

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СОЗДАНИЯ
IBIS-МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**

Дмитриев С. Н., Левицкий А. А. (научный руководитель)
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

IBIS-модель (*Input/Output Buffer Information Specification*) описывает внешние электрические свойства только входных и выходных буферов интегральной схемы, связанной с тем или иным сигнальным выводом. При этом распространение сигнала внутри микросхемы не учитывается [1, 2].

Применение *IBIS*-моделей позволяет обойти трудности, связанные с созданием и применением *SPICE*-моделей, базирующихся на детальном описании внутренней структуры изделия.

В предыдущей статье [3] были рассмотрены основные этапы создания *IBIS*-моделей и были экспериментально сняты вольт-амперные характеристик (ВАХ) входных и выходных буферов микросхем. В данной работе рассматривается процедура измерений ПХ на примере микросхемы *CD4011BE* (отечественный аналог – К561ЛА7). Микросхема содержит в своём корпусе четыре логических элемента 2И-НЕ и выполнена по КМОП технологии.

На рис.1 представлена схема включения для снятия ПХ микросхемы. Для экспериментального снятия переходной характеристики (ПХ) требуется наличие высокоточного измерительного оборудования. Необходимо, как минимум, 2-х канальный цифровой осциллограф с полосой пропускания не менее 100 МГц и генератор импульсов, формирующий импульсы, имеющие длительность фронтов не более единиц наносекунд. Для данных измерений использовались: осциллограф ТЕКТРОНИХ TDS2024С, генератор импульсов РГ-872 и стабилизированный источник напряжения для питания исследуемой микросхемы.

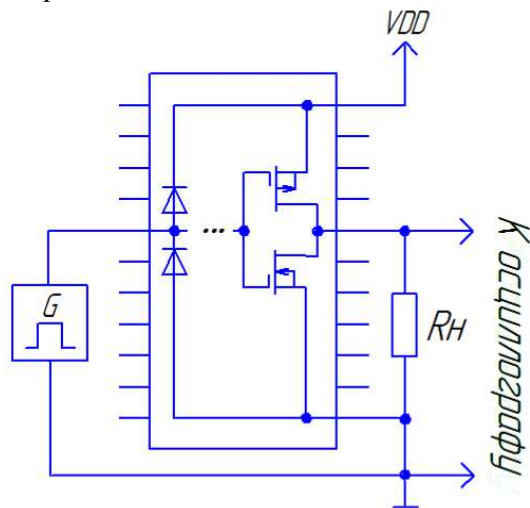


Рисунок 1 – Схема включения для снятия ПХ выходного буфера

Общий вид экспериментальной установки для измерения ПХ микросхемы показан на рис. 2.

Измерения проводились при питании микросхемы напряжением 5 В. С генератора на вход микросхемы подавались положительные прямоугольные импульсы амплитудой 5 В, длительностью 0,3–0,5 мкс, период повторения импульсов составлял 3 мкс. Длительность фронтов импульсов, вырабатываемых генератором не превышала двух наносекунд.

Длительность импульсов выбиралась не менее 0,1 мкс, так как при более коротких импульсах могло быть затруднено измерение переднего и заднего фронтов на выходе микросхемы.

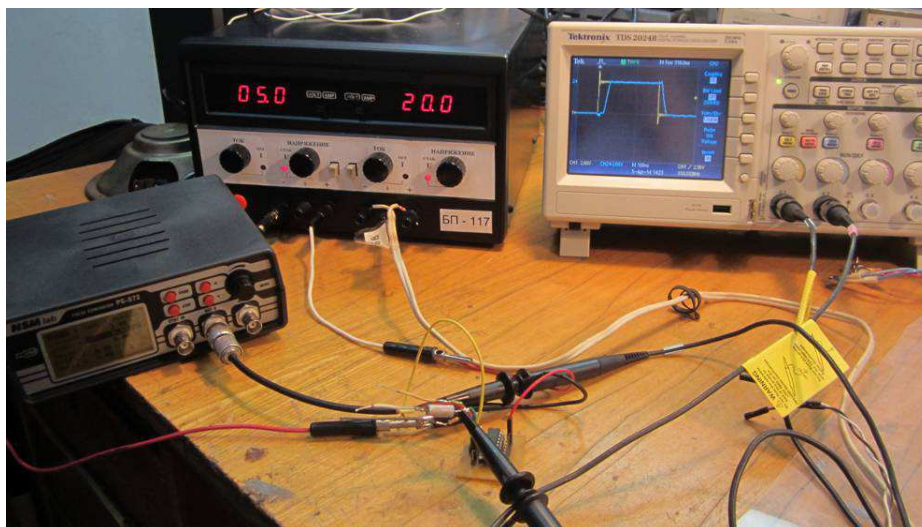


Рисунок 2 – Фото экспериментальной установки для измерений ПХ

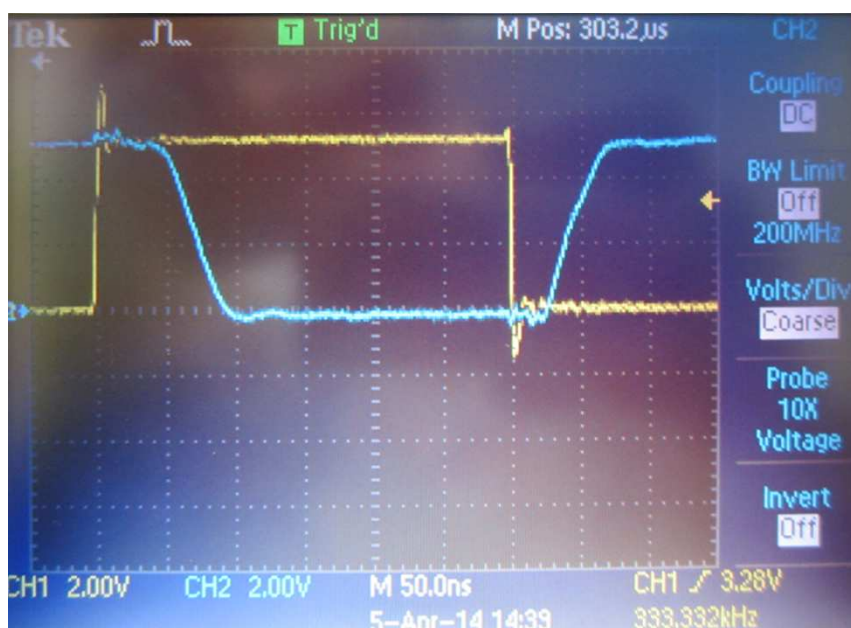


Рисунок 3 – Осциллограмма при $R_H = 100$ кОм, неинvertированная

На рис. 3 и 4 приведены экспериментально полученные осциллограммы при сопротивлении нагрузки $R_H = 100$ кОм.

На всех осциллограммах, жёлтый сигнал (первый канал осциллографа CH1) – это сигнал с генератора, используемый для синхронизации осциллографа. Выбросы (“звон”) на фронтах импульсов являются следствием влияния соединительного кабеля, и для данных измерений эти выбросы не оказывают заметного влияния на время включения и выключения микросхемы.

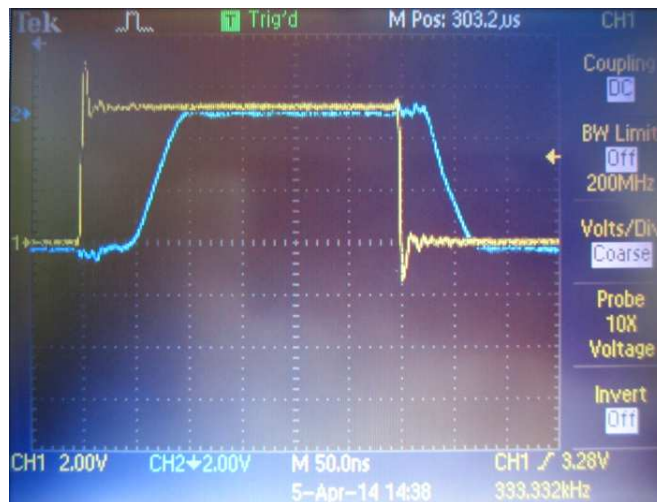


Рисунок 4 – Осциллограмма при $R_H = 100$ кОм, неинвертированная

Из рис. 3 видно, что микросхема на выходе инвертирует сигнал и включается/выключается с небольшой задержкой. В документации на микросхему [4] указано время задержки 50–100 нс при питании 5 В. На рис. 4, представлен снимок осциллограммы, на которой сигнал с выхода микросхемы дополнительно инвертирован для удобства сравнения входного и выходного сигналов. Как видно из осциллограммы (рис. 4), задержка включения микросхемы составляет 50 нс, длительность переднего фронта – 50 нс. Задержка выключения микросхемы составляет 25 нс, а длительность спада (заднего фронта) импульса – около 50 нс.

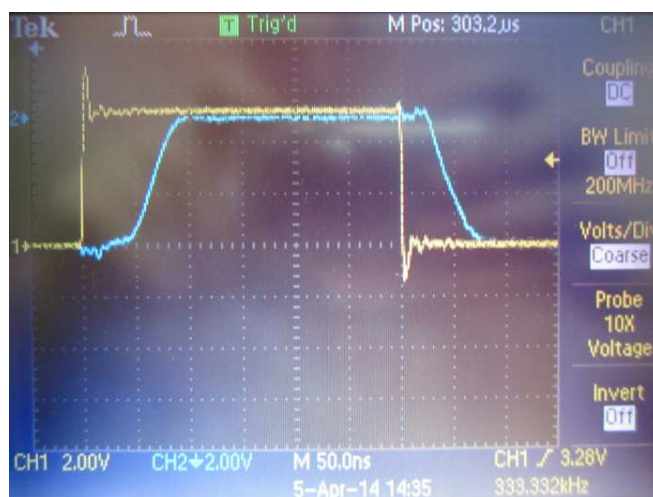


Рисунок 5 – Осциллограмма при $R_H = 10$ кОм

На рис. 5 показана осциллограмма при сопротивлении нагрузки $R_H = 10$ кОм. Как видно, наблюдается небольшая (200 мВ) «просадка» амплитуды импульса и его фронт становится более «затянутым». Данное измерение показывает влияние снижения сопротивления нагрузки на параметры выходных импульсов.

На основе полученных осциллограмм формируется таблица значений, описывающая измеренную ПХ. Это таблица здесь не приводится из-за её большого объёма. В дальнейшем значения из этой таблицы используются при формировании *IBIS*-модели микросхемы. По этой таблице можно построить график (рис.7), и сравнить его с осциллограммой (рис. 6). Для качественной модели таблица данных должна содержать не менее десяти значений.

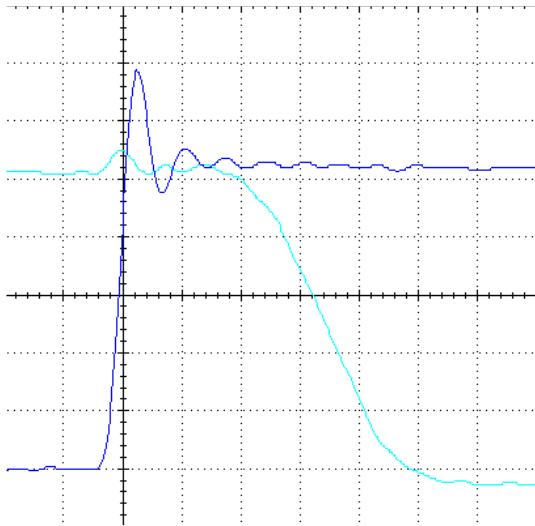


Рисунок 6 – Осциллограмма 20 нс/дел, 1 В/дел, сигнал не инвертирован

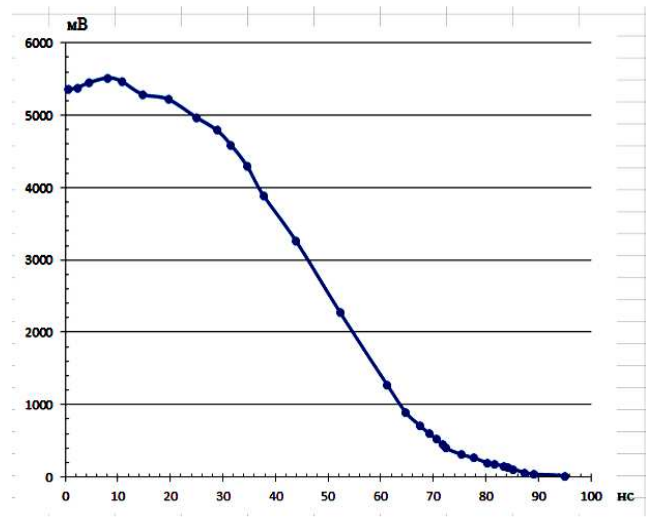


Рисунок 7 – ПХ, построенная по таблице значений, сформированной для *IBIS*-модели

В ПХ представляет интерес крутизна фронта и его длительность. Эти параметры напрямую связаны с паразитными параметрами (L , C) кристалла микросхемы, а также её корпуса. Чем меньше собственная ёмкость и индуктивность выходного буфера микросхемы, тем на большей частоте он сможет работать.

ВЫВОДЫ

Описана процедура проведения измерения переходной характеристики выходного буфера микросхемы. Измерение ПХ для микросхем с высоким быстродействием требует наличия сверхбыстродействующего измерительного оборудования, которое есть не в каждой лаборатории, а так же принятия специальных мер по устранению наводок во время измерений.

Список литературы

1. Bonnie Baker, “The IBIS model: A conduit into signal-integrity analysis, Part 1” // *Analog Applications Journal* (4Q 2010). URL: www.ti.com/lit/an/slyt390/slyt390.pdf (дата обращения: 20.02.2014)
2. The IBIS Open Forum. (2005, Sept. 15). *IBIS Modeling Cookbook for IBIS Version 4.0* [Online]. URL: www.eda.org/ibis/cookbook/cookbook-v4.pdf (дата обращения: 20.02.2014)
3. Дмитриев С. Н., Левицкий А. А., Климкин О. А. Создание *IBIS*-моделей цифровых интегральных микросхем на основе экспериментальных данных // *Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр.* – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. (в печати).
4. CD4011B, CD4012B, CD4023B. Data sheet // Texas Instruments Incorporated, 2006.