

Франк МАЧУЛЛАТ  
(Frank MATSCHULLAT)  
Джо САЛЬВАДОР (Joe SALVADOR)

## Устранение проблем при формировании сигнала HDMI

### Введение

В последние несколько лет интерфейс HDMI стал основным способом подключения потребительских цифровых видеоустройств. С расширением возможностей телевизоров (например, увеличение разрешения и глубины цвета, поддержка 3D-изображений) спецификация HDMI также эволюционирует, включая в себя новые функции. Однако при этом перед инженерами-разработчиками встают такие проблемы, как сохранение стоимости системы на приемлемом уровне при одновременном удовлетворении растущих требований к скорости передачи данных, а также обеспечение совместимости. Задачи проектирования, легко решавшиеся для одного порта 1080i в ЖК-телевизоре с коротким кабелем, значительно усложняются, когда требуется обеспечить более глубокий цвет в формате 1080p в 5-портовом ЖК-телевизоре с 30-метровыми кабелями.

Есть и хорошая новость: уже существуют проверенные решения в помощь разработчикам. Однако этого недостаточно. Критически важно понимать суть проблем и методы их решения. Перечислим важнейшие проблемы:

- Согласование импеданса TMDS и минимизация расфазировки (skew) сигнала.
- Адекватная защита от электростатического разряда и обеспечение целостности сигнала.

- Преобразование напряжения «низкого» логического уровня в сигналы DDC.
- Поддержка длинных кабелей.
- Аппаратная реализация шины СЕС.
- Защита линии 5 В от перегрузки по току и изоляция в дежурном режиме.

Новое устройство NXP IP4786CZ32 для формирования сигнала позволяет инженерам, которым требуется простое проверенное решение, исключить все эти сложные проблемы и при этом имеет самый миниатюрный форм-фактор и самую низкую стоимость.

### Защита от электростатического разряда для линий TMDS с согласованным импедансом

Спецификация HDMI требует, чтобы высокоскоростные сигналы (линии TMDS) имели дифференциальный импеданс 100 Ом (рис. 1). Импеданс зависит от индуктивности и емкости, которые определяются геометрическими размерами дорожек печатной платы и ее разводкой. Подключение любых компонентов, таких как устройства защиты от электростатического разряда или фильтры синфазного сигнала, к этим тщательно спроектированным сигнальным линиям приводит к изменению импеданса. Из-за несогласованности импеданса возникают отражения, которые ухудшают характери-

стики сигнала. Несогласованность импеданса двух линий дифференциальной пары также увеличивает сдвиг фазы внутри пары, что приводит к нарастанию расфазировки сигнала и возникновению электромагнитных помех. При повышении скорости передачи данных важность согласования импедансов возрастает.

Высокоскоростные дифференциальные сигналы особенно уязвимы при электростатическом разряде (ESD) из-за небольших геометрических размеров полупроводникового компонента в схемах передатчика/приемника, а также из-за того, что дорожки сигнала отлично пропускают импульсы ESD, которые сами являются высокоскоростными сигналами. Для защиты системы от электростатического разряда на протяжении всего срока службы инженеры-разработчики обычно добавляют схему ESD-защиты — например, ESD-диод — на каждую сигнальную линию. Однако применять эти диоды следует крайне осторожно, поскольку дополнительная емкость схемы ESD-защиты изменяет импеданс проектируемых сигнальных линий, что может привести к нарушению целостности сигнала.

### DDC-буферизация

Линии DDC HDMI используют сигналы уровня 5 В. При реализации шины HDMI DDC разработчики систем должны обеспечить выполнение двух ключевых требований: к времени нарастания сигнала и к уровню напряжения сигнала. Первоначально время нарастания сигнала регулировалось путем ограничения допустимой емкости шины DDC. Однако это сложно реализовать на практике, например, если пользователь пытается соединить два HDMI-устройства с помощью недорогого кабеля с более высокой емкостью. Требования к уровню напряжения могут стать источником проблем, поскольку новые наборы микросхем рассчитаны на более низкий логический уровень напряжения, в то время как шине DDC необходим сигнал уровня 5 В для совместимости с другими 5-В устройствами, например с ЭСППЗУ (EEPROM).

Проблему для шины DDC могут представлять и длинные кабели, так как чем больше длина кабеля, тем больше его емкость (либо цена становится неприемлемо высокой). Из-за высокой емкости скорость нарастания DDC-сигнала снижается, и он

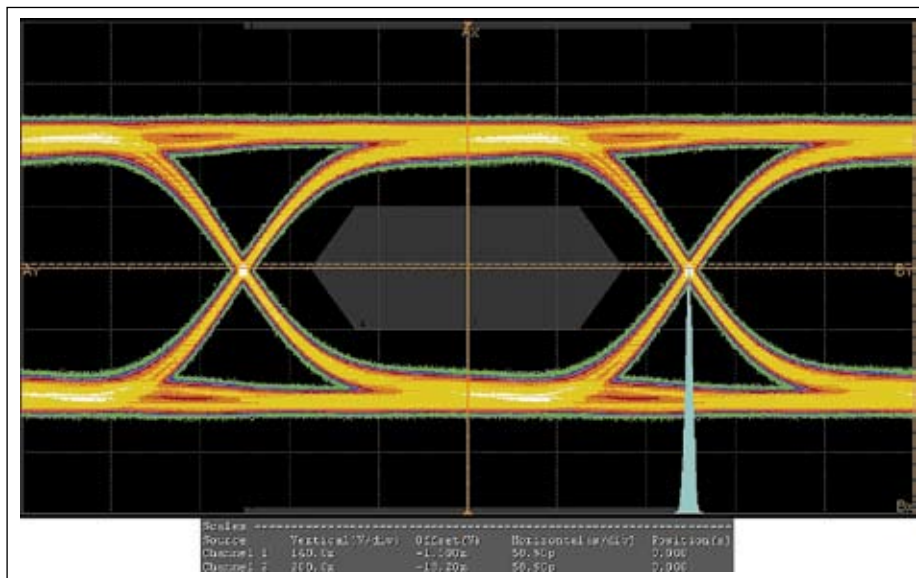


Рис. 1. «Глазковая» диаграмма TMDS (3,4 Гбит/с) при использовании защиты от электростатического разряда для TMDS-линии

может стать нечитаемым. В итоге конечный пользователь либо не видит изображения совсем, либо на экране появляется сообщение об ошибке. Хотя спецификация HDMI устанавливает максимально допустимую емкость кабеля во избежание подобной проблемы, на практике пользователи очень часто приобретают для домашних систем кабели, не отвечающие этим требованиям, а потом, если оборудование не работает, винят в этом производителя телевизора или телевизионной абонентской приставки (ресивера).

Проблема длинных кабелей обычно решается за счет использования либо динамических подтягивающих (pullup) схем, либо DDC-буферов. И те, и другие выпускаются множеством производителей. Вообще говоря, решения с DDC-буфером предпочтительнее, потому что они изолируют системную схему DDC от линии DDC внешнего кабеля, более надежны и легко интегрируются со схемами поддержки «низкого» логического уровня.

Подключение низковольтных передовых КМОП «систем на кристалле» к 5-V шине DDC может привести к возникновению проблем при обработке сигналов как «высокого», так и «низкого» логического уровня. Большинство разработчиков знает о том, что при использовании «систем на кристалле», которые не имеют контактов ввода/вывода, устойчивых к напряжению 5 В, необходим сдвиг напряжения в сторону более высоких значений: для этого применяют специальный транзистор, смещающий уровень сигнала с 5 В на стороне шины DDC к более низкому значению «высокого» логического уровня. К сожалению, это не решает проблему для сигналов «низкого» логического уровня, и даже при использовании «систем на кристалле» с контактами ввода/вывода, рассчитанными на напряжение 5 В, по-прежнему возникают проблемы с обработкой сигналов «низкого» логического уровня.

DDC «подтягивает» (pull-down) сигналы к шине, из-за чего сигналы DDC низкого уровня становятся чувствительными к сопротивлению линии DDC. С ростом сопротивления линии DDC повышается напряжение «низкого» уровня, и в результате «система на кристалле» может ошибочно распознавать низкий сигнал как высокий. Эта проблема усложняется в связи с распространением многопортовых телевизоров и ресиверов, в которых HDMI-коммутаторы установлены в тракт сигнала, увеличивая сопротивление, а также в связи с использованием кабелей большей длины и, следовательно, большего сопротивления. К сожалению, простые полевые транзисторы смещения уровня не способны уменьшить «низкий» логический сигнал, напротив, они его повышают из-за собственного сопротивления во включенном состоянии. Новые буферы DDC, такие как в NXP IP4786 CZ32, обеспечивают

двунаправленное смещение сигналов как высокого, так и низкого логического уровня, одновременно изолируя емкость кабеля, при этом сокращается время нарастания сигнала в кабелях высокой емкости. Кроме того, ESD-защита может быть интегрирована прямо в буфер DDC, а изоляция буфера исключает попадание любой остаточной энергии в HDMI «систему на кристалле», предохраняя ее от обратного тока и обеспечивая в целом гораздо более высокий уровень защиты от электростатического разряда.

### Защита линий 5 В от перегрузки по току и изоляция

Через разъем HDMI напряжение 5 В подается от источника сигнала HDMI, например ресивера, к приемнику HDMI, например телевизору. Это напряжение 5 В используется для питания памяти EDID приемника, хранящей характеристики дисплея, и позволяет приемопередатчику HDMI считывать их. С 5-вольтовым источником питания связаны две ключевые проблемы разработки: одна касается безопасности, а вторая — функциональности системы.

С точки зрения безопасности напряжение питания 5 В необходимо для реализации некоторого уровня защиты от перегрузки по току. Оно предотвращает избыточное потребление мощности неисправными периферийными устройствами через порт и, что более важно, защищает систему в случае короткого замыкания — например, если кабель HDMI поврежден. Отсутствие такой защиты может привести к неустраняемым повреждениям и даже теоретически — к возгоранию. Обычно нельзя полагаться на защиту от перегрузки по току, реализованную для основной 5-вольтовой шины системы, так как допустимый ток на такой шине, как правило, значительно выше, чем требует спецификация HDMI (1 А). В основном используются два типа защиты: полупроводниковые схемы защиты от перегрузки по току и самовосстанавливающиеся предохранители (polyfuse). Вообще говоря, полупроводниковые устройства защиты от перегрузки по току предпочтительнее, так как они более надежны и реагируют быстрее. В NXP IP4786 CZ32 защита 5-V линии от перегрузки по току интегрирована непосредственно в то же устройство, что и защита от электростатического разряда и DDC-буферы, благодаря чему отпадает необходимость в дополнительных устройствах.

На функциональном уровне многих приложениях важно изолировать 5-вольтовую шину HDMI от основной 5-вольтовой шины системы. Главная причина в том, что некоторые приемники и телевизоры HDMI, обнаруживая напряжение 5 В на шине питания, воспринимают его как сигнал для включения собственного питания. Ресивер/персональный видеоманитон может вклю-

чаться посреди ночи для записи программы, но вряд ли потребитель будет доволен, если при этом случайно включится и телевизор. С помощью полупроводникового решения, такого как IP4786CZ32 (через вывод активации), можно легко реализовать изоляцию шины HDMI 5 В от системной 5-вольтовой шины, однако если в системе используется самовосстанавливающийся предохранитель, этого сделать не удастся.

### Шина CEC

Consumer Electronic Control (CEC) — это однопроводная двунаправленная шина, которая позволяет приемникам и источникам сигнала HDMI обмениваться командами и упрощает управление домашней развлекательной системой. Низкоскоростная шина CEC рассчитана на более высокую емкостную нагрузку. Подтягивающее сопротивление 27 кОм довольно велико, поэтому шина CEC чувствительна к токам утечки, особенно в тех случаях, когда модуль HDMI выключен. Максимальный ток утечки составляет 1,8 мкА. Кроме того, набор команд CEC поддерживает «пробуждение» приемника или источника сигнала HDMI, для чего шина CEC должна сохранять работоспособность в тех случаях, когда устройство находится в дежурном режиме.

Чтобы удовлетворить требования к обратному току и току утечки шины CEC, можно подключить диод Шоттки после подтягивающего резистора 27 кОм, но это увеличивает стоимость системы и требует дополнительного места на плате. Решение NXP IP4786CZ32 обеспечивает соответствие требованиям к обратному току и току утечки шины CEC при сохранении функции пробуждения из дежурного режима CEC благодаря интеграции буфера для сдвига уровня, а также подтягивающих резисторов и «обратноходового» (backdrive) диода, что позволяет упростить разводку за счет полностью протестированной и соответствующей требованиям CEC схемы.

### Другие проблемы формирования сигнала HDMI

С введением нового канала HEAC (HDMI Ethernet and Audio return Channel) в стандарте HDMI 1.4 появилась необходимость в защите от электростатического разряда еще одной линии сигнала, а также в развязке дифференциального сигнала Ethernet с горячим подключением и реверсивного звукового канала. 5-вольтовый уровень сигнала «горячего» подключения может также потребовать смещения напряжения к более низкому уровню. Компания NXP интегрировала дополнительную защиту от электростатического разряда, а также буфер с триггером Шмитта, одновременно обеспечив полную ESD-защиту всех сигналов.

## Заключение

Характеристики HDMI-устройства и его соответствие спецификации в большой степени зависят от выбора компонентов, устанавливаемых между «системой на кристалле» HDMI и разъемом. Более высокие скорости передачи данных, более длинные кабели и расширение функциональности устройств — все это усложняет задачу формирования сигнала. Двенадцать информационных линий HDMI (13 — в стандарте HDMI 1.4), а также линия питания HDMI 5 В требуют использования дополнительных компонентов, чтобы гарантировать надежность системы и целостность сигнала. Существуют проверенные недорогие решения, способные ускорить разработку схемы и вывод готовой продукции на рынок. Одно

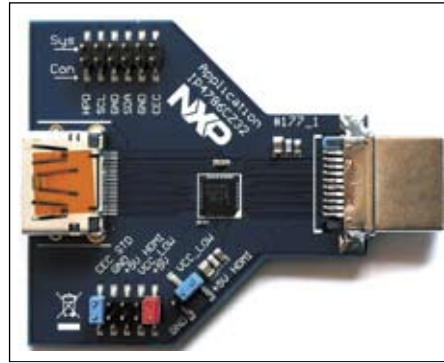


Рис. 2. Демонстрационная плата IP4786CZ32

из них — ИС IP4786CZ32 (рис. 2), в которой интегрированы все внешние схемы для формирования сигналов и защиты. ■