно это объясняет, почему нет множества измерительных компаний.

Конечно, лучше всего не заниматься самостоятельным созданием IBIS-моделей, а получать их откуда-нибудь, и лучше, чтобы эта модель была получена на основе прямых измерений. Большинство компаний-производителей интегральных схем тратят огромные средства, чтобы получить высокоточные аналоговые модели, которые хорошо коррелируются с кремниевым оригиналом. Эти низкоуровневые модели (в SPICE или некотором другом подходящем внутреннем формате) используются разработчиками микросхем для создания или моделирования внутренних схем. Таким образом, такую аналоговую модель можно считать выполненной по коррелированным измерениям. С помощью программ моделирования по ним могут быть созданы IBIS-модели. Такой путь проще, чем прямые измерения, так как устраняются проблемы, связанные с точностью и неидеальностью компонентов. Более того, в этом случае задача может быть упрощена разбиением схемы на модули и анализом его как многокаскадного устройства.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хотя изготовление IBIS-моделей по измерениям и возможно (причём даёт наилучший результат), это не только непросто, но и недёшево. Этот процесс требует большого количества специального оборудования,

мастерства и информации о приборе, которой часто нет в наличии, если у вас нет хороших отношений с разработчиками ИМС. Услуги третьих фирм, специализирующихся на создании IBIS-моделей, дороги. Наилучшими на сегодняшний день остаются модели, разработанные производителями интегральных схем на основе моделирования из качественной аналоговой модели.