ЗАМЕТКИ об (инжекторах) Power over Ethernet

Часть 2

Д. Терентьев, технический директор компании COMMENG /
ic@commeng.ru

УДК 621.391.31, DOI: 10.22184/2070-8963.2021.93.1.54.59

Статья посвящена вопросам технологии Power over Ethernet (PoE) – разработке инжекторов, их совместимости с другим оборудованием, проблемам эксплуатации. В течение многих лет периодически возникали проблемы, которые автору приходилось решать, и вопросы, которые требовали ответа. Некоторые из них коротко описаны в этих заметках, в заголовке которых слово "инжекторы" помещено в скобки, так как все описанное относится, в значительной степени, к технологии PoE в целом. Автор просит иметь в виду, что статья собрана из отдельных кусочков – "заметок", и на строгость изложения и полноту раскрытия темы не претендует. Список литературы приводится в заключительной третьей части статьи.

НЕОБХОДИМЫЕ НАПОМИНАНИЯ

В первой части данной статьи (опубликована в журнале "ПЕРВАЯ МИЛЯ", 2020, № 7–8, С. 68–73) читатель найдет:

- Краткий словарь – поможет, если встретится незнакомый термин или аббревиатура;
- Заметку № 1. Разъем RJ-45 (8p8c) – как выяснилось, одна из самых проблемных частей при передаче PoE;
- Заметку № 2. Защита от помех – попытка ответить на вопрос, почему контроллер PoE – самая уязвимая часть;
- Заметку № 3. Черные квадраты № 1 и 2.

Вернемся к черным квадратам. На рис.5 в первой части черными квадратами № 1 и 2 были обозначены функциональные блоки, обеспечивающие подачу PoE в PSE и его выделение в PD.

Прежде чем разобраться, чем отличается содержание черного квадрата № 1 и выполняемые им функции при Passive PoE и Standard PoE, остановимся на общей части – на трансформаторах.

ЗАМЕТКА № 4 ТРАНСФОРМАТОРЫ

Поскольку эту дипломную работу читать никто не будет, то сердечник трансформатора целесообразно выполнить из дерева

Давайте посмотрим на схемы трех LAN-трансформаторов (рис.7) производителей из Китая, США и Германии: TRC1188NLE от Txxcom [13], ETH1-460L от Coilcraft [14] и трансформатор без собственного имени, а только с номером от Würth Elektronik [15].

LAN-трансформатор выполняет функции гальванической развязки и согласования кабеля с портами приема и передачи микросхемы РНУ и представляет собой сборку для подключения двух или всех четырех пар. Кроме согласующих трансформаторов с коэффициентом трансформации, равным единице, на всех трех схемах мы видим дроссели с магнитной связью, включенные в каждый провод пары. Их задача – снижение уровня переходных помех между парами кабеля и дифференциальных помех от внешних источников, поэтому включаются они обычно со стороны линии. Впрочем, можно подключить и наоборот (как понятно из надписей на схеме ETH1-460L), на вносимое затухание это никак не влияет.

Не будем углубляться в рассмотрение трансформаторов как части среды для передачи сигналов, а посмотрим на них, как на часть электрической цепи для PoE. Напряжение питания подается через средние точки трансформатора, причем в устройстве от компании Würth Elektronik обеспечивается дополнительная защита от помех в цепи PoE.

Рис.7. Принципиальные схемы LAN-трансформаторов: а – TRC1188NLE (Trxcom), б – ETH1-460L (Coilcraft), в – Art.-Nr.7490220123 (Würth Elektronik)

Компонент TRC1188NLE мы используем уже много лет в репитерах, инжекторах и инжекторах-сплиттерах. Когда возникла потребность в мощных инжекторах, то возник вопрос, какую мощность можно передавать в линию через этот трансформатор. Так как производитель в сопроводительной документации максимальный рабочий ток не указал, то пришлось провести эксперимент. При токе величиной 2 А трансформатор сильно греется, при 3,5 А – разрушается. В результате мы решили установить значение максимального длительного тока, подаваемого в пару проводов через среднюю точку трансформатора, условно равным 1 А, что примерно совпадает с возможностями используемого 8-контактного разъема (см. заметку № 1). Итак, если считать напряжение источника PoE равным 50 В, то при таких ограничениях в линию можно передать не более 50 Вт при использовании двух пар и 100 Вт – при четырех.

Применяемый нами PSE-контроллер типа LTC4279 [12] позволяет передавать в линию мощность до 123 Вт при напряжении подаваемого на него питания от 51 до 65 В, при этом ток через одну пару составит более 1,2 А. Производитель контроллера рекомендует использовать LAN-трансформатор ETH1-460L, однако мы рассматриваем также компонент от Würth Elektronik, который позволяет по паре передавать ток до 1,5 А. Пока разработка инжекторов такой мощности только в проекте, так как потребности рынка сегодня в них мы не видим.

ЗАМЕТКА № 5. СРАВНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ PASSIVE PoE И STANDARD PoE (ЧЕРНЫЙ КВАДРАТ № 1)

Если вам непонятно какое-то слово в техническом тексте, не обращайтесь на него внимания. Текст полностью сохранит смысл и без него.

(Закон Купера. Из законов Мерфи о научных исследованиях)

Как было отмечено выше, в самом простом случае реализовать передачу Passive PoE можно, просто подключив источник питания постоянного тока к средним точкам трансформаторов (питание поверх данных) или к свободным парам, если они есть (питание по свободным парам). Но этот источник питания обязательно должен быть с ограничением тока или отключением при перегрузке – в противном случае возможно возникновение проблем. Например, если при монтаже разъема будут перепутаны провода.

Самое простое решение для защиты от сверхтоков в устройстве PSE – применение многократного предохранителя, который используется в различных устройствах, например инжекторе-сплиттере Commeng PoET IS-AB f/f [16]. От повреждения контактов разъемов при коротком замыкании это не спасет, но кабель останется цел, источник питания от короткого замыкания будет защищен, и возгорания в PD тоже не случится.

Passive PoE Vs Standard PoE: стоимость реализации

Давайте для сравнения выберем более совершенный источник Passive PoE, содержащий

Рис.8. Схема источника Passive PoE с защитой от перегрузки

быстродействующую электронную защиту от перегрузки. Схема, приведенная на рис.8, используется в инжекторах Passive PoE нескольких типов, например в Commeng PoET Inj-AB f/f [17].

На рис.9 показана типовая схема применения микросхемы PSE – PSE-контроллера LTC4279 [12], который используется в мультирежимном Standard PoE-инжекторе Commeng PoET Inj-Multi [18].

В обеих схемах для включения и выключения PoE используется n-канальный МОП-транзистор (MOSFET), включенный в цепь подачи минуса от источника питания.

Элементов обвязки в схеме на рис.8 несколько больше (в реальной схеме есть еще пара варисторов и светодиодные индикаторы), но принципиальной разности в стоимости реализации (т.е. в стоимости компонентов, затратах на монтаж) нет. Все элементы доступны к закупке, возможно применение элементной базы различных производителей.

В сухом остатке главное в сравнении – микросхемы. В первом случае (Passive PoE) это операционный усилитель (ОУ) – недорогой, широко применяемый, имеющий несколько доступных на рынке аналогов. Микросхема PSE-контроллера стоит больше, чем все элементы первой схемы, вместе взятые. Вариантов замены ее у нас нет. Срок поставки довольно большой, логистика не очень простая, есть и другие проблемы при закупке.

Надо добавить, что это контроллер с возможностями, выходящими за рамки стандарта IEEE 802.3bt, которые мы еще не полностью использовали.

Passive PoE Vs Standard PoE: защита от перегрузки по току, подача и отключение PoE

Собственное потребление каждой из сравниваемых схем не превышает 1-1,2 Вт, к этому надо добавить небольшое падение напряжения в цепи протекания тока на резисторе и в транзисторе. Однако при определении напряжения источника питания необходимо учитывать, прежде всего, падение напряжения в проводах кабеля (с этого автор предполагает начать третью, заключительную часть статьи).

В схеме подачи Passive PoE ток срабатывания защиты от перегрузки устанавливается переменным резистором. Пропорциональное току в цепи питания напряжение подается на вход ОУ, где сравнивается с опорным. Ток срабатывания на 20% превышает номинальный (1 А при использовании двух пар и 2 А – четырех пар). Введено небольшое замедление срабатывания с учетом возможности кратковременного броска тока при подаче питания на PD. Для сброса нужно нажать кнопку RESET или просто отключить напряжение питания (не забыв предварительно определить и устранить причину перегрузки).

Рис.9. Типовая схема применения PSE-контроллера

Важно, что напряжение источника питания, а соответственно и PoE, подаваемого в линию, может изменяться в пределах от 20 до 100 В.

В схеме Standard PoE значение сопротивления R_{PM} определяет класс мощности, которому соответствует максимальное значение мощности, подаваемой в линию: PoE (13 Вт); PoE+ (25,5 Вт); PoE++ (38,7 Вт, 52,7 Вт, 70 Вт, 90 Вт), и, наконец, UltraPoE (123 Вт). Если вычесть из этого значения потери в кабеле, то получим максимально возможную мощность, которую может получить PD в установленном режиме.

В упомянутом выше инжекторе Commeng PoET Inj-Multi выбор режима POWER MODE (класса питания) возможен с помощью установки джамперов. Не реализован в нем только режим Ultra PoE, так как для этого требуется трансформатор, рассчитанный на больший ток (см. заметку № 4).

Защита от перегрузки по току работает примерно так же как и в описанной выше схеме Passive PoE. Напряжение, подаваемое через R_{PM} на вход контроллера PWR MODE, сравнивается с напряжением, снимаемым с резистора, подключенного ко входу SENSE. Отличие состоит в том, что в первом случае мы меняем значение сопротивления, отслеживающего протекающий ток, а во втором – опорное напряжение.

В схеме Passive PoE подача питания в линию происходит при подключении источника питания или при сбросе схемы защиты. В схеме Standard PoE подача и подключение PoE управляется сигналом на выходе контроллера GATE.

Standard PoE: взаимодействие PSE и PD

Перечислим и кратко охарактеризуем этапы взаимодействия PSE и PD:

1. Определение подключения (Detection) – контроллер PSE определяет, является ли подключенное к PSE устройство питаемым (PD) и совместимым с PSE;
2. Классификация (Classification) – контроллер PSE определяет класс мощности, потребляемой PD;
3. Подача полного напряжения (Startup) – при этом PSE контролирует потребляемый ток и входное сопротивление PD, при их соответствии происходит переход в рабочий режим;
4. Рабочий режим (Normal Operation) – PSE передает напряжение питания на PD, при этом контролирует потребляемый PD ток;
5. Отключение (Disconnection) – происходит, если PSE определяет, что PD отключено от кабеля, изменило свои параметры на недопустимые или произошла перегрузка по току.

Если не вдаваться в детали, контроль на всех этапах состоит в измерении входного сопротивления PD и потребляемого им тока, при этом PSE подает в линию напряжения разного уровня, а также импульсы напряжения с определенной частотой. На этапе 1 (Detection) при напряжении 3-10 В измеряется входное сопротивление PD, на этапе 2 (Classification) напряжение повышается и в зависимости от потребляемого тока определяется класс мощности. Если PSE может передать такую

Рис.10. Типовая схема применения PD-контроллера LTC 4279

мощность, то подается полное напряжение. В рабочем режиме 4 (Normal Operation) контролируется ток потребления и входное сопротивление.

Минимальный ток потребления PD в рабочем режиме составляет порядка 5 мА, максимальный – определяется классом мощности. При выходе величины тока за эти рамки происходит отключение PoE (Disconnection).

Теперь перенесемся на другой конец физического сегмента кабеля. Для иллюстрации выберем PD-контроллер IEEE 802.3bt LTC 4279 [19] из линейки того же производителя – Analog Devices [20]. Типовая схема его применения показана на рис.10.

Для начала откинем все лишнее – то есть источник дополнительного напряжения (V_{AUX}) и все цепи, подключенные к нему, а вывод контроллера соединим с GND (эта часть схемы нужна для координации работы контроллера с другими частями системы электропитания PD, если есть такая необходимость).

Если сопоставить рассматриваемую схему со схемой PSE-контроллера, то становится понятно, в самых общих чертах, как она работает и взаимодействует с PSE. Класс мощности PD определяется значениями сопротивлений резисторов R_{CLC} и/или R_{CLC++} .

ЗАМЕТКА № 6. СОВМЕСТИМОСТЬ PASSIVE POE И STANDARD POE

Как известно, стандарты IEEE 802.3af/at/bt полностью совместимы снизу вверх (обратная совместимость),

а вот сверху вниз совместимость ограничена классом мощности. Это значит, что PSE PoE++ (стандарт IEEE 802.3bt) может подать питание на PD PoE+ (IEEE 802.3at), а вот если PSE PoE, который может выдать в линию максимум 15 Вт при классификации определит, что PD PoE++ "хочет" получить от него 25 Вт, то PSE питания в линию не подаст.

Инженеры Commeng убедились (путем анализа доступной информации и испытанию всех устройств с PoE, которые попадали в руки), что практически все PD Standard PoE можно запитать от источников Passive PoE. Нужно только подать напряжение нужной полярности на нужные пары (а многие PD еще и имеют диодный мост, поэтому даже если полярность перепутать, то не беда).

Была информация, что некоторые устройства Industrial Ethernet "не хотят" получать питание от Passive PoE – просто не включают. Такие случаи можно считать, скорее, исключением из общего правила.

Как правило, при подаче на PD Standard PoE полного напряжения (минуя этапы подключения и классификации) он начинает работать, как обычно.

Когда мы начинали заниматься PoE, то сделали, казалось бы, совершенно логичный вывод, что устройства PD, рассчитанные на питание Passive PoE и не содержащие PD-контроллера, а только преобразователь DC/DC, от источников Standard PoE работать не могут в принципе. И ошиблись.

ЗАМЕТКА № 7. OFF-DESIGNE MODE

Указания по установке и использованию прибора, которые были поставлены вместе с прибором, тут же выбрасываются отделом по приемке товара
(Универсальный закон практики № 14.
Из Полного собрания законов Мерфи)

Если перед монтажом (а иногда и перед закупкой) технические описания не читаются, это, конечно, плохо. Но не всегда результатом является убитое оборудование, иногда в нем открываются такие возможности, о которых его разработчики и не подозревали (я не имею в виду лайфхаки в роде "как открыть бутылку вина с помощью велосипедного насоса").

Репитер Commeng RPT 100B-TX [21] выпускается уже больше 10 лет в разных версиях. Система его электропитания Passive PoE состоит из преобразователя DC/DC, преобразующего напряжение 12–60 В в необходимые для работы репитера 3,3 В. Напряжение на преобразователь подается по свободным парам или от средних точек трансформатора. Возможна трансляция Passive PoE в следующий физический сегмент.

При обсуждении с одним из заказчиков вопроса, сколько можно включить репитеров последовательно, выяснилось, что на его объектах удаленные (150–200 м длины кабеля) IP-камеры подключены через репитеры к коммутатору, поддерживающему стандартное PoE в соответствии со стандартом IEEE 802.3at (рис.11). Проверили – действительно, работает.

Факт был налицо и требовал объяснения. Мы сделали чисто умозрительное заключение, суть которого состоит в следующем. На этапах определения подключения и классификации величины напряжения, подаваемого PSE в линию, недостаточно для запуска DC/DC-преобразователя репитера, который имеет высокое входное сопротивление и не оказывает влияние на взаимодействие контроллеров PSE и PD. После подачи полного напряжения конвертер DC/DC запускается и вырабатывает необходимое для работы схемы репитера напряжение 3,3 В, потребляя мощность порядка 1 Вт.

Мы видим тут классический пример нештатного (нерасчетного) режима, для описания которого, на взгляд автора, больше подходит английский термин off-design mode. Это такой режим работы, на который разработчики не только не рассчитывали, но даже и не думали, что кому-то в голову придет его использовать. Подробнее об этом см. в [22].

Пришлось внести упоминание о такой возможности в руководство по эксплуатации с примечанием, смысл которого заключался в следующем: "Производитель о ней знает, но гарантировать не может".

Самое интересное, оказалось, что репитер может работать от инжектора Standard PoE на контроллере

Рис.11. Подключение IP-камеры к коммутатору и подача питания Standard PoE транзитом через репитер

LTC4279 (который в статье взят в качестве примера) без подключения на конце линии PD. Для проверки передачи данных использовался тестер-анализатор Ethernet. Пока данный факт оставляем без комментариев.

Публикация заключительной часть статьи запланирована в следующем номере журнала "ПЕРВАЯ МИЛЯ".

Инжекторы Power over Ethernet универсального назначения. Оптимальное решение для БШПД

- ✓ питание от источников постоянного тока;
- ✓ исполнения – indoor / outdoor;
- ✓ опционально – грозозащита.

Мультирежимный инжектор IEEE 802.3

- ✓ Fast/Gigabit. IEEE 802.3 af/at/bt/ultra PoE;
- ✓ установка мощности и метода PoE.

Универсальный инжектор Passive PoE

- ✓ Fast/Gigabit. Методы А, В, А+В (100 Вт);
- ✓ электронная защита от перегрузки.

Простой инжектор Passive PoE

- ✓ Fast Ethernet. Метод передачи В (50 Вт);
- ✓ электронная защита от перегрузки.

commeng | www.commeng.ru
youtube: COMMENG: как это сделано.

Сделано в Санкт-Петербурге