

Простая и недорогая реализация USB Type-C

Анвар САДАТ (Anwar SADAT)
Перевод: Алексей РЕВЕНКО

В статье предлагается не требующий значительных финансовых затрат способ интеграции интерфейса USB Type-C в существующие платформы. Кроме того, данное решение требует использования всего одной микросхемы.

Интерфейс USB Type-C является сегодня наиболее интересным и обсуждаемым нововведением в области интерфейсов подключения устройств. И это не удивительно, учитывая, что он предлагает объединение в одном разъеме передачи данных, видео и энергии. Интересно, что все эти новшества повторяют историю 20-летней давности, когда интерфейс USB 1.0 позволил произвести разделение устройств с коммуникацией между собой с помощью одного кабеля/разъема, что ознаменовало собой вступление в новую эру передачи данных между периферийными устройствами. С тех пор интерфейс USB остается одним из самых популярных среди используемых в электронике.

Тем не менее, хотя появление USB 2.0 и упростило процесс заряда электронных гаджетов, мы по-прежнему на время путешествия заполняем свои чемоданы различными зарядными устройствами, потому что ноутбуки, планшеты, телефоны, камеры и другая электроника имеют различные требования по части обеспечения питания. Представьте себе использование только одного зарядного устройства, которое удовлетворит требования всех этих носимых устройств! Интерфейс USB Type-C изначально может предоставить 15 Вт мощности, а с использованием спецификации USB Power Delivery (USB-PD) становится возможной передача энергии вплоть до 100 Вт. Этой мощности достаточно для большинства используемых электронных устройств.

Однако, чтобы получить адекватную стоимость конечного изделия, разработчик должен внимательно подходить к вопросу встраивания определенных функций. Предлагаемое однокомпонентное решение для реализации Type-C предоставляет конфигурацию каналов (Channel Configuration, CC) с двойным назначением порта (Dual Role Port, DRP). Это позволяет использовать его в портативных устройствах низкой и средней ценовой группы, таких как смартфоны, планшетные компьютеры и «флаблеты», ноутбуки, хабы, док-станции, автомобильные информационно-развлекательные системы, внешние жесткие диски и др.

Таблица 1. Встроенные возможности конфигурации каналов USB Type-C в сравнении с режимом USB-PD

Параметр	Контроллер конфигурации каналов (CC)	USB-PD
Мощность	15 Вт	100 Вт
USB 2.0 и USB 3.1	Да	Да
Видео	Нет	Да

Интерфейс USB Type-C обеспечивает поддержку исходной системы USB 2.0 и скорость передачи данных 10 Гбит/с USB 3.1, совмещая еще и поддержку работы в альтернативном режиме, используя USB-PD. Исходный не сжатый видеоконтент, например такой, который передается по дисплейному порту, легко поддерживается интерфейсом Type-C при использовании одного из альтернативных режимов работы. В таблице 1 приведены опции USB Type-C.

Интерфейс USB Type-C может быть подключен посредством кабеля, имеющего гнездо и штекер, которые меньше, тоньше, более надежны и прочны по сравнению со своими предшественниками. Штекер и гнездо уже не имеют такого понятия, как «верх» или «низ», потому могут соединяться любой стороной, что, безусловно, является дополнительным удобством для пользователя. Однако эта гибкость и простота добавляют определенной сложности для разработчиков, а следовательно, и повышают стоимость интеграции USB Type-C в конечные изделия. В связи с этим до начала разработки необходимо четко определить, какие возможности реально нужно использовать, чтобы удерживать в приемлемом диапазоне стоимость всей системы в целом. Все эти факторы крайне важны для выработки более позитивного отношения пользователя к новому предложению, взгляды которого уже сформированы при использовании им стандартного интерфейса USB. Принимая во внимание стоимость реализации и возможности использования интерфейса USB 2.0, становится понятным, что для большинства систем вполне достаточно скорости передачи данных этого стандарта и базовой мощности Type-C в 15 Вт.

USB 2.0

Как известно, USB 2.0 является четырехпроводной последовательной шиной с двумя контактами для передачи данных (D+, D-), одним общим проводом (GND) и одним контактом передачи питания (V_{BUS}). Интерфейс является полудуплексным и поддерживает три скорости передачи данных: низкую (Low Speed, LS) со скоростью передачи 1,5 Мбит/с; полную (Full Speed, FS) со скоростью 12 Мбит/с; высокую (High Speed, HS) со скоростью 480 Мбит/с. Интерфейс USB 2.0 обеспечивает связь между основным компьютером (host) и клиентским устройством (или концентратором, хабом) в режиме двухточечного протокола канального уровня PPP (Point-to-Point Protocol), при котором управляющее устройство используется для контроля шины данных и предоставляет 5 В с током до 500 мА по шине V_{BUS} для питания подключенного устройства. Также возможно использование повышенных токов от порта USB для заряда устройств (профиль BC 1.2), однако это влечет за собой увеличение стоимости из-за сложности реализации и использования дополнительных электронных компонентов. К популярным разъемам USB можно отнести соединители Type-A, Type-B и их микро/мини-варианты в исполнении как вилок, так и розеток.

Существует также стандарт USB On-the-Go (OTG), который вводит использование дополнительного, пятого контакта в разъеме USB-микро A/B. С помощью него осуществляется управление идентификацией устройства, например такого, как мобильный телефон, который может работать как в режиме клиента, так и в качестве основного хост-устройства. Это позволяет подключать устройство к персональному компьютеру в качестве клиента, а также подключать к самому устройству, идентифицируемому как хост, различные USB-устройства.

USB Type-C

Рассмотрим более детально USB Type-C. На рис. 1 показан штекер разъема USB Type-C. Ответное гнездо USB Type-C имеет



Рис. 1. Штекер USB Type-C

размеры, не превышающие 3 мм в высоту и 8,4 мм в ширину, что позволяет использовать этот тип USB-разъемов в ультратонких платформах, таких как ноутбуки и смартфоны. Разъем Type-C является равнозначным как для клиента, так и для хоста, что позволяет использовать симметричный кабель.

На рис. 2 показано назначение контактов разъема USB Type-C [1]. Его 24 вывода образуют симметричную конструкцию и включают в себя четыре контакта для USB 2.0, восемь контактов (четыре пары) для скоростного USB-интерфейса SuperSpeed USB и два контакта для работы в альтернативном режиме, как дополнительная сигнализация. Дополнительно два контакта служат для конфигурирования канала и работы в режиме USB-PD, четыре контакта отведены для V_{BUS} , а еще четыре контакта — для GND. Комплексная конструкция кабеля и штекера собрана таким образом, чтобы дифференциальные пары для SuperSpeed USB могли быть использованы для передачи данных на скорости до 20 Гбит/с. В то время как гнездо должно иметь все 24 контакта, кабельная вилка Type-C USB 2.0 имеет только 12 сигнальных контактов, что удешевляет ее конструкцию.

При реализации простой системы для обеспечения обычного канала связи требуется только два сигнала D+ и два сигнала D-. Таким образом, использование симметричной вилки избавляет нас от необходимости использования мультиплексора. Подобное соединение при использовании сигналов SuperSpeed USB невозможно реализовать без использования двух мультиплексоров для приемника (RX) и двух для передатчика (TX). Такое соединение будет, скорее всего, использовать две микросхемы, по одной на каждой стороне интерфейса Type-C — одну на стороне клиента и одну на стороне хоста. При использовании альтернативного режима передачи конфигурация мультиплексоров становится еще более сложной и требует наличия матричных мультиплексоров.

Конфигурация канала (CC)

В USB Type-C используется механизм конфигурации канала, который служит для ор-

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
GND	TX1+	TX1-	VBUS	CC1	D+	D-	SBU1	VBUS	RX2-	RX2+	GND
GND	RX1+	RX1-	VBUS	SBU2	D-	D+	CC2	VBUS	TX2-	TX2+	GND
B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1

Рис. 2. Расположение контактов в гнезде USB Type-C (вид спереди)

ганизации и управления соединением между принимающим портом (Downstream Facing Port, DFP) и передающим портом (Upstream Facing Port, UFP). В привычной терминологии USB DFP-порт может выступать как хост, а UFP — как порт контролируемого устройства. В функции CC входят нижеследующие задачи:

- Определение подключения/отключения DFP-UFP.
- Определение ориентации разъема (верх/низ).
- Определение конфигурации предоставления питания — кто поставщик, кто потребитель. Без использования конфигурации USB PD по умолчанию используется конфигурация, в которой DFP (источник) предоставляет питание для UFP (потребитель).
- Оповещение об уровне тока на шине V_{BUS} , если устройство — поставщик питания, и определение уровня тока, если устройство — потребитель.

Изменение режимов передачи питания и данных в течение сеанса связи может изменяться только через конфигурацию USB PD.

Хотя в розетке и присутствуют два контакта (CC1 и CC2), при подключении используется только один контакт CC. В отличие от традиционного USB, где определение отношений хост/устройство производится с помощью физических характеристик разъема (гнездо или штекер), в USB Type-C, с его полностью одинаковыми штекерами на обоих концах кабеля, линия CC имеет подтяжку к питанию на стороне DFP и подтяжку к земле на стороне UFP. Контроль наличия напряжения на линиях CC позволяет определить сам факт подключения и ориентацию штекера (верх/низ).

Чтобы проинформировать ведомое устройство об уровне тока, который может быть ему предоставлен, на стороне DFP используется подтягивающий резистор различного номинала. С другой стороны, UFP с помощью резистора, подтянутого к земле, определяет уровень тока, который он может получить, путем определения уровня напряжения на CC. Возможна реализация трех режимов питания для интерфейса USB 2.0 без использования режима USB PD: 500 мА, 1,5 и 3 А при напряжении $V_{BUS} = 5$ В.

Порт интерфейса Type-C также определяет наличие режима DRP, при котором, до тех пор пока не будет установлено соединение, порт одновременно является и DFP, и UFP. В момент, когда порт DRP подключается к UFP или DFP, он приобретает характеристики DFP или UFP соответственно. В процессе соединения двух портов DRP результат может быть непредсказуемым, однако на него можно повлиять, используя опциональные функции *Try.SRC* и *Try.SNK*. Устройство DRP с установленным параметром *Try.SRC* постарается обозначить себя как DFP (хост), а если установлен параметр *Try.SNK* — как UFP (подконтрольное устройство). Эти параметры особенно важны для гарантирования правильной установки отношений источник/потребитель с точки зрения предоставления энергии, например чтобы при подключении DRP телефон не приступил к зарядке ноутбука. Для лучшего восприятия пользователем всей экосистемы Type-C очень важно, чтобы все подключаемое оборудование имело четко определенные функции в части предоставления/потребления энергии (рис. 3). В таблице 2 предлагаются подходящие режимы работы для представленных продуктов.

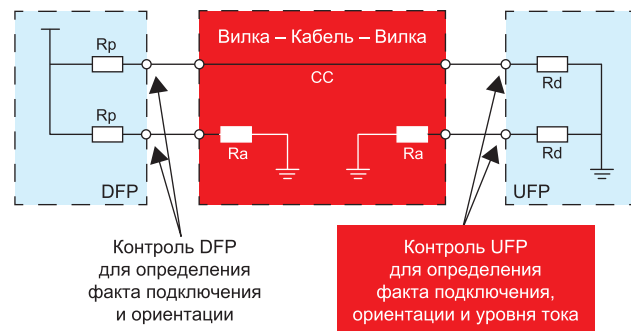


Рис. 3. Конфигурирование каналов с использованием подтяжки к земле и питанию

Таблица 2. Категории электропитания устройств и рекомендованные установки

Категория электропитания	Пример устройства	Состояние
Всегда источник	Зарядное устройство	SRC
В основном источник	Ноутбук, аккумулятор	Try.SRC
Двойное назначение	Планшетный ПК	DRP
В основном потребитель	Мобильный телефон	Try.SNK
Всегда потребитель	Аксессуары и внешние носители	SNK

Определение достаточной мощности

Как упоминалось ранее, USB Type-C в стандартной конфигурации без использования расширенного протокола USB PD может обеспечить мощность в 15 Вт. Что собой представляют эти 15 Вт допустимой мощности? Это в шесть раз больше, чем может выдать стандартный USB 2.0, и в полтора раза больше, чем уровень самого мощного USB BC 1.2. Как быстро сможет зарядиться мобильное устройство при входной мощности в 15 Вт? В таблице 3 приведены некоторые вычисления на эту тему. В действительности время заряда зависит от многих факторов. Для упрощения мы предположили, что эффективность (КПД) зарядной цепи находится на уровне 80%.

Таблица 3. Время заряда типичных мобильных устройств при входной мощности 15 Вт

Мобильное устройство	Батареи стандартной емкости, Вт·ч	Типовое время заряда при использовании Type-C, мин
Смартфон	6	30
«Фаблет»	10	50
Мини-планшет	15	75
Полноразмерный планшет	30	150

Для большинства устройств низшего и среднего уровня потребления можно сказать, что заложенной в USB Type-C мощности 15 Вт вполне достаточно, особенно если учитывать дополнительную стоимость и сложность реализации USB PD.

Некоторые приложения требуют достаточно высокой производительности для работы с видео и большими объемами данных. Однако чаще всего пользователи не ожидают так много от своих портативных устройств. В большинстве случаев использование USB на мобильном телефоне или планшете сводится к передаче фотографий, музыки и видеофайлов на ПК или для синхронизации устройств. Скорость, обеспечиваемая спецификацией USB 2.0, составляет 480 Мбит/с. Учитывая все вышеперечисленные издержки, мы получим скорость передачи на уровне 40 Мбит/с, чего будет, скорее всего, вполне достаточно для ежедневного использования.

Обычно, чтобы можно было выступить ведомым устройством и получать энергию для заряда при подключении к ПК, мобильное устройство использует режим DRP. С другой стороны, мобильное устройство может также выступить как хост при подключении к нему

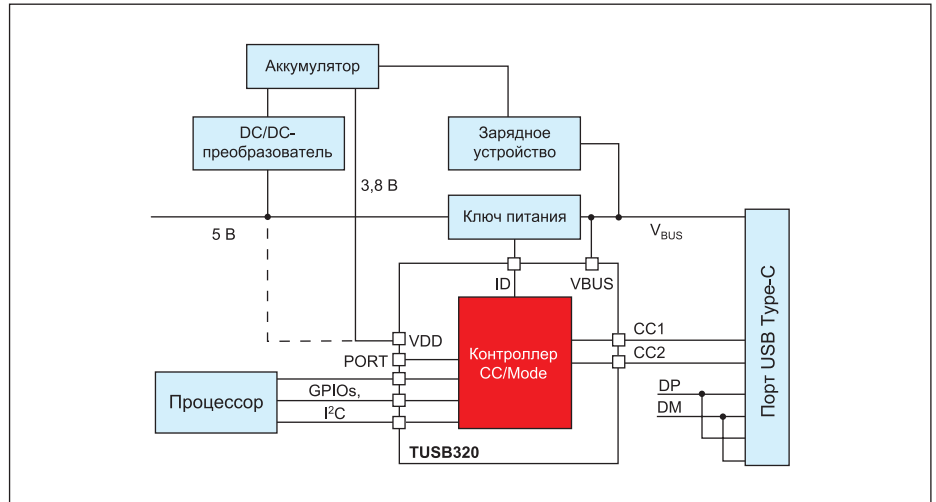


Рис. 4. Стандартная реализация режима DRP

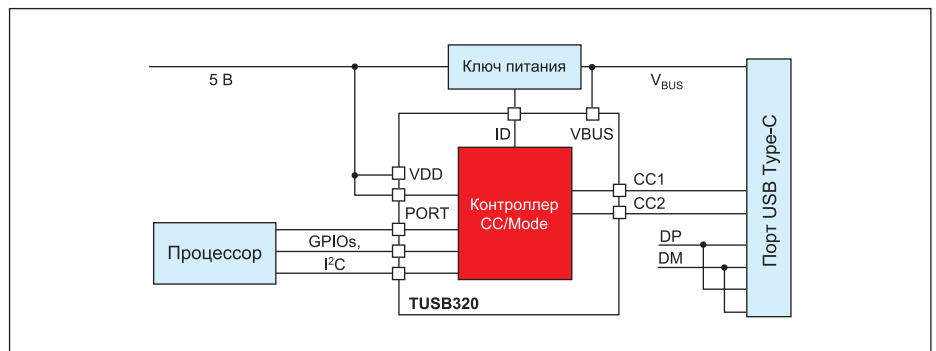


Рис. 5. Стандартная реализация DFP-режима

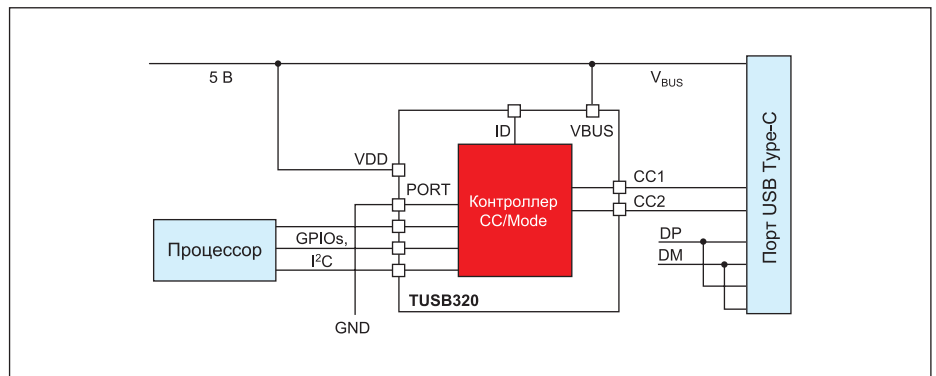


Рис. 6. Стандартная реализация UFP-режима

flash-накопителя. На рис. 4 показана стандартная реализация USB 2.0 в конфигурации DRP. Обратите внимание, что реализация системы остается в основном неизменной в части CC-контроллера, который просто эмулирует сигнал ID стандартной реализации OTG-режима. Важно отметить, что спецификация USB Type-C позволяет мобильному устройству выступать в роли как хоста, так и клиента, наряду с возможностью быть и источником энергии, и ее потребителем.

Порт USB 2.0 Type-C в ноутбуке или в переносном зарядном устройстве, скорее всего, будет выступать в роли DFP-устройства,

с функцией предоставления питания для ведомого устройства. Зачем же ноутбуку порт USB 2.0 с выходной мощностью 15 Вт? Ответ зависит от энергетического потенциала и стоимости всей системы в целом, которая оснащена несколькими портами Type-C, поскольку не все они могут обладать полным набором функций. На рис. 5 показана стандартная реализация режима DFP. Даже в случае, когда порт не использует двойной режим работы DRP, сигнал ID все равно используется для контроля напряжения полевого транзистора, выступающего в качестве ключа питания.

Решение для USB 2.0 в одной микросхеме

Микросхема TUSB320 от компании Texas Instruments [2] представляет собой реализацию USB 2.0 в одной микросхеме. Если использовать данную микросхему, процесс преобразования существующего интерфейса USB 2.0 в Type-C окажется не таким уж и сложным, как может показаться на первый взгляд. Нужно только заменить разъем и добавить контроллер линий CC, такой как TUSB320. Все примеры устройств, показанных на рис. 4–6, могут быть реализованы с помощью этой микросхемы для режимов DRP, DFP и UFP соответственно. Конфигурация устройства может производиться с помощью линий GPIO. Опционально возможно использование I²C, что дает разработчику возможность реализовать дополнительные функциональные возможности, который он сочтет полезными. Микросхема использует шину I²C с целью уменьшения частоты опросов, производимых центральным процессором для информирования о генерации прерывания. Механизм генерации прерываний может использоваться для любых событий, изменяющих состояние интерфейса хост-клиент.

Контроллер DRP-порта от компании Texas Instruments предназначен для портативных устройств и может обеспечивать логику работы с линиями CC и конфигурироваться для работы порта как в режиме DRP, так и в режимах DFP и UFP.

В зависимости от требований реализации Type-C, устройство может позиционировать себя как в роли DFP, так и в роли UFP. Логический блок работы с линиями CC используется для контроля подключения контактов CC1 и CC2 к питанию или к земле, что, в свою очередь, служит для определения факта подключения к USB и установки соответствующего режима работы порта. Этот логический блок также

Таблица 4. Поддерживаемые функции USB Type-C в зависимости от режима работы

Линия порта	Высокий уровень	Низкий уровень	Не подключена
Поддерживаемые функции	только DFP	только UFP	DRP
Подключение /отключение	•	•	•
Ориентация кабеля (используя I ² C)	•	•	•
Информирование об уровне тока	•		• (DFP)
Определение уровня тока		•	• (UFP)
Режим аксессуаров (отладка или аудиоустройство)	•	•	•
Определение активного кабеля	•		• (DFP)
I ² C/GPIO	•	•	•
Кабели старого образца	•	•	•
Определение V _{BUS}	•	•	• (UFP)
Восстановление севшей батареи	•	•	•
Эмуляция сигнала ID	•		• (DFP)
Try.SRC			•
Try.SNK			•

обеспечивает определение и информирование о поддерживаемом уровне тока — по умолчанию, средний или высокий, в зависимости от режима работы. В таблице 4 представлен сводный список функций Type-C.

Литература

1. Universal Serial Bus Type-C Cable and Connector Specification, USB Type-C Cable and Connector Specification, USB 3.0 Promoter Group. April 3, 2015.
2. TUSB320 USB Type-C Configuration Channel Logic and Port Control. Texas Instruments Incorporated. June, 2015.