

Технология PoE

Семенов Андрей Борисович, д.т.н., директор по науке ООО СУПР,
профессор кафедры Автоматизации, механизации и роботизации в
строительстве НИУ МГСУ и кафедры Многоканальных телекоммуникационных
систем МТУСИ

Саранск, 21 октября 2025 года

Необходимость и целесообразность дистанционного питания терминального оборудования

Первым терминальным прибором информационно-телекоммуникационных систем был обычный телефон. Обеспечить передачу голоса с помощью слабых электрических токов можно только в случае наличия источника питания постоянным током. Отбираемая у него энергия направляется на преобразование акустических колебаний в электрические в микрофоне, которые передаются по проводам и на приемном конце опять преобразуются в акустические колебания телефонным капсюлем (в просторечии телефоном).

Существует две основные возможности доставить энергию источника питания постоянным током к телефонному аппарату:

- по схеме с местной батареей
- по схеме с центральной батареей

В первом случае применяется физическая батарея (например, полевые телефоны) или местный источник, подключаемый к сети 220 В. В системах с центральной батареей постоянное напряжение 60 В подается на телефон с телефонной станции.



Примеры телефонных аппаратов с местной батареей

Телефонные аппараты с местной батареей используются преимущественно как полевые и промышленные устройства в тех случаях, когда сеть связи разворачивается на непродолжительное время.

Наибольшее распространение получили армейские аппараты ТАИ-43 и более современная и существенно улучшенная по параметрам модель ТА-57. В настоящее время постепенно заменяется аппаратами ТА-88.

В продаже доступны также промышленные аппараты, созданные как на базе армейских моделей, так и как оригинальные разработки.

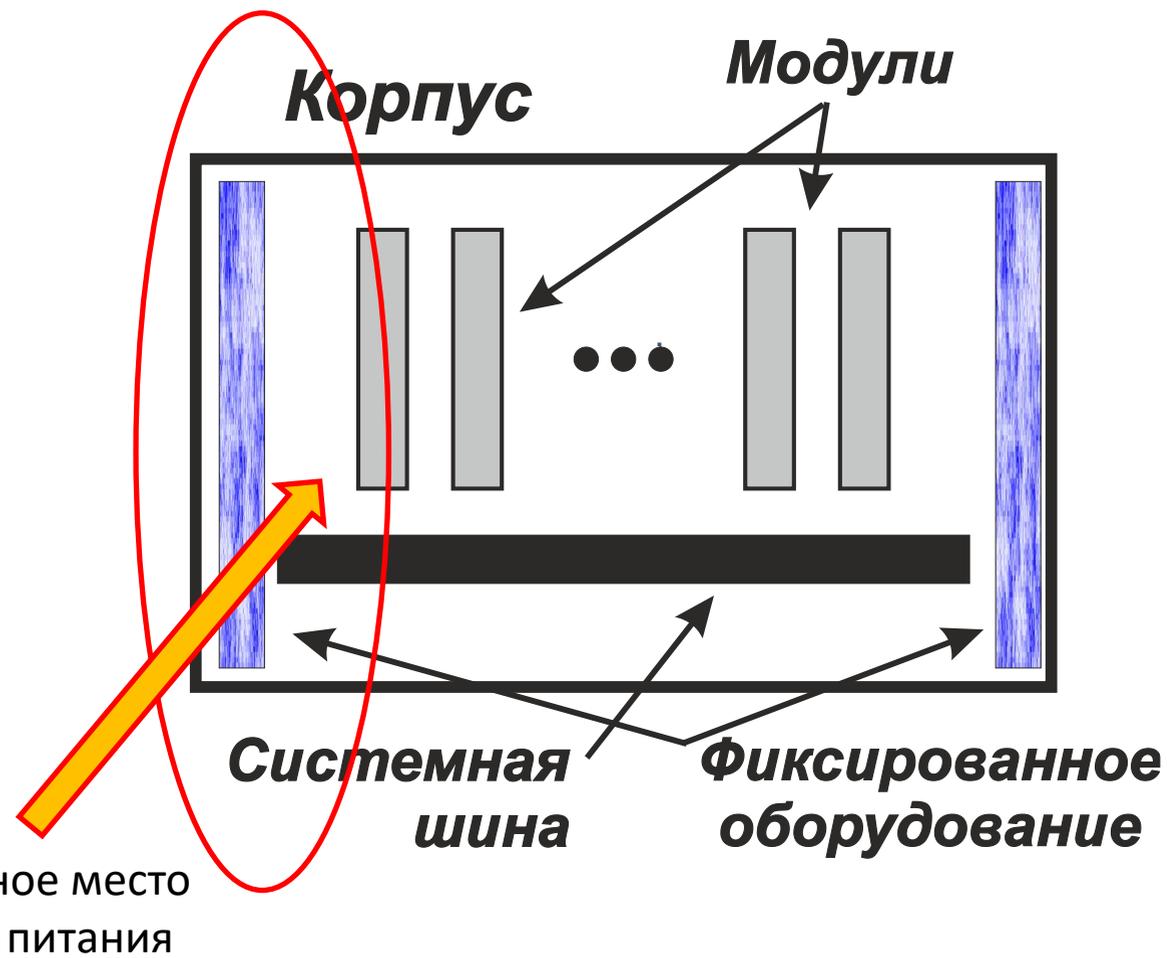


Системы с центральной батареей

В любой телефонной станции предусматривается один или несколько блоков, обеспечивающих дистанционное питание телефонных аппаратов.

В проектируемой УПАТС эти устройства выполняются в виде отдельных модулей различной мощностью, которые вставляются в специально выделенные для него слоты основного и дополнительного блока станции.

Необходимость питания телефонных аппаратов обуславливает сравнительно высокую потребляемую мощность этих блоков.



Особенности построения офисной информационной проводки

В момент внедрения техники СКС телефон был вторым и равнозначным по сравнению с рабочими станциями ЛВС потребителем ресурсов кабельной системы. Телефонные аппараты функционировали по схеме с центральной батареей и получали питание по медным жилам электропроводных кабелей. Перевод телефонной сети предприятия на СКС был невозможен без учета этой особенности.

Реализация горизонтальной подсистемы СКС на медножильной элементной базе (на базе кабелей из витых пар) целесообразна из экономических соображений. Первоначальные прогнозы о необходимости перехода на оптические решения не оправдались в результате внедрения техники категорий 5е и выше.

Положение начало меняться только в последнее время (технология PoLAN), но даже она имеет ограниченный распространение, причем преимущественно в Северной Америке.

В офисах внедряется большое количество маломощных терминальных устройств (камеры видеонаблюдения, оборудование СКУД, сети управления инженерным обеспечением здания, часофикация и т.д.), для которых высокая пропускная способность оптических линий избыточна.

Важно! В обозримой перспективе линии на основе витых пар будут сохранять свое доминирующее положение на нижних уровнях офисных информационных систем.



Рост стоимости электроэнергии и вызванная этим необходимость ее экономии, а также стремление к созданию максимального комфорта постоянным сотрудникам и гостям общественных зданий привели к увеличению темпов внедрения в массовую практику строительства панелей светодиодного освещения, которые рассматриваются как полноценная альтернатива традиционным лампам дневного света.

Управляемое Светодиодное освещение рассматривается как один из признаков так называемого “умного дома”.

Возможности светодиодной панели как управляемого источника в наиболее полной степени реализуются при прямом включении ее в состав информационной системы, т.е. при питании и управлении от коммутатора ЛВС. Одновременно переход на питание от постоянного тока с напряжением менее 60 В заметно усиливает электробезопасность системы освещения.



Базовые положения

Технология (активного) PoE предназначена для дистанционного питания маломощных терминальных устройств по электропроводным кабельным трактам СКС, собранным на основе витых пар. Обращение к этой технологии делает излишним прокладку к месту установки терминального устройства отдельного силового кабеля для доставки напряжения 220 В переменного тока.

Тип системы	PoE	PoE+	PoE++
Год принятия стандарта	2003	2009	2015
Мощность отдаваемая источником, Вт	15	26	55
Максимальная мощность приемника, Вт	13	22	49
Напряжение источника, В	44 - 57	50 - 57	50 - 57
Напряжение на нагрузке, В	36 - 57	42,5 - 57	42,5 - 57
Максимальный ток, мА	350	600	600
Спецификация	IEEE 802.3af	IEEE 802.3at	IEEE 802.3bt

Современные системы дистанционного питания обеспечивают различную мощность на нагрузке и делятся на PoE, PoE+ и PoE++. Основные параметры наиболее распространенных вариантов этого оборудования приведены в таблице. Несмотря на большой допустимый разброс типовым питающим напряжением считается 48 В. Для техники IEEE обеспечена обратная совместимость: питаемое устройство PoE может напрямую подключаться к источнику PoE. Обратное несправедливо из-за рисков перегрузки источника.

Другие варианты реализации дистанционного питания по кабельным трактам СКС

В области т.н. “активного PoE” наибольшее распространение получили следующие две разновидности технических решений.

Первой из них является технология UPoE (от англ. Universal Power of Ethernet) предложена компанией Cisco в 2014 году.

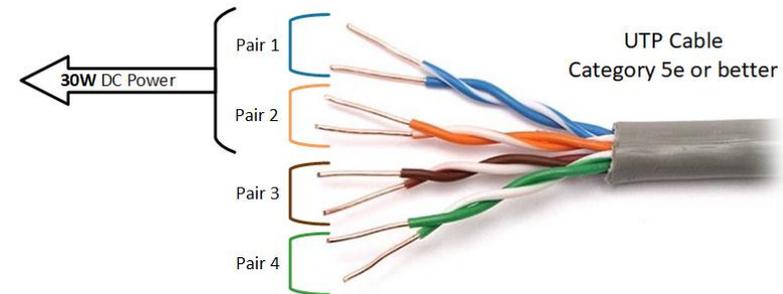
Несколько расширяет возможности PoE+ за счет удвоения мощности источника до 60 Вт и применения 4-парной схемы доставки напряжения дистанционного питания. Требуется обязательное применение кабельной техники категории 5e и выше.

Вариант UPoE+ этой техники обеспечивает мощность нагрузки до 90 Вт, но может работать только с кабелями категории 6 и выше.

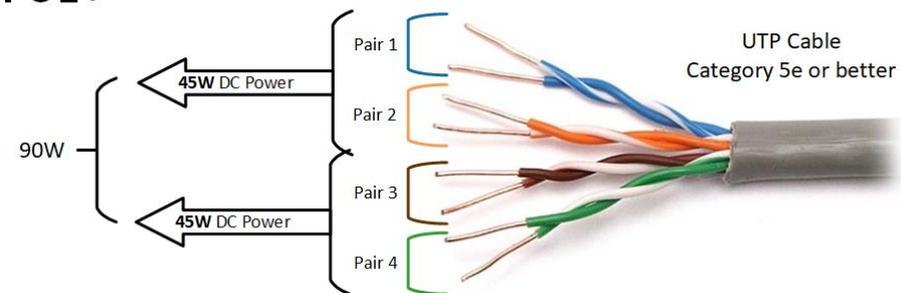
Согласование мощности приемника и источника – программно, с привлечением для этого протокола канального уровня LLDP (от англ. Link Layer Discovery Protocol), в котором предусмотрена опция запроса мощности MDI.

С 2010 года дистанционное питание по кабельным трактам СКС нормируется спецификациями Power over HD Base-T ассоциации HD Base-T Alliance (решение иногда называется PoH). Обеспечивает в 4-парном режиме мощность питаемого устройства до 100 Вт при максимальной длине кабельного тракта 100 м.

PoE/PoE+



UPoE/UPoE+



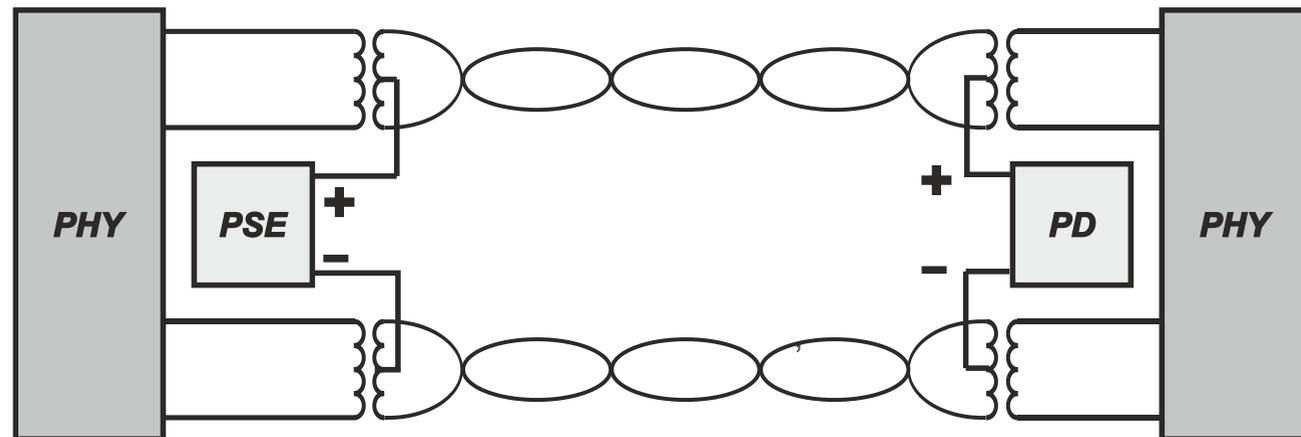
Фантомные цепи

В основу функционирования полноценной системы PoE вне зависимости от варианта ее исполнения положено использование так называемых фантомных (от англ. phantom, т.е. кажущихся, виртуальных) цепей, в которых функции прямого и обратного проводов формируемого тракта выполняет витая пара целиком. Фантомная передача может производиться как на переменном токе

(довольно популярная схема построения линейного тракта в классической телефонии при нехватке физических цепей передачи), так и применяться в сетях постоянного тока различного назначения. Принцип подачи напряжения дистанционного питания на терминальное устройство по технологии PoE показан на рисунке.

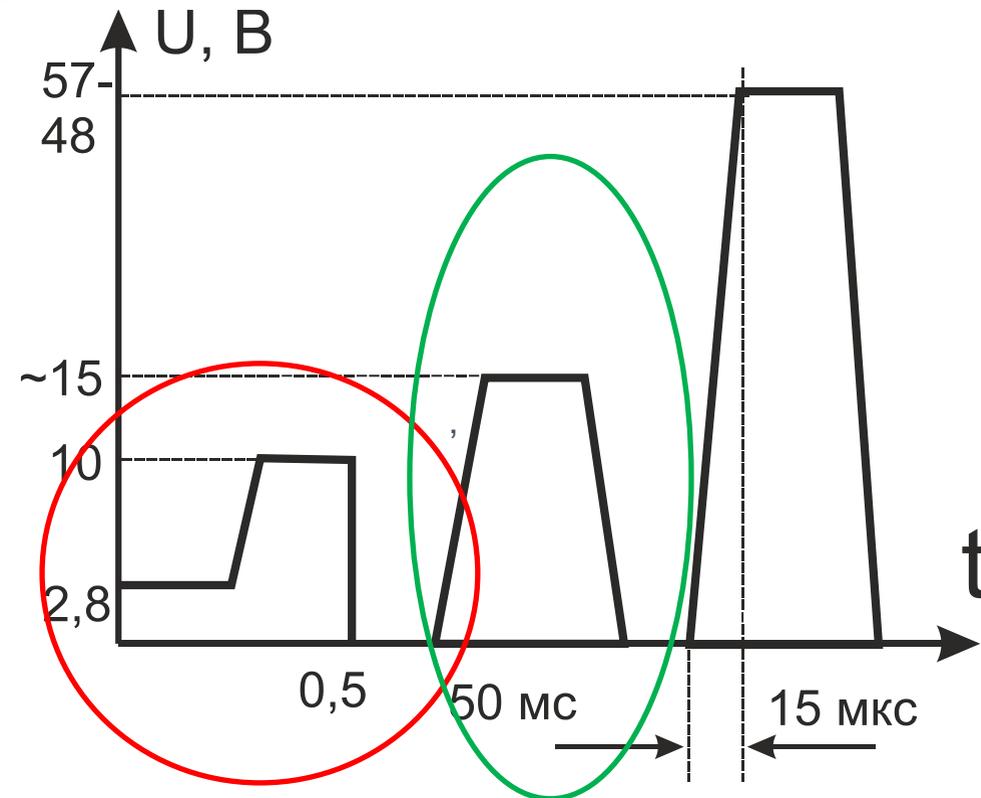
Обращение в качестве основы системы PoE к фантомной схеме обеспечивает ряд преимуществ, основными из которых считаются

- увеличение максимальной мощности питаемого терминального устройства за счет двукратного снижения сопротивления прямого и обратного проводов;
- заметное упрощение развязки цепей передачи дистанционного питания и информационных сигналов



Базовые положения логики взаимодействия PoE-источника PSE и PoE-приемника PD – 1(2)

Передатчик PSE оборудования PoE непрерывно контролирует состояние линии за счет подачи на выход постоянного напряжения 2,8 В. После подключения приемника PD контроллер передатчика увеличивает напряжение до 10 В на время не более 0,5 с. Если PSE не получает отклика от приемника PD, напряжение снижается практически до нуля и удерживается на нем вплоть до размыкания шлейфа. Выбор 10-вольтового напряжения обусловлен минимизацией рисков повреждения электронной техники, не предназначенной для работы с PoE. Этот интервал времени считается стадией детекции.



При обнаружении на периоде детекции (иначе определение подключения) на противоположном конце резистора $19 - 26,5$ кОм (обычно от $23,75$ до $26,25$ кОм), параллельно которому подключен конденсатор емкостью до 150 нФ (признак устройства PD), то после небольшой паузы напряжение увеличивается до $14,5 - 20,5$ В, удерживается на протяжении 50 мс, что достаточно для измерения тока, и снова отключается (стадия классификации).

Базовые положения логики взаимодействия PoE-источника PSE и PoE-приемника PD – 2(2)

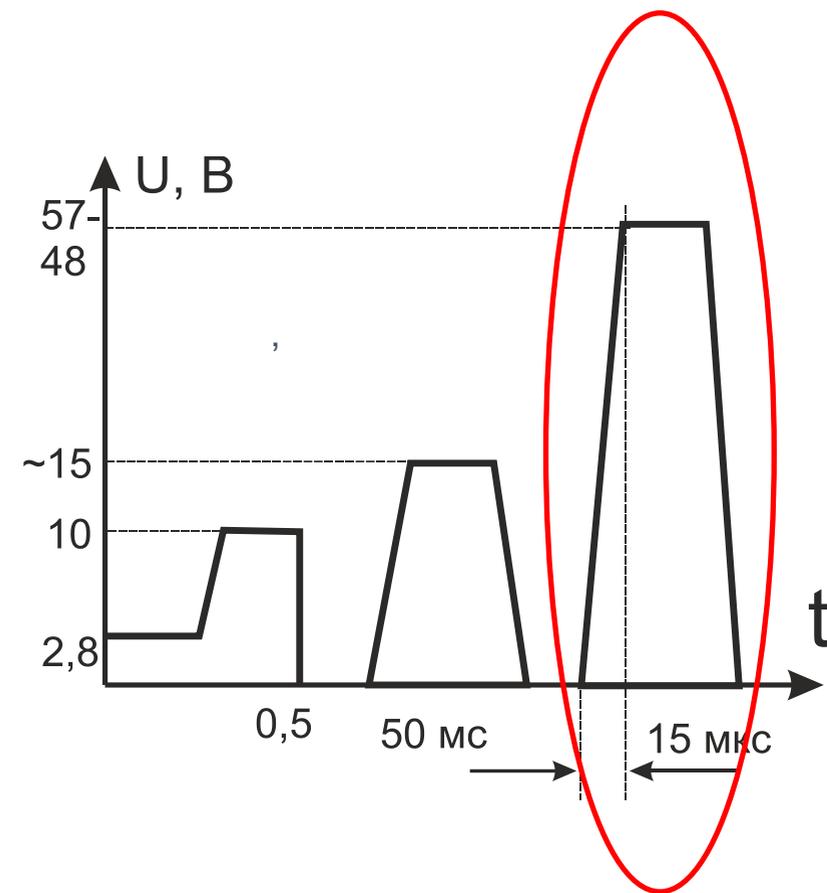
Затем, после небольшой паузы с временем фронта 15 мкс напряжение увеличивается до рабочего (рабочая стадия “operation”).

Контроллер источника питания PSE непрерывно отслеживает состояние линии и измеряет потребляемый ток. При потреблении в рабочем режиме менее 5 мА на протяжении подряд 300 – 500 мс питание отключается (обрыв линии).

Второй прием контроля состояния питаемого устройства заключается в подаче в фантомные цепи переменного напряжения частотой 500 Гц и напряжением 1,9 – 5,0 В с непрерывным вычислением входного сопротивления. Если оно превышает 1980 кОм на протяжении свыше 400 мс, питающее напряжение снимается с линии.

С учетом типового исполнения розеток оборудования с уровнем защиты от прикосновения IP20 такая логика работы гарантирует полноценную защиту пользователя от воздействия потенциально опасного напряжения.

Защита от перегрузки – дистанционное питание отключается при превышении током величины 400 мА на протяжении 75 мс.

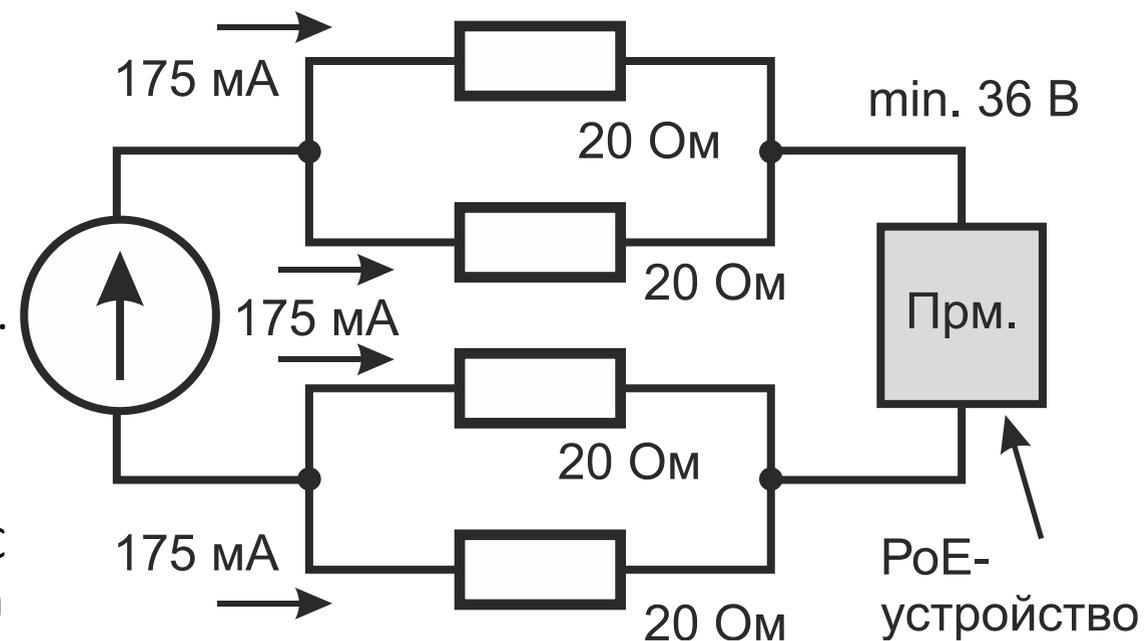


Определение максимальной мощности PoE-приемника стандарта IEEE 802.3af

Стандарт (спецификация) IEEE 802.3af изначально предполагала возможность использования кабелей категории 3, значительное количество которых еще сохранялось в эксплуатации в начале нового столетия. Шлейфовое сопротивление этих изделий на длине 100 м составляло 40 Ом. С учетом соединения передатчика и приемника с использованием фантомных цепей приходим к эквивалентной схеме, изображенной в правой части слайда.

Омическая несимметрия проводов пары по стандарту ISO/IEC 11801 составляет максимум 3%. Это позволяет считать провода витой пары идентичными по омическому сопротивлению.

Для наихудшего случая, который по стандарту ISO/IEC 11801 соответствует напряжению $U_{\min} = 36 \text{ В}$, на максимальном токе 350 мА получаем мощность $36 \times 0,35 = 12,95 \text{ Вт}$.



Варианты работы оборудования стандарта IEEE 802.3af

Стандартом IEEE 802.3af предусмотрено два варианта подачи напряжения дистанционного питания на нагрузку, обозначаемые как “alternative A” и “alternative B”. Выбор одного из них имеет значение при использовании оборудования 10/100Base-T, которой работает по двум витым парам из возможных четырех.

В случае сетевых интерфейсов 1G Ethernet разделения питания и данных по различным парам не производится.

Известный вариант UPOE от Cisco также использует для питания все четыре пары.

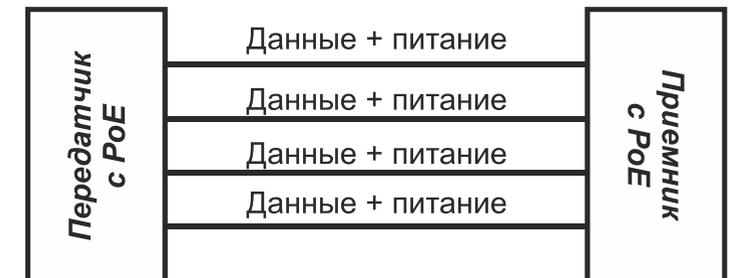
Alternative (вариант) A



Alternative (вариант) B



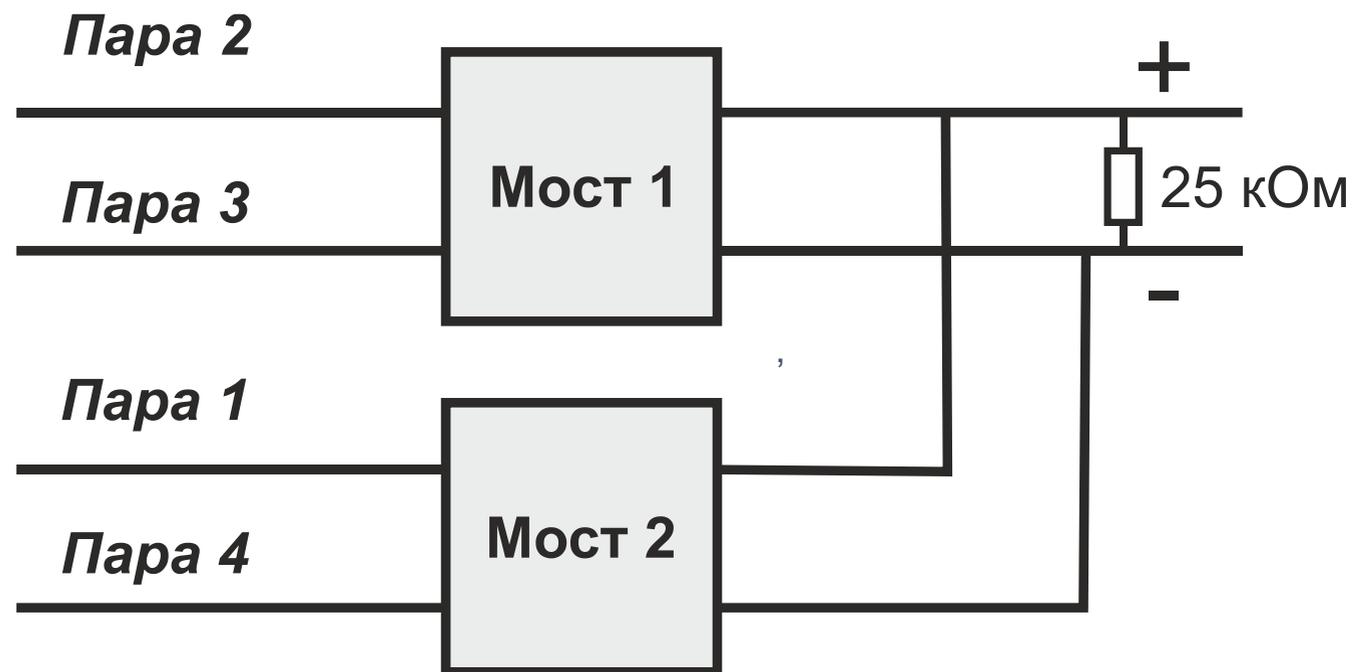
1G Ethernet



Выбор варианта функционирования приемника

Приемник PoE автоматически выбирает схему своего функционирования по вариантам А и В за счет наличия двух диодных мостов. Мосты включены параллельно и не шунтируют друг друга. Одновременная подача напряжения на оба моста в исправном оборудовании невозможна из-за стандартизованных правил раскладок выходов источника по альтернативам А и В. Фактически для работы выбирается тот из мостов, на котором присутствует постоянное напряжение дистанционного питания.

На выходе объединенного моста находится резистор 25 кОм, который используется для детектирования приемника PD оборудования PoE.



Классы питания

Для более рационального расходования ресурсов источника PSE вводится система классов питания. Определение класса выполняется на второй стадии классификации подключения источника PSE системы PoE к приемнику.

Аппаратно данная процедура реализуется с привлечением дополнительного блока, который включен на выходе диодных мостов после 25-килоомного резистора.

Для систем PoE+ и PoE++, которые обеспечивают работоспособность более мощных нагрузок, конкретное значение мощности определяется в результате диалога контроллеров, выполняемого на канальном уровне локальной сети, и задается на программном уровне.

Важно! Применение программной схемы определения требуемой мощности выгодно в случае отсутствия возможностей получения питания по классу 4 и выше. В результате выбранной логики работы оборудование сохраняет работоспособность, но с ограниченным функционалом.

Количественно наибольшее распространение на практике имеют устройства класса 1.

Класс устройства	Мощность, Вт	Классифицирующий ток, мА
0	0,44 – 12,95	0 – 4
1	0,44 – 3,84	9 – 12
2	3,84 – 6,49	17 – 20
3	6,49 – 12,95	26 – 30
4	25	36 - 44

Пути наращивания мощности

Первый вариант PoE IEEE 802.3af имел ограниченные функциональные возможности за счет сравнительно небольшой максимальной потребляемой мощности терминального оборудования. Для наращивания предельной мощности источника применяют

- увеличение тока питания;
- наращивание допустимой рабочей температуры линейных и шнуровых кабелей;
- подачу питания по всем четырем парам горизонтального кабеля;
- применение для дистанционного питания кабелей только высоких категорий или иных изделий с увеличенным диаметром ТПЖ;
- применение кабелей, специально разработанных для эксплуатации в составе системы PoE.



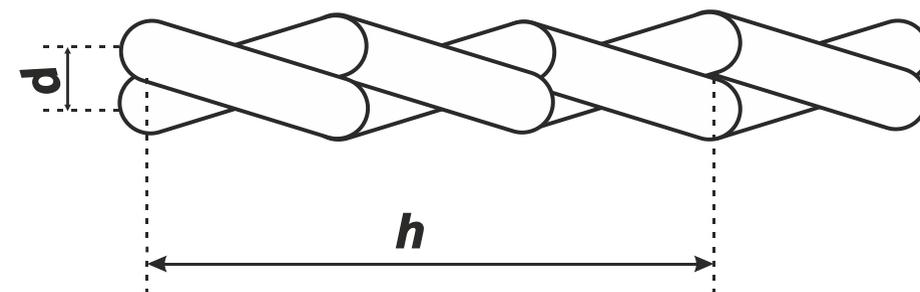
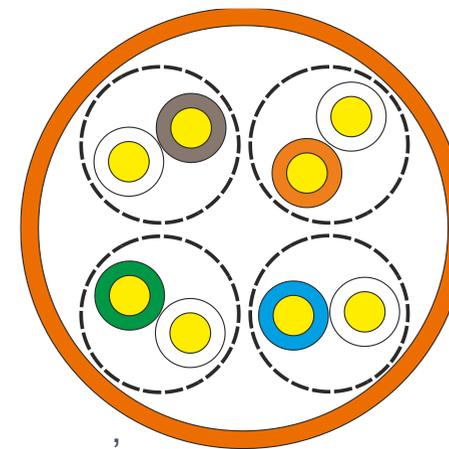
Специализированные PoE-кабели

Сравнительно новая разновидности кабелей из витых пар, появившаяся в широкой коммерческой продаже в середине второго десятилетия XXI века как реакция промышленности на запросы со стороны пользователей в части увеличения максимальной мощности терминального оборудования с дистанционным питанием.

Основное отличие от обычных кабелей SKC – предельная минимизация шлейфового сопротивления за счет

- увеличения диаметра токопроводящей жилы до максимального значения, разрешенного стандартами, т.е. до 0,64 мм
- обеспечение параметров категории 5 с характерным для нее увеличенным шагом скрутки и меньшим коэффициентом удлинения.

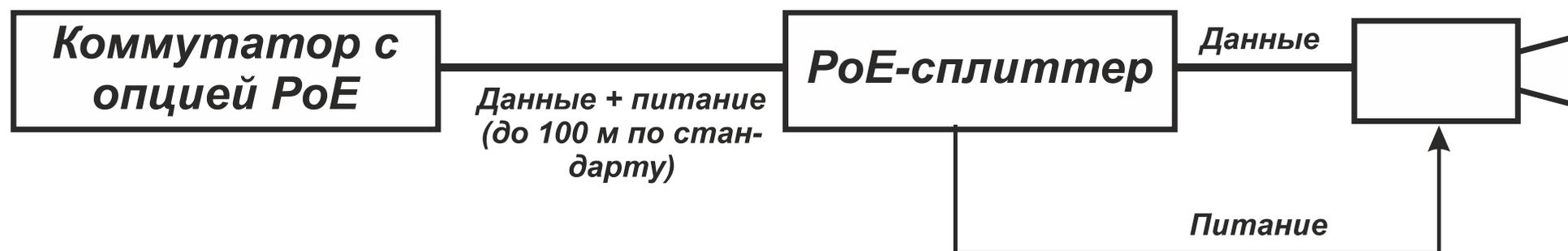
Расширяют номенклатуру продукции, что усложняет процесс проектирования, комплектации, логистики и монтажа. Поэтому довольно популярны только в Европе за счет более высокой культуры реализации проектов в целом.



PoE-сплиттер

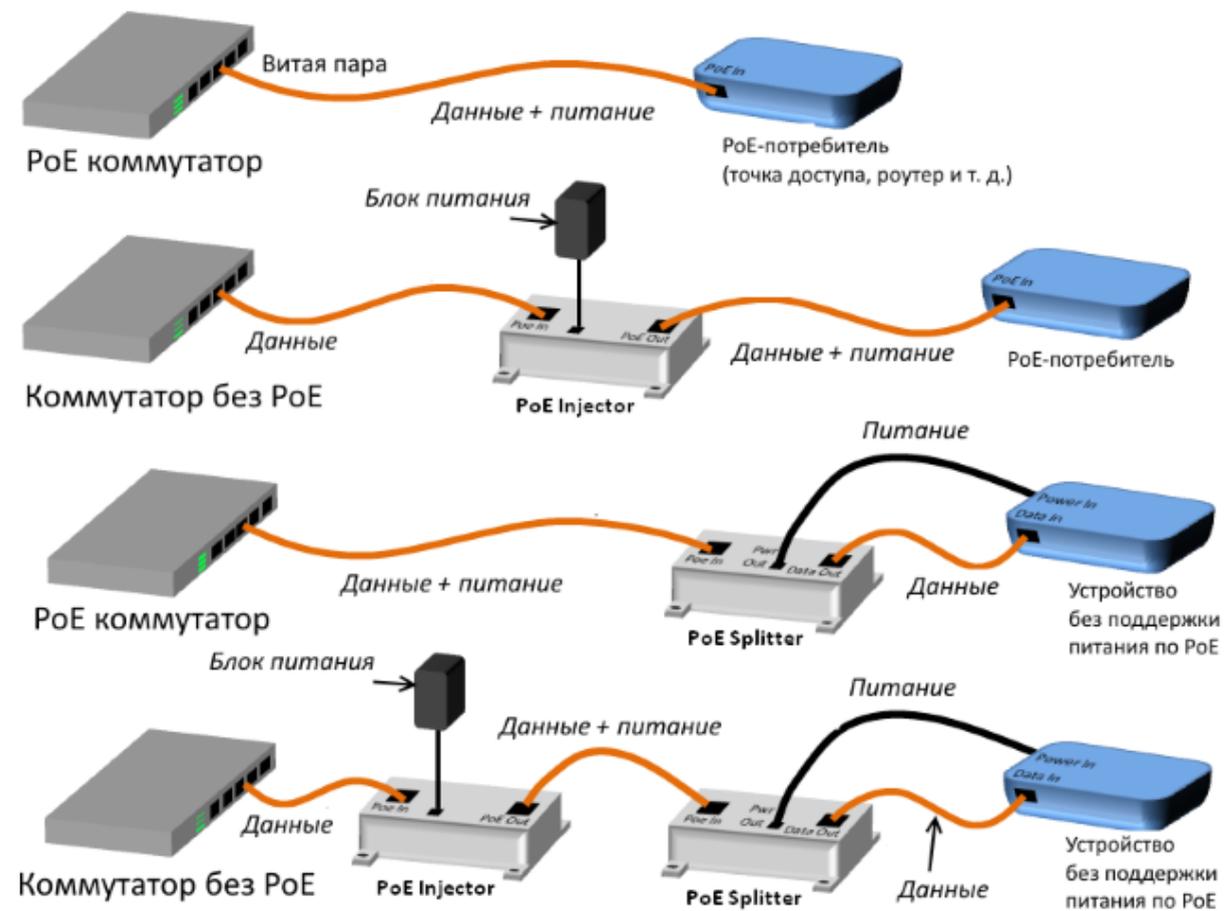
PoE-сплиттер может рассматриваться как один из вариантов пассивного PoE и по своему техническому исполнению занимает промежуточное положение между пассивным и стандартным вариантами организации дистанционного питания.

Под PoE-сплиттером понимается устройство, которое по своему входу взаимодействует со стандартным источником PoE и имеет выход Ethernet и обеспечивает на своем дополнительном отдельном выходе 12-вольтовое напряжение питания. Обеспечивает работоспособность терминального оборудования, которое не поддерживает стандартное PoE.



Исполнение источника – 1 (2)

Сам источник PoE может быть выполнен в форме отдельного устройства или же входить на правах отдельного функционального модуля в состав другого устройства, например, коммутатора ЛВС. Коммутаторы ЛВС с встроенным модулем PoE выполняют функции центрального устройства и устанавливаются в техническом помещении. Так называемые удлинители PoE используются в тех ситуациях, когда непосредственная связь между двумя сетевыми интерфейсами не может быть установлена из-за слишком большого расстояния между ними. В этом случае удлинитель выполняет функции репитера, усиливает сигнал, приходящий на его вход, и дополнительно восстанавливает его форму, что необходимо для нормального функционирования решающего устройства приемника сетевого интерфейса.

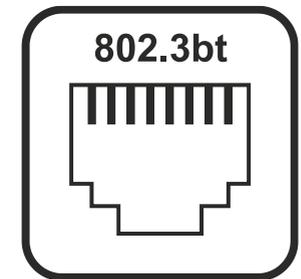
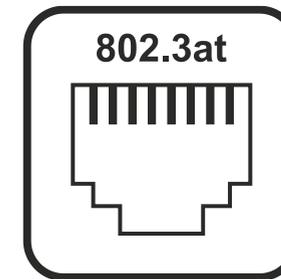
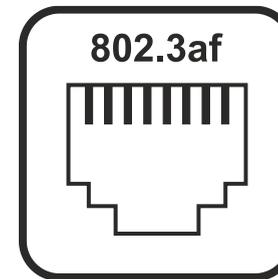


Исполнение источника – 2 (2)

Особенностью систем PoE, встроенных в коммутаторы, является то, что в некоторых случаях общая мощность источника питания оказывается меньше той суммарной мощности, которая потенциально может отдаваться всеми портами. В данной ситуации необходимо проверить выполнение баланса мощностей, так как в противном случае автоматика начнет отключать отдельных потребителей из-за перегрузки источника дистанционного питания.

Логика отключения жестко прописана в контроллере, а в управляемых устройствах устанавливается на типовые значения и может настраивается системным администратором в зависимости от конкретных местных потребностей.

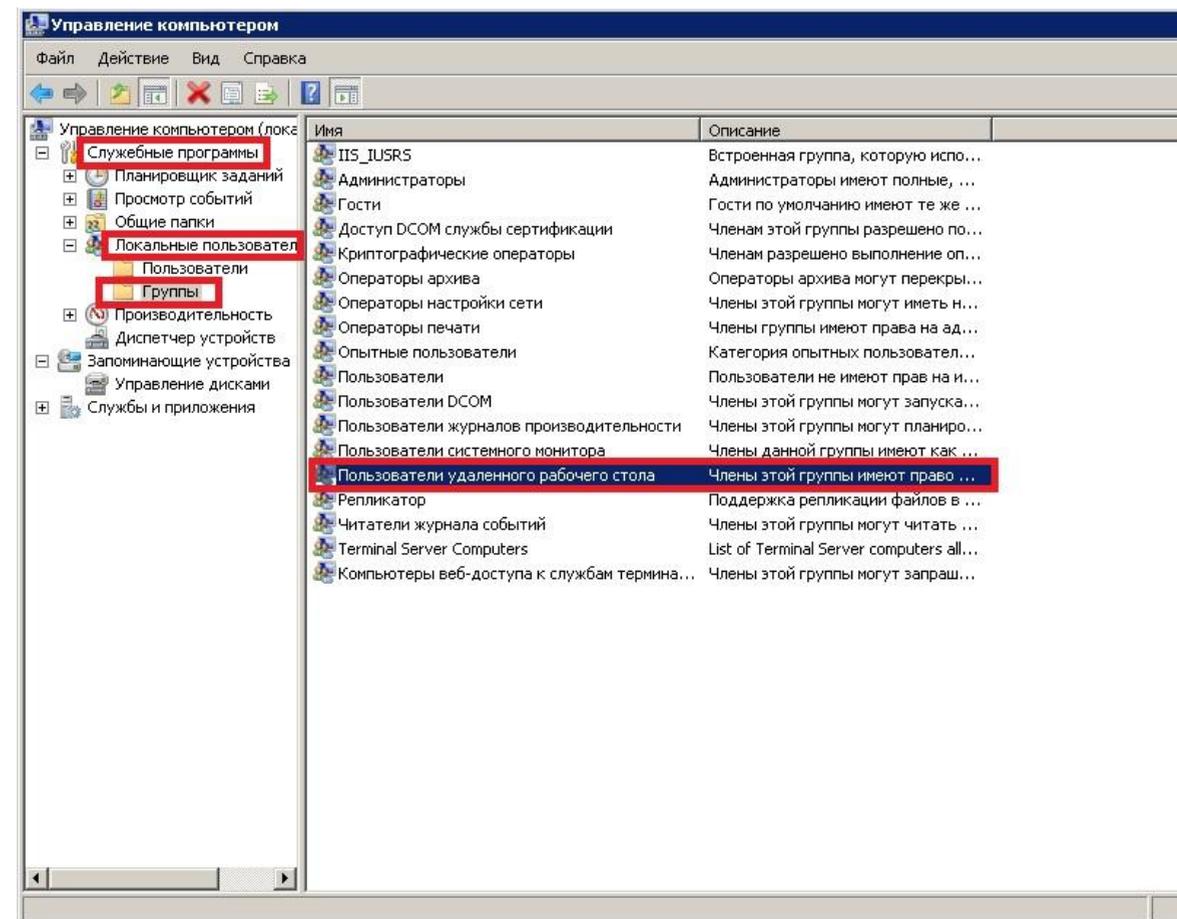
Внешне обычные и PoE коммутаторы не отличаются друг от друга за исключением, м.б. нанесения на лицевую пластину корпуса дополнительных идентификационных надписей и иных видов соответствующей маркировки. Один из возможных примеров подобной мнемоники приведен на слайде.



Особенности автоматки управления PoE

Автоматика управления PoE физически реализуется с помощью встроенного контроллера, который представляет собой отдельный самостоятельный блок. В процессе конфигурирования сети коммутаторы ЛВС старших моделей, реализующие опцию PoE, обеспечивают возможность выбора и настройки таких параметров как

- класса по мощности потребителя, подключаемого к каждому down-link-порту
- последовательность отключения портов при превышении общей мощность предельно допустимого значения;
- генерацию различных предупреждающих сообщений с ведением журнала событий;
- создание и редактирование списка адресатов, по которым рассылаются предупреждающие сообщения; возможно также дополнительное деление этих адресатов по группам.



При выборе дизайна программного интерфейса системы управления источником разработчик старается в максимально полной степени приблизить его к типовым подходам Windows для достижения интуитивной понятности.

Заключение

1. Технология PoE представляет собой гибкий инструмент с широкими функциональными возможностями, который может быть использован для решения разнообразных задач при построении в первую очередь внутриобъектовых информационных систем.
2. Технология PoE оказывает значимое влияние на конструктивное исполнение кабелей из витых пар и объемы применения отдельных разновидностей этих изделий.
3. Технология хорошо нормирована на уровне международных стандартов, что обеспечивает полную совместимость техники различных производителей.
4. Фактором, значимо стимулирующим рост объемов внедрения различного оборудования PoE, является глубокая степень автоматизации процессов его настройки и высокая степень его эксплуатационной надежности за счет наличия развитой структуры защиты от нештатных ситуаций.
5. В распоряжении автора проекта имеется большая номенклатура различных устройств PoE, позволяющая решать широкий круг задач при построении внутриобъектовых информационных систем.

