

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПИТАНИЯ И ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ ПОРТА USB TYPE C

**АЛЕКСАНДР ПОНОМАРЕВ**, инженер

*Спецификация USB Type-C для универсальных компактных двухсторонних 24-контактных разъемов для USB-устройств и USB-кабелей упростила задачу по снабжению электропитанием и подключению периферийных устройств. Однако поскольку пока в системах имеется только один порт USB Type-C, необходимо, чтобы он обеспечивал безопасную и надежную работу в системах. В статье рассматривается компактный ключ Type C компании Alpha and Omega Semiconductor с интегрированными функциями защиты.*

Использование отраслевого стандарта USB Type-C, разработанного для ноутбуков, планшетов и смартфонов, продолжает расти благодаря тем возможностям, которые он предоставляет. Эта спецификация является обновлением существующих стандартов USB 2.0 и 3.1. В то же время она замещает такие стандарты как Thunderbolt и DisplayPort. Разъем меньшего размера позволяет уменьшить толщину изделий. В то же время

он обеспечивает подключение всех периферийных устройств, которые могут понадобиться пользователям. Двухсторонний разъем позволяет также свести к минимуму количество попыток подключиться к периферийным устройствам. Множество стандартов, которые поддерживает спецификация USB Type-C, позволяет полностью исключить физически большие порты (для USB Type A, цилиндрических разъемов адаптера переменного тока и разъемов под кабели Ethernet CAT 5) (см. рис. 1).

Спецификация Type-C не только регламентирует подачу электропитания и исключает необходимость в использовании заказных адаптеров и зарядных кабелей, но и в известной мере способствует охране окружающей среды за счет того, что при покупке нового ноутбука, планшета или смартфона пользователю не придется избавляться от адаптера питания с поддержкой этой спецификации.



Рис. 1. Разъемы USB-C, предназначенные для компактной промышленной продукции, поддерживают требования многих стандартов к электропитанию и сопряжению

## РЕАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НОУТБУКА СОГЛАСНО СПЕЦИФИКАЦИИ TYPE C

Типовая схема электропитания ноутбука с помощью разъема USB Type-C показана на рисунке 2. Тракт втекающего тока направлен в сторону зарядного устройства ноутбука, а тракт источника питания начинается с 5-В шины ноутбука. Эта схема отличается от большинства реализаций Type C в смартфонах или планшетах с одноэлементными батареями в качестве источников питания, а понижающе-повышающее зарядное

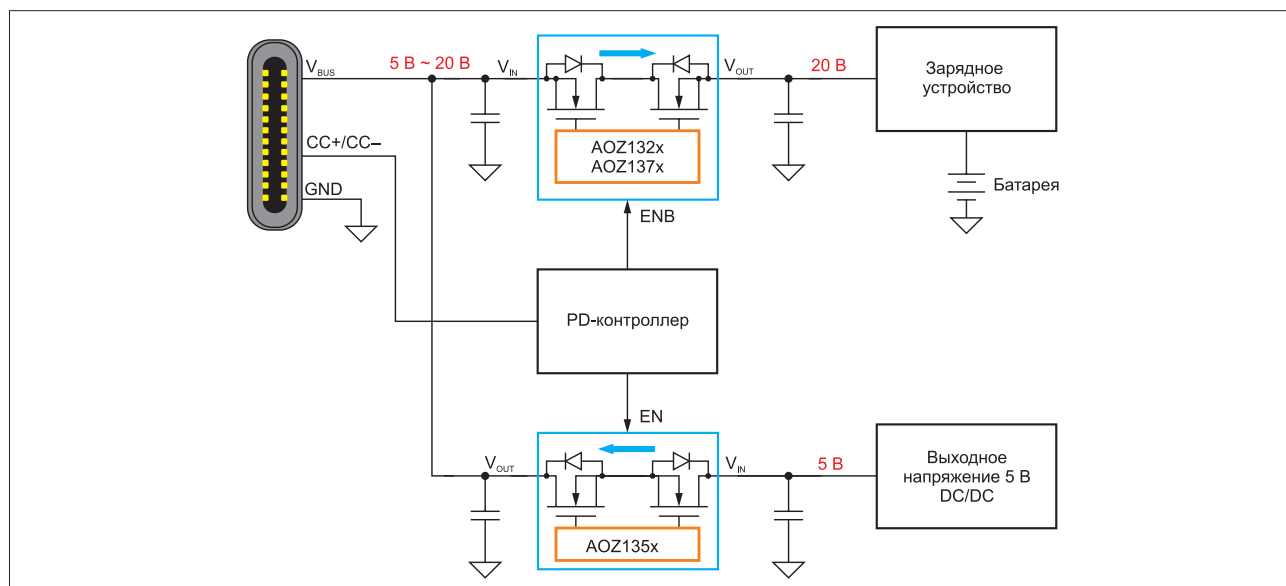


Рис. 2. Типовая реализация электропитания ноутбука по спецификации USB Type-C

устройство обеспечивает и тракт питания, и тракт потребителя.

### ТРЕБОВАНИЯ К КЛЮЧУ TYPE C, КОММУТИРУЮЩЕМУ ПИТАНИЕ

Как правило, максимальное напряжение и ток батареи ноутбука равны 5 В/3 А согласно приведенной выше схеме питания. Уровень мощности, подаваемой на периферийные устройства, которые получают питание от серийно выпускаемых ноутбуков, не превышает 15 Вт из-за ограниченной емкости батареи. Коммутация питания с помощью ключей не налагает каких-либо жестких требований к области безопасной работы (ОБР) силовых MOSFET. Поскольку уровни мощности невелики, величины сопротивления исток-исток в открытом состоянии (R<sub>SSON</sub>) около 30–35 мОм, как, например, у ключа AOZ1356, достаточно для переключения питающей нагрузки. Стандартные функции защиты от перегрузки по току и короткого замыкания позволяют защитить 5-В шину системы от чрезмерного тока благодаря закороченному кабелю или превышению нагрузки.

Важной функцией является блокировка обратного тока для защиты от непредусмотренной эксплуатации или неисправных адаптеров USB Type C. Спецификация USB Type C требует, чтобы выходное напряжение адаптера равнялось 5 В и уровень напряжения питания системы изменялся до заданного только после согласования с PD-контроллером. Напряжение питания неисправного адаптера может составлять 20 В. Поскольку все порты Type C подключены к общей системной 5-В шине, защита системы от некорректной работы адаптера – важная функция, которую должны обеспечивать все ключи, коммутирующие питание. На рисунке 3 показано, как работает функция защиты от обратного тока в AOZ1356LI.

FRS (fast role swap – быстрая смена ролей) – еще одна ключевая функция, предотвращающая потерю данных. Представим себе ситуацию, когда ноутбук может подключиться к док-станции через порт Type C с несколькими периферийными устройствами, которые получают питание от 5-В шин USB Type C или USB Type A этой станции. Если по какой-то причине питание от станции пропадет (из-за отключения силового кабеля или сети переменного тока) функция FRS очень быстро (в течение 150 мкс) обеспечит подачу питания 5 В любому периферийному устройству, которое подключено к док-станции, предотвратив потерю данных.

Для реализации этой функции с минимальной задержкой замыкает

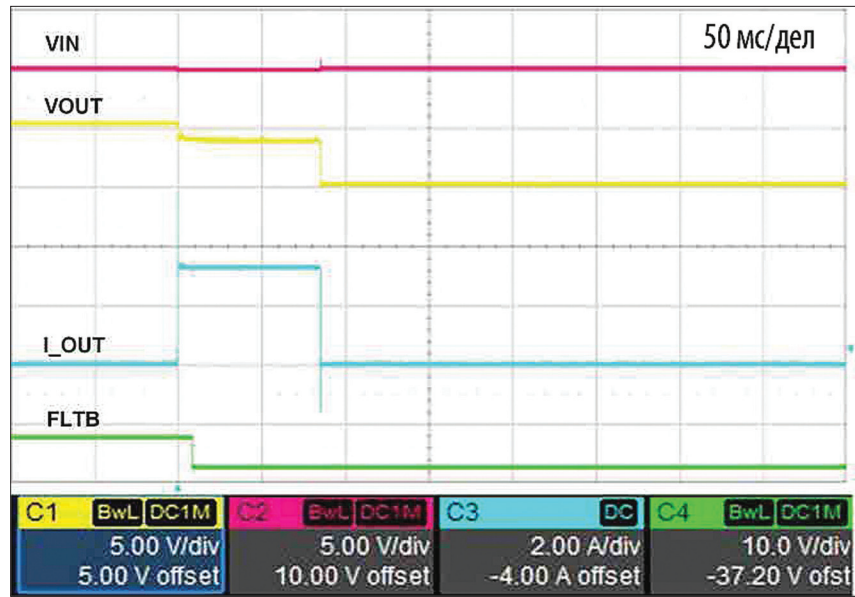


Рис. 3. Допускается протекание минимального обратного тока (< 250 мкА) при блокировке ключом обратного тока из-за падения напряжения 20 В (которое возникает при замыкании ключа AOZ1356) на выходе (желтым цветом). Входное напряжение  $V_{IN}$  (5-В напряжение системной шины) изменяется в пределах 100 мВ



Рис. 4. Срабатывание функции FRS ключа AOZ1356LI: EN\_to\_Ramp\_Delay = 20 мкс, время линейного нарастания = 40 мкс, общая задержка = 60 мкс, I<sub>IN</sub> peak = 2,1 А

ся 5-В ключ, обеспечивающий подачу питающего тока. Спецификация USB Type C требует, чтобы это включение происходило в течение 150 мкс во избежание потерь мощности, подаваемой на периферийные USB-устройства, которые питаются от 5-В шины док-станции. Поскольку ключ замыкается и размыкается только с помощью PD-контроллера, в отведенный интервал 150 мкс также входит время отклика этого контроллера, которое, как правило, составляет 50 мкс. Следовательно, ключ, обеспечивающий подачу питающего тока в нагрузку, должен реагировать в течение 100 мкс.

На рисунке 4 показано, как работает функция FRS ключа AOZ1356LI: благодаря тому, что общее время отклика составляет 60 мкс, PD-контроллеру согласно спецификации USB Type C отведено до 90 мкс для ответа на событие FRS.

### ТРЕБОВАНИЯ К КЛЮЧУ «ПОТРЕБИТЕЛЯ» TYPE-C

Ключ, через который подается втекающий ток, управляет линейно нарастающим напряжением и переходными процессами при запуске системы. В замкнутом состоянии через него проходит постоянный ток и перемежающийся пульсирующий ток в далее расположенные каскады. Для реализации запуска и расширенных режимов выдвигаются уникальные требования. Чтобы разобраться, как их выполнить, рассмотрим пример с AOZ1380 – защитным ключом Type C, который позволяет реализовать функции потребления и питания (см. рис. 5).

Преимуществом ключа AOZ1380 заключается в интеграции дискретного trench MOSFET-ключа с контроллером, что обеспечивает

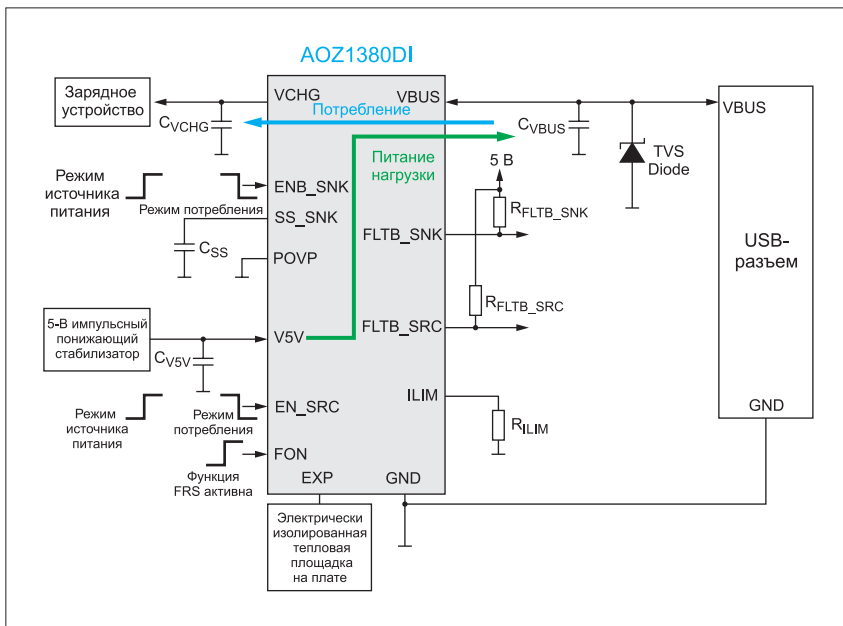


Рис. 5. Ключ AOZ1380 обеспечивает коммутацию втекающего и питающего токов

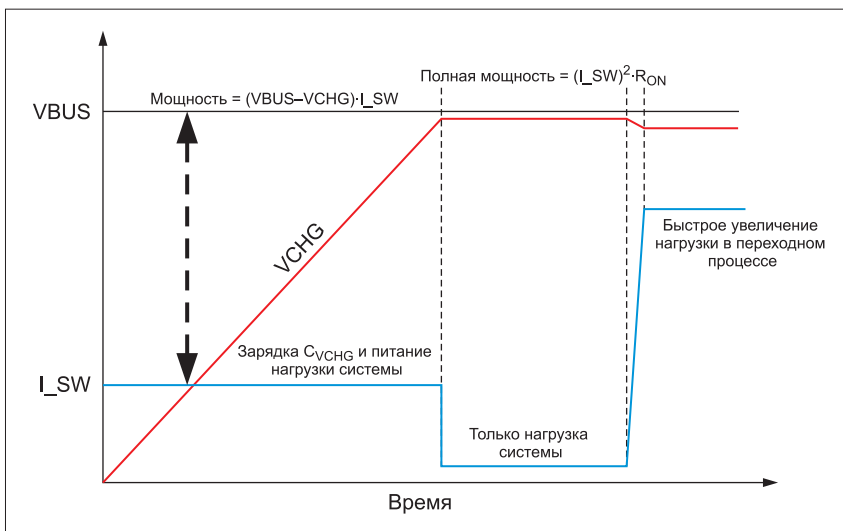


Рис. 6. Рассеиваемая мощность при плавном пуске

большую ОБР и малое сопротивление открытого канала  $R_{DS(ON)}$  trench MOSFET-ключа; при этом можно программировать плавный пуск и реализовать большое количество защитных функций.

При пуске напряжение на конденсаторе VCHG линейно нарастает до значения VBUS за период, который определяется временем плавного пуска и, как правило, занимает несколько мс. На рисунке 6 показано условие плавного пуска и то, как рассеивается мощность.

При плавном пуске на силовом ключе падает большое напряжение. Кроме того, через ключ протекает ток  $I_{SW}$ , который заряжает выходную емкость. При этом может появиться нагрузочный ток, протекающий в расположенные далее каскады. Суммарный ток рассчитывается следующим образом:

$$I_{SW} = C_{VCHG} \left( \frac{dVCHG}{dt} \right) + I_{SYS}$$

При плавном пуске ключ работает в линейном режиме, и велико рассеяние мощности. Способность управлять ее величиной, главным образом, зависит от области безопасной работы силового MOSFET в линейном режиме и от тепловой сопротивляемости корпуса  $R_{th-j-c}$ , т.к. время плавного пуска исчисляется миллисекундами. Тепловое сопротивление «ключ – окружающая среда»  $R_{thjambient}$ , которое в большей мере зависит от теплового сопротивления печатной платы, не играет роли. Благодаря высоконадежному силовому MOSFET-ключу и отличной технологии корпусирования устройство AOZ1380DI рассеивает мощность в линейном режиме согласно следующему уравнению:

$$\text{Рассеиваемая мощность} = I_{SW} \cdot (VBUS - VCHG)$$

Для расчета средней величины рассеиваемой мощности при плавном пуске используется половинное значение входного напряжения, т.к. выходное напряжение линейно возрастает с нуля до входного (см. рис. 6).

Например, если выходная емкость  $C_{VCHG} = 10 \text{ мкФ}$ , входное напряжение  $VBUS = 20 \text{ В}$ , время плавного пуска  $= 2 \text{ мс}$  и дополнительный (вызванный зарядом емкости) ток системы  $I_{SYS} = 1 \text{ А}$ , то средняя величина мощности, рассеиваемой на компоненте, определяется следующим образом:

$$I_{SW} = 10 \text{ мкФ} \cdot \frac{20 \text{ В}}{2 \text{ мс}} + 1 \text{ А} = 1,1 \text{ А};$$

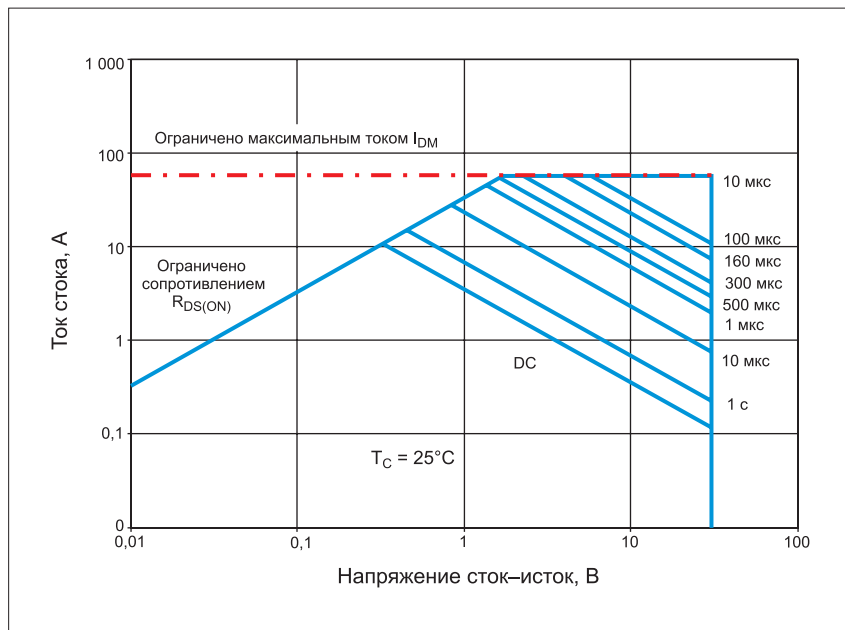


Рис. 7. Характеристики ключа, коммутирующего втекающий ток, в области безопасной работы

Средняя рассеиваемая мощность =

$$= 1,1 \text{ A} \cdot \frac{20 \text{ В}}{2} = 11 \text{ Вт}$$

Из рисунка 7 видно, что максимально допустимая мощность (постоянного тока) при 2 мс составляет 50 Вт (2,5 А · 20 В или 5 А · 10 В). Силовой ключ AOZ1380DI является достаточно надежным для управления большой выходной емкостью с нагрузкой при допустимой продолжительности плавного пуска. После его завершения силовой ключ полностью открывается и имеет наименьшее сопротивление. При этом мощность, рассеиваемая на полностью открытом ключе, намного меньше мощности, рассеиваемой при плавном пуске.

Однако поскольку речь идет о непрерывном токе, требуется, чтобы сопротивление открытого канала было невелико для минимизации рассеиваемой мощности. Топология платы должна быть такой, чтобы рассеиваемая мощность в ключе, обеспечивающем поступление втекающего тока, распределялась по печатной плате и затем поступала в окружающее пространство. При  $R_{DS(ON)} = 20 \text{ мОм}$  ключ AOZ1380DI осуществляет подачу питания с максимальной эффективностью, не рассеивая большую активную мощность.

Как известно, спецификация Type C ограничивает напряжение питания и ток значениями 20 В и 5 А, или мощностью 100 Вт, тогда как многим современным ноутбукам требуется, чтобы пиковый ток намного превышал 5 А. Хотя максимально допустимый ток при типовой нагрузке без срабатывания тепловой защиты (TDC) невелик, пиковый ток (параметры ICCmax в случае процессоров Intel и EDP для процессоров AMD) многих систем часто в два раза превышает этот показатель. Продолжительность таких событий, как правило, не больше 2 мс, а коэффициент заполнения мал, но они

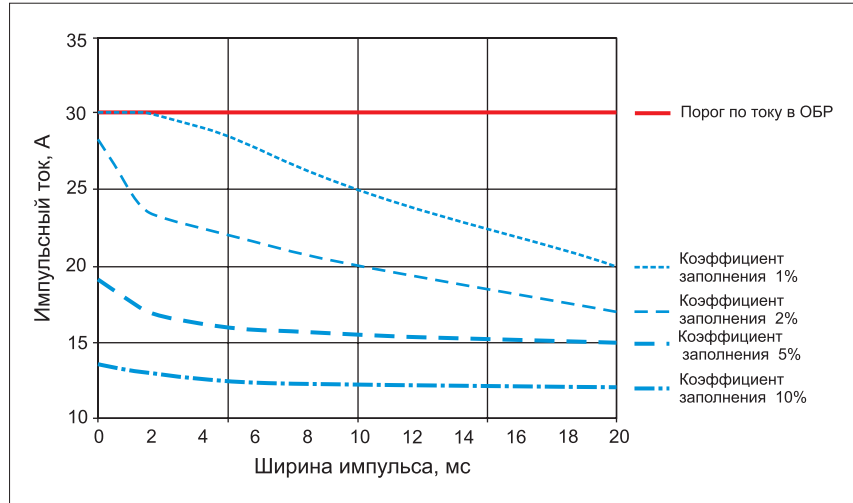


Рис. 8. Зависимость амплитуды втекающего импульсного тока от продолжительности импульса при заданном коэффициенте заполнения

оказывают немалое влияние на производительность системы, т. к. за эти 2 мс вычислительная мощность ЦП или графического процессора с рабочей частотой в несколько ГГц может увеличиться. Ключ AOZ1380DI работает с такими короткими импульсами большого тока в переходных процессах, не подвергаясь деградации, что позволяет повысить эффективность высокопроизводительных систем при подключении к адаптеру Type C.

Чем меньше ширина импульса и коэффициент заполнения, тем больший импульсный ток выдерживает силовой ключ. У него имеется достаточно времени для рассеяния тепла, генерируемого импульсным током при большем времени выключения (см. рис. 8). Например, ключ AOZ1380DI поддерживает ток 20 А в течение 10 мс при коэффициенте заполнения 2%. Таким образом, USB-C все чаще становится предпочтительным интерфейсом благодаря поддержке данных многих форматов и стандартов питания.

Однако по мере того как производители отказываются от разъемов

собственной разработки, необходимо предусмотреть защиту силового тракта во избежание повреждений системы, поскольку порты Type C поддерживают и высоковольтный тракт втекающего тока, и низковольтный тракт источника питания.

Катастрофический ущерб может возникнуть, если на низковольтное периферийное устройство или на 5-В системную шину подать 20 В/5 А (100 Вт) через порт Type C. Функции плавного пуска, блокирования обратного тока и защиты от перенапряжения являются теми средствами, которыми должны быть оснащены ключи в силовых трактах. Кроме того, для обеспечения рассеяния высокой мощности требуется большая ОБР на этапе плавного пуска и в случае появления пиковых токов, когда системным процессорам требуется пиковая мощность. Несмотря на то, что этот функционал можно реализовать в виде дискретных схем, решения на их основе занимают слишком большую площадь, что нивелирует преимущества использования тонких и двухсторонних разъемов Type C. ☞