

Компонентные модули PoE: сплиттеры и инжекторы компании Befact Technologies

Игорь КРИВЧЕНКО
ik@efo.ru

Технология Power over Ethernet (PoE) позволяет эффективно решать проблемы электропитания в IP-телефонии, камерах видеонаблюдения, беспроводных точках доступа WiFi и WiMAX, коммутаторах и маршрутизаторах, системах контроля доступа, POS-терминалах, охранных системах и других приложениях. В статье представлена продукция тайваньской компании Befact Technologies, которая выпускает сплиттеры PoE/PoE+ и инжекторы PoE/PoE+, выполненные в форм-факторе малогабаритных мезонинных модулей, удобных для непосредственного применения в качестве готовых электронных компонентов в конечных приложениях пользователя. Модули сплиттеров и инжекторов Befact Technologies требуют минимального количества дополнительных внешних компонентов, допускают интеграцию в приложения Gigabit Ethernet, реализуют функцию удвоения передаваемой мощности за счет резервов кабеля: питание одновременно передается как по парам данных, так и по свободным парам в кабеле.

Немного о технологии PoE

Power over Ethernet — это технология подачи электропитания через Ethernet к оконечным сетевым устройствам, которые для своей работы требуют и канала передачи данных, и источника питания. Это могут быть сетевые устройства специального назначения, коммутаторы Ethernet, беспроводные точки доступа, IP-камеры, сетевые накопители и т. п. Привлекательность технологии PoE состоит в том, что она использует только один комплект проводов как для передачи данных, так и для подачи питания. Это позволяет снизить затраты времени на установку конечных систем и сэкономить средства на стоимости силовых кабелей и других компонентов. Одна из главных особенностей PoE — возможность ее применения не только

при организации новых сетей, но и при модификации уже существующих. Чаще всего при модернизации сети требуется установка активного конечного оборудования именно там, где поблизости нет источника питания, а электропроводка отсутствует. Благодаря PoE-технологии WiFi точку доступа, например, можно устанавливать в местах наилучшего приема сигнала, а IP-камеру монтировать в любом удобном для обзора месте.

Текущая спецификация технологии PoE представлена и систематизирована в стандарте IEEE 802.3af [1], который описывает работу двух типов Ethernet-оборудования: источников питания (PSE) и потребителей питания (PD). PSE-устройство, входящее в состав активного оборудования, по терминологии стандарта обозначается “End-Point”, а выполненное в виде отдельного элемента

и включаемое в разрыв Ethernet-линии — “Mid-Span” [2]. Стандарт IEEE 802.3af предусматривает подачу по неэкранированной витой паре (включая также современные кабели категорий 5, 5e и 6) постоянного напряжения 48 В при максимальной мощности потребления 15 Вт, при этом не оказывает влияние на качество передачи и приема данных по сети. Эта технология работает с существующими кабельными системами без необходимости внесения каких-либо изменений. Подача напряжения в линию возможна в двух вариантах:

- Вариант А. На концах линии используются высокочастотные сигнальные трансформаторы с центральным отводом от обмоток. Постоянное напряжение питания подается на эти центральные отводы на передающей стороне и так же с центральных

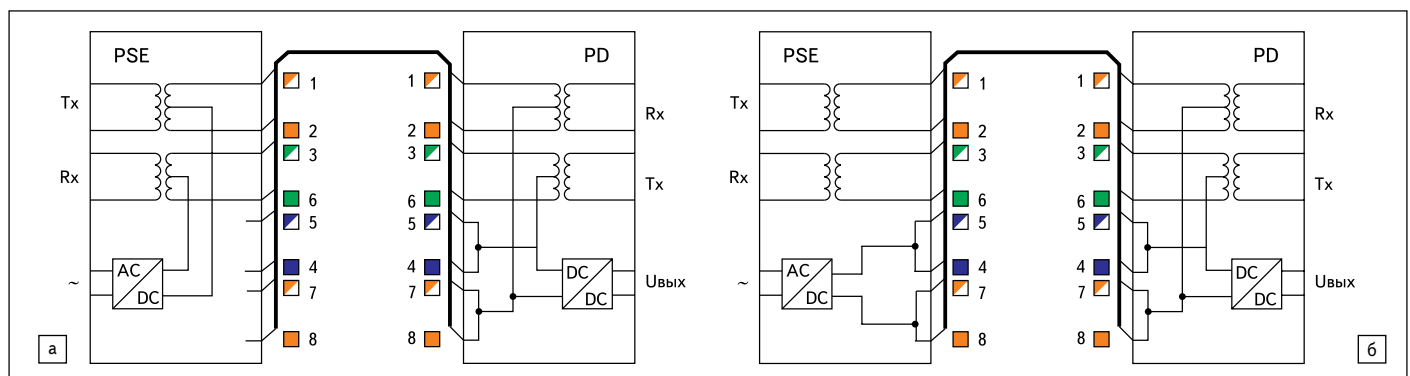


Рис. 1. Подача питания в линию Ethernet: а) вариант А; б) вариант В

отводов обмоток снимается на приемной стороне. Это позволяет без взаимного влияния передавать по одной паре проводов и высокочастотные данные, и постоянное напряжение питания (рис. 1а).

- Вариант В. Для передачи питания используются свободные пары в кабеле, поскольку современные кабельные сети Ethernet, соответствующие стандарту 100Base-TX, состоят из четырех витых пар, две из которых не задействованы (рис. 1б).

Это означает, что PSE-устройства (инжекторы) отличаются в зависимости от вариантов подачи напряжения в линию. Стандарт IEEE 802.3af позволяет таким устройствам подавать питание на пары (1, 2) и (3, 6) или на пары (4, 5) и (7, 8) обычного медного кабеля.

В отличие от инжекторов, устройства PD (сплиттеры) универсальны. Устройство PD обязано уметь принимать из сети и выделять питание в любом варианте (А или В), в том числе и при изменении полярности подключения (кабели типов patch cord или cross over), а правильную полярность получать с помощью диодного моста.

Сплиттеры бывают изолированными и неизолированными. Изолированные сплиттеры обеспечивают гальваническую развязку «вход/выход» в 1500 В. Они являются более защищенными устройствами, так как их силовые линии гальванически развязаны от источника. В неизолированных PD, например, короткое замыкание на любой из сторон PSE или PD может вывести из строя оба устройства, так как они гальванически связаны между собой общим («земляным») проводом.

Устройство PSE подает питание в кабель только в том случае, если подключаемое устройство является устройством типа PD. Таким образом, оконечное оборудование, не поддерживающее стандарт PoE, не будет выведено из строя при случайном подключении к инжектору. Процесс подачи напряжения в линию и снятия напряжения с линии осуществляется в несколько этапов (рис. 2):

1. Идентификация. На этом этапе определяется, является ли подключенное на противоположном конце кабеля устройство сплиттером. Устройство PSE подает на кабель напряжение от 2,8 до 10 В и определяет параметры входного сопротивления подключаемого устройства. Для устройства PD это сопротивление от 19 до 26,5 кОм с параллельно подключенным конденсатором емкостью от 0 до 150 нФ. Только после проверки соответствия параметров входного сопротивления подключенного сплиттера требуемому значению PSE переходит к следующему этапу — классификации. В противном случае инжектор повторяет этап идентификации через время не менее 2 мс.
2. Классификация. Служит для определения диапазона мощности, которую может потреблять устройство PD, и для дальнейшего контроля соответствия реально

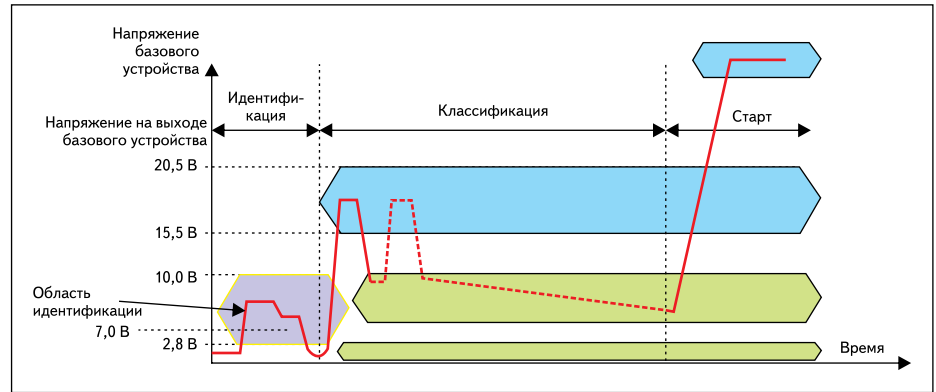


Рис. 2. Процедура подключения сплиттера по технологии PoE

потребляемой мощности заявленной. Классификация выполняется путем введения инжектором в кабель напряжения от 14,5 до 20,5 В и измерения тока в линии. Каждому устройству PD в зависимости от заявленной потребляемой мощности будет присвоен класс от 0 до 4 (табл. 1, 2). Максимальный диапазон мощностей имеет класс 0. Класс 4 зарезервирован стандартом для дальнейшего развития. Устройство PSE может снять напряжение с кабеля, если устройство PD стало потреблять мощность большую, чем та, которую заявило во время этапа классификации.

3. Старт. После прохождения этапов идентификации и классификации устройство PSE подает в кабель напряжение 48 В (полное напряжение) за время, не меньшее чем 400 мс. Затем инжектор постоянно контролирует работу сплиттера двумя способами:

- Если устройство PD в течение 400 мс будет потреблять ток меньше 5 мА, то инжектор снимает питание с кабеля.
- Инжектор подает в кабель напряжение частотой 500 Гц амплитудой 1,9–5 В и вычисляет входное сопротивление сплиттера. Если это сопротивление будет больше, чем 1980 кОм в течение 400 мс, то инжектор снимает питание с кабеля.

Кроме того, устройство PSE во время работы непрерывно следит за током перегрузки. Если устройство PD будет потреблять ток более 400 мА в течение 75 мс, то питание с кабеля также будет снято.

4. Отключение. В случае, когда устройство PSE определяет факт отключения сплиттера от кабеля, или в случае превышения потребляемого сплиттером тока инжектор снимает напряжение с кабеля за время не меньше, чем 500 мс.

Стандарт 802.3af не поддерживает Gigabit Ethernet, который использует все 4 витые пары в кабеле для передачи данных. По этой причине некоторые производители выпускают оборудование PoE, которое может работать в сетях Gigabit Ethernet, но не отвечает существующему базовому стандарту. Кроме того, некоторые инжекторы могут подавать питание мощностью более 15 Вт для под-

Таблица 1. Классификация устройств PSE по мощности

Класс	Использование	Минимальная мощность на выходе устройства PSE, Вт
0	По умолчанию	15,4
1	Опционально	4,0
2	Опционально	7,0
3	Опционально	15,4
4	Зарезервировано для будущих применений	Аналогично классу 0

Таблица 2. Классификация устройств PD по мощности

Класс	Использование	Диапазон максимальной мощности, потребляемой устройством PD, Вт
0	По умолчанию	0,44–12,95
1	Опционально	0,44–3,84
2	Опционально	3,84–6,49
3	Опционально	6,49–12,95
4	Недоступно	Зарезервировано для будущих применений

держки мощных оконечных устройств. Это оборудование уже успело получить широкое распространение на рынке, что побудило институт IEEE создать рабочую группу для выпуска обновления к стандарту — 802.3at. Новый стандарт PoE+ предусматривает мощность величиной 30 Вт. В первую очередь, это необходимо для высокоскоростных WiFi точек доступа и камер видеонаблюдения с функциями масштабирования и перемещения в горизонтальной/вертикальной плоскостях. Кроме того, в задачи рабочей группы PoE+ также входит разработка способа взаимодействия оборудования PSE с сетями Gigabit и 10 Gigabit Ethernet.

Что следует иметь в виду при выборе сплиттера или инжектора

При подборе уже готовых или при разработке собственных PoE-устройств (сплиттеров и инжекторов) желательно заранее иметь представление об их внутренней структуре и особенностях построения. Это облегчает как проектирование, так и рациональный выбор конкретного устройства для конкретного приложения при анализе продукции различных производителей.

Сплиттеры

Первый критерий — наличие или отсутствие гальванической развязки входных силовых цепей от выходных. Как уже упоминалось выше, PD-устройства бывают изолированными и неизолированными. Основными преимуществами сплиттеров с гальванической развязкой являются хорошая степень защиты от короткого замыкания на обеих сторонах соединения, возможность изолировать источник короткого замыкания на любой из сторон — PSE или PD, а также дополнительные возможности для снижения уровня выходных помех. Поэтому при прочих равных условиях всегда рекомендуется выбирать или разрабатывать сплиттеры с гальванической развязкой, хотя они и дороже и сложнее в реализации.

Обобщенная структура PD-устройства, состоящего из пяти основных блоков, приведена на рис. 3:

- Интерфейс с линией питания (Power Interface) обеспечивает возможность работы сплиттера с PSE-устройствами (инжекторами) для двух вариантов подачи напряжения в линию — А и В.
- Устройство защиты от перенапряжений (Surge Protector) реализует защиту сплиттера от бросков напряжения на входе, включая контроль за уходом входного напряжения за установленные границы (снизу и сверху).
- PD-сигнатура (PD Signature) — основной блок сплиттера. Отвечает за классификацию — определение диапазона мощности, которую может потреблять подключаемое к линии устройство PD, а также за дальнейший контроль соответствия реально потребляемой мощности заявленной.
- DC/DC-преобразователь (DC/DC Converter) преобразует входное напряжение 48 В в выходное напряжение заданной величины.
- Выходной фильтр (Output Filter) понижает уровень генерируемых помех на выходе сплиттера.

В зависимости от конкретной фирмы-производителя, сложности решаемой задачи PoE, структуры локальной сети и многих других факторов реальный узел (или модуль) сплиттера может включать от одного до всех пяти блоков.

Блок D — DC/DC-преобразователь — обязательно присутствует в любом сплиттере, так как основной задачей является преобразование высокого входного напряжения в пониженное выходное. Данный преобразователь должен быть стабилизированным, поскольку входное напряжение, выделяемое из линии, лишь «привязано» к средней точке 48 В, но в реальных условиях может колебаться от 38 до 55 В. Это связано со стабильностью источника питания на передающей стороне, с характером токовой нагрузки в линии, а также с длиной линии и падением напряжения на ней. Как правило, стабилизированное выходное напряжение сплиттеров

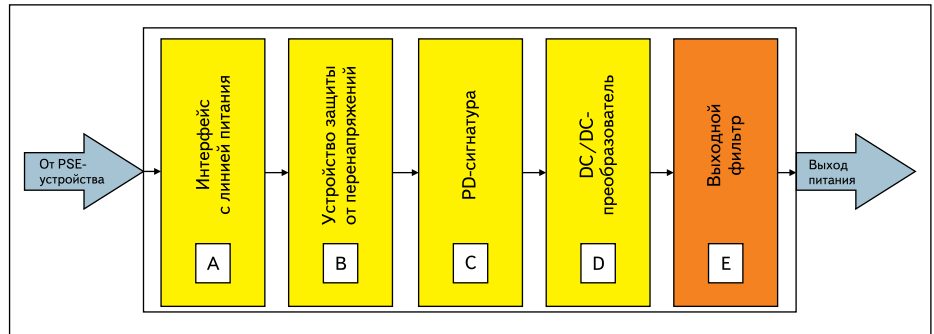


Рис. 3. Типовая блок-схема сплиттера

фиксировано и выбирается из стандартного ряда 3,3, 5, 9, 12 и 24 В, а дальнейший набор требуемых питающих напряжений реализуется с помощью вспомогательных преобразователей на целевой плате. Но встречаются версии сплиттеров, которые имеют возможность регулировки своего выходного напряжения с помощью внешнего элемента — резисторного делителя или подстроечного резистора. Применение данной опции вряд ли оправданно, так как стабильность выходного напряжения сплиттера будет зависеть, в том числе, от качества этого внешнего компонента и стабильности его характеристик, особенно при значительных перепадах температур. Кроме того, КПД регулируемых сплиттеров обычно ниже, так как дополнительная энергия теряется в цепях внешней обратной связи и цепях регулируемого стабилизатора.

Для PD-устройств, соответствующих требованиям стандарта IEEE 802.3af, наличие блока С также является обязательным условием. И здесь могут встречаться разные варианты исполнения. Если вернуться к началу статьи (классификация устройств PD по потребляемой мощности, табл. 2), то видно, что классы от 1 до 3 представляют собой набор фиксированных диапазонов мощности, не перекрывающих друг друга. Класс 0 (в стандарте IEEE 802.3af — по умолчанию)

перекрывает все остальные классы, как бы объединяя их. Программирование сплиттеров для работы в этом классе является наиболее оптимальным решением. Конечный потребитель PoE-приложения при этом ограничен только максимальной разрешенной мощностью, и он не должен будет заботиться о проблемах классификации при уходе приложения в режим ожидания (или «сна») с минимальной потребляемой мощностью. Поэтому большинство производителей сплиттеров жестко определяют по умолчанию класс 0. Тем не менее встречаются версии сплиттеров, которые допускают возможность программирования класса по потребляемой мощности с помощью дополнительных внешних компонентов, как правило — резисторов и конденсаторов. С практической точки зрения такая дополнительная гибкость может потребоваться только в редких случаях, а для большинства применений она лишь снижает КПД сплиттера и увеличивает зависимость стабильности и надежности его работы от качества дополнительной внешней «обвески».

Блок Е обычно является составной частью блока D, так как в состав любого DC/DC-преобразователя входит сглаживающий выходной фильтр. Но некоторые производители модульных и законченных сплиттеров до-

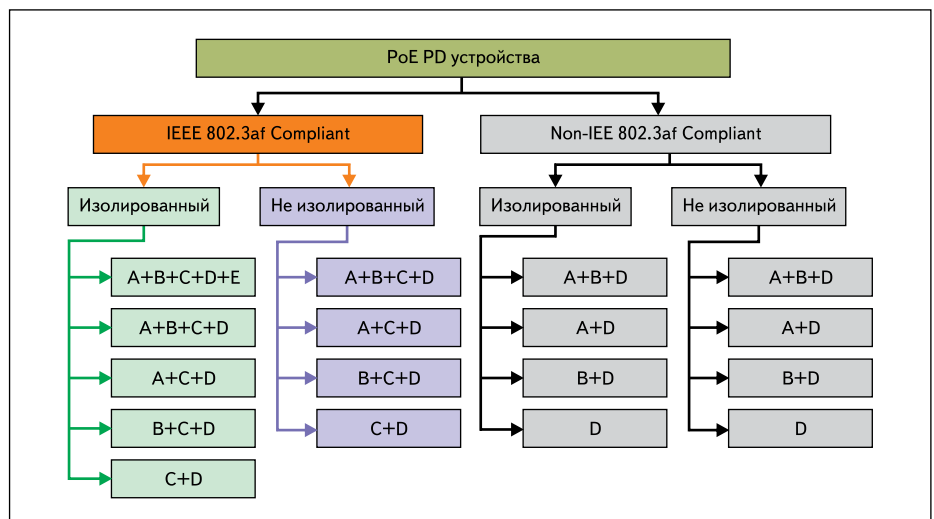


Рис. 4. Возможные конфигурации сплиттеров

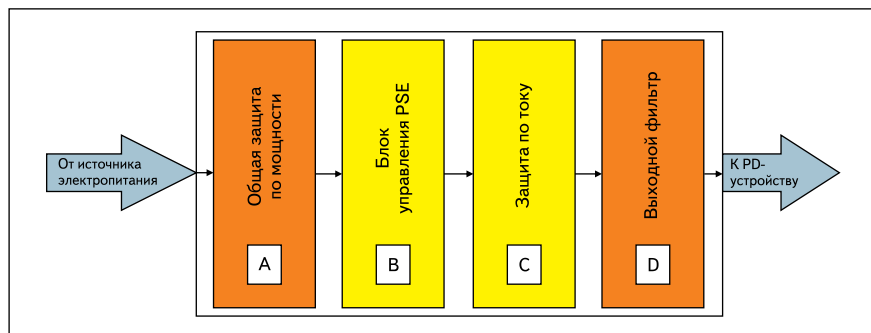


Рис. 5. Типовая блок-схема инжектора

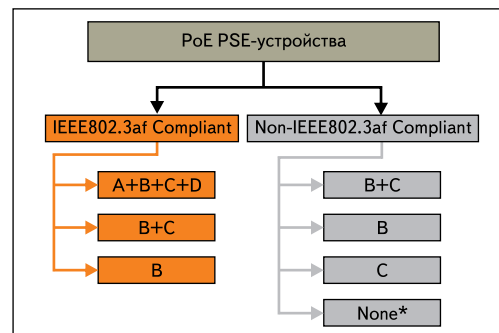


Рис. 6. Возможные конфигурации инжекторов

полнительно оснащают их отдельным узлом выходного фильтра. Такая опция может оказаться особенно полезной, когда на целевой плате требуется получить несколько питающих напряжений. При повышенном качестве исходного напряжения требования к вторичным (линейным или импульсным) преобразователям на целевой плате могут быть снижены, что сказывается на снижении стоимости всего конечного приложения.

Функциональные блоки А, В, С, D и Е могут присутствовать в конечной структуре сплиттеров в различных сочетаниях. Обобщенное «дерево» всех возможных комбинаций показано на рис. 4.

Инжекторы

Для PSE-устройств, в отличие от сплиттеров, наличие гальванической развязки по постоянному току входных цепей от выходных не требуется, так как она реализуется на этапе преобразования AC/DC в источнике питания. Поэтому инжекторы (в том числе и с целью удешевления) разрабатываются и выпускаются без гальванической развязки. Обобщенная структура PSE-устройства, состоящего из четырех основных блоков, приведена на рис. 5:

- Общая защита по мощности (Total Power Protection) обеспечивает защиту многоканального инжектора в случае, когда все выходные каналы находятся в состоянии короткого замыкания (максимальная отбираемая мощность). Этот блок также гарантирует защитное отключение инжектора, если входное напряжение от внешнего источника питания выходит за разрешенные границы (как снизу, так и сверху). Блок А входит в состав продукции далеко не всех производителей, даже тех, кто выпускает многоканальные инжекторы. Но он особенно полезен для дополнительной защиты инжектора от перегрева и значительных бросков напряжения на входе.
- Блок управления PSE (PSE Power Manager) обеспечивает корректную работу инжектора на начальных этапах идентификации, классификации и старта, а также осуществляет последующий контроль за мощностью, потребляемой присоединенными PD-устройствами, включая цикл их отключения.

- Защита по току (Extra Over Current Protect) определяет наличие перегрузки по выходному току в линии или возникновение короткого замыкания. Также служит для защиты предыдущего блока (PSE Power Manager).

- Выходной фильтр (EMI Reduction) снижает уровень генерируемых токовых помех на выходных линиях инжектора. Является дополнительной опцией и не часто включается производителями в состав своей продукции. Но некоторые производители модульных инжекторов и готовых изделий дополнительно оснащают свои инжекторы таким отдельным блоком выходного фильтра. Эта опция может оказаться особенно полезной, когда необходимо гарантированно обеспечить надежную передачу данных по Ethernet-кабелю при любом способе включения на расстояние до 100 м.

В зависимости от конкретной фирмы-производителя, сложности решаемой задачи PoE, структуры локальной сети и многих других факторов реальный узел (или модуль) инжектора может содержать все четыре блока. Иногда встречаются «вырожденные» инжекторы, которые не содержат ни одного из описанных блоков. В таком случае PSE-устройство представляет собой лишь место на целевой плате с печатными проводниками от внешнего источника питания до выходного разъема RJ-45. Для подобных решений встречается еще и такое обозначение — «пассивный инжектор». Но в подавляющем большинстве случаев один блок В — блок управления PSE — всегда входит в состав инжектора и является обязательным для PSE-устройств, соответствующих требованиям стандарта IEEE 802.3af. Остальные функциональные блоки могут присутствовать в конечной структуре в различных сочетаниях. Обобщенное «дерево» всех возможных комбинаций показано на рис. 6.

Производство PoE компании Befact Technologies [3]

Модули встраиваемых PoE сплиттеров Befact Technologies (рис. 7) выпускаются для работы в стандартном и расширенном диапазоне мощности. Сплиттеры, работающие в расширенном диапазоне мощности

PoE+, обратно совместимы для приложений стандартного диапазона мощности PoE. Все PD-устройства компании Befact Technologies (серии TPD, THPD, SPD) соответствуют требованиям стандарта IEEE 802.3af. Они содержат все пять функциональных блоков: A+B+C+D+E (рис. 3), выпускаются в нескольких модификациях с различными уровнями выходного напряжения и мощности, имеют гальваническую развязку, защиту от короткого замыкания и перегрева, а также другие полезные функциональные и эксплуатационные особенности. При их производстве используются только многослойные керамические конденсаторы (MLCC), что гарантирует надежную работу при непрерывной эксплуатации, в том числе и в условиях высокой температуры окружающей среды. Сводные характеристики сплиттеров Befact Technologies приведены в таблице 3.

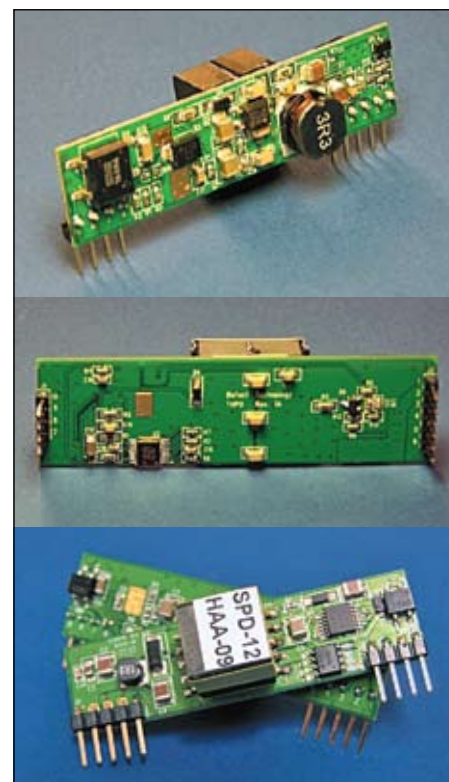


Рис. 7. Модульные сплиттеры Befact Technologies: серии TPD, THPD, SPD

Таблица 3. Сводные характеристики модульных сплиттеров Befact Technologies

Сплиттеры	Серия TPD (PoE)			Серия THPD (PoE+)			Серия SPD (PoE)	
	TPD-12	TPD-50	TPD-33	THPD-12	THPD-50	THPD-33	SPD-12	SPD-50
Соответствие стандарту IEEE 802.3af	+	+	+	+	+	+	+	+
Уровень изоляции, В	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Работа в сетях Fast и Gigabit Ethernet	+	+	+	+	+	+	+	+
Поддержка обоих вариантов подачи напряжения в линию: А/В	+	+	+	+	+	+	+	+
Выходное напряжение, В	12	5	3,3	12	5	3,3	12	5,1
Максимальная выходная мощность, Вт	12	12	12	21	19	16	12	12
Пиковая выходная мощность, Вт	13	13	13	22	20	17	13	13
Рекомендуемая выходная мощность при непрерывной работе	12	12	12	21	19	16	11	11
Максимальный КПД DC/DC-преобразователя, %	89	86	81	91	79	74	89	85
Минимальный ток нагрузки, мА	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50

Серия TPD — сплиттеры PoE с выходными напряжениями 3,3, 5 и 12 В и максимальной выходной мощностью 12 Вт. Серия THPD — сплиттеры PoE/PoE+ с выходными напряжениями 3,3, 5 и 12 В и максимальной выходной мощностью до 21 Вт. Серия SPD — бюджетные сплиттеры PoE с выходными напряжениями 5 и 12 В и максимальной выходной мощностью 11 Вт. Они повыводно и функционально совместимы со сплиттерами базовой серии TPD. Отличия серий SPD и TPD можно посмотреть в [4].

Основные преимущества модульных сплиттеров серий TPD, SPD и THPD компании Befact Technologies:

- Высокая эффективность работы встроенного DC/DC-преобразователя.
- Многослойные керамические конденсаторы (MLCC).
- Защита от бросков напряжения на входе.
- Широкий диапазон входных напряжений.
- Отключение при пропадании входного напряжения.
- Встроенная функция автоматического защитного отключения при перегреве.
- Встроенная защита от короткого замыкания в нагрузке.
- Встроенная защита от превышения допустимого тока в нагрузке.
- Поддержка режима «мягкого старта».
- Поддержка работы с оборудованием PSE всех типов (End-point и Mid-span) за счет встроенного двухканального мостового выпрямителя.
- Поддержка приложений PoE в средах Fast и Gigabit Ethernet.
- Наличие площадки на плате модуля для эффективного отвода тепла.
- Малое количество внешних компонентов — один фильтрующий конденсатор.
- Встроенный фильтр для снижения уровня помех на выходе.

Модули встраиваемых четырехпортовых PoE-инжекторов Befact Technologies (рис. 8) выпускаются для работы в стандартном и расширенном диапазонах мощности. Инжекторы, работающие в расширенном диапазоне мощности PoE+, обратно совместимы для приложений стандартного диапазона мощности PoE. Изделия могут использоваться как в самостоятельном (End-point), так и во вспомо-

гательном (Mid-span) PSE-оборудовании. Они обеспечивают одновременную подачу питания к четырем оконечным PoE-устройствам (PD) по стандартному Ethernet-кабелю 5-й категории. Все PSE-устройства компании Befact Technologies (серии PSE-QD и PSE-HQD) соответствуют требованиям стандарта IEEE 802.3af. Они содержат все четыре функциональных блока: A+B+C+D (рис. 5), имеют широкий диапазон допустимых входных напряжений, защиту от превышения выходного тока и от короткого замыкания, функцию теплового отключения в случае перегрева, встроенную защиту от превышения суммарной выходной мощности, а также другие полезные функциональные и эксплуатационные особенности. Компания Befact гарантирует надежную работу инжекторов при непрерывной эксплуатации, в том числе и в условиях высокой температуры окружающей среды. Сводные характеристики изделий приведены в таблице 4.

Серия PSE-QD — четырехпортовые инжекторы PoE стандартной мощности, максимальный выходной ток составляет 450 мА/порт. Серия PSE-HQD — четырехпортовые инжекторы PoE/PoE+ повышенной мощности, максимальный выходной ток составляет 650 мА/порт.

Основные преимущества модульных инжекторов серий PSE-QD и PSE-HQD компании Befact Technologies:

- Поддержка режимов работы оборудования End-point и Mid-span.

Таблица 4. Сводные характеристики модульных сплиттеров Befact Technologies

Инжекторы	PoE	
	PSE-QD	PSE-HQD
Соответствие стандарту IEEE 802.3af	+	+
Работа в сетях Fast и Gigabit Ethernet	+	+
Поддержка режимов работы оборудования End-point и Mid-span	+	+
Поддержка классов PoE 0...4	+	+
Поддержка режима «мягкого старта»	+	+
Максимальная суммарная выходная мощность, Вт	109	160
Максимальный выходной ток (на порт), мА	450	650
Наличие отдельных выходов для статусных светодиодов (на порт)	+	+
Встроенный фильтр помех общего вида (на порт)	+	+
Возможность удвоения выходной мощности путем объединения пар портов	+	+

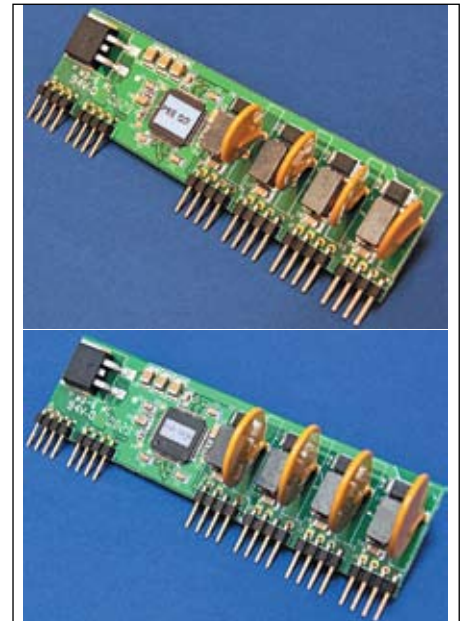


Рис. 8. Модульные инжекторы Befact Technologies: серии PSE-QD и PSE-HQD

- Поддержка классов PoE 0...4 при классификации подключаемых устройств PD.
- Автоматическое защитное отключение при перегреве.
- Защита от короткого замыкания и от превышения тока в нагрузке (на каждый порт).
- Защита от кратковременных бросков тока в нагрузке (на каждый порт).
- Широкий диапазон входных напряжений.
- Защита от недопустимого повышения/понижения выходного напряжения.
- Защита от бросков напряжения на входе.
- Защита от превышения максимальной суммарной выходной мощности.
- Наличие площадки на плате модуля для эффективного отвода тепла.
- Поддержка режима «мягкого старта» (задержка примерно 200 мс).
- Встроенные выходные фильтры (на каждый порт) для снижения уровня шумов.
- Два отдельных вывода (на каждый порт) для подключения статусных светодиодов.

Отличительными чертами компонентных модулей PoE/PoE+ нижнего ценового диапазона компании Befact Technologies являются высокое качество и надежность в работе. Сплиттеры и инжекторы Befact Technologies могут быть использованы как законченные электронные компоненты в разнообразных встраиваемых сетевых приложениях, в том числе при инсталляции или модификации локальных сетей Ethernet.

Литература

1. <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/index.html>
2. <http://ockk.ru/?p=5687>
3. www.befact.com.tw
4. <ftp://ftp.efo.ru/pub/befact/DifferenceTPDvsSPD.pdf>