ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ЗАЩИТА портов оборудования с интерфейсами 100/1000BASE-T

Часть 1. Особенности оборудования и линий, реализация схем защиты

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

УДК 621.391.31, DOI: 10.22184/2070-8963.2020.86.1.46.52

Статья в определенной мере является продолжением цикла публикаций "Аварии на объектах связи. Причина – опасные электромагнитные влияния" [1–6] и обобщает опыт разработки и эксплуатации оборудования (и устройств защиты для него) для проводного и беспроводного ШПД, систем IP-видеонаблюдения, использующих интерфейсы Ethernet и работающих в условиях воздействия электромагнитных помех.

Данная статья отражает личное мнение автора (а также техническую политику компании COMMENG) и не претендует на истину в последней инстанции. Из-за ограниченности объема сделан ряд упрощений в используемых моделях и выводах. Наличие в составе оборудования приемника или источника Power over Ethernet (PoE) рассматривается как правило, тогда как его отсутствие, значительно повышающее стойкость порта к воздействию перенапряжений, как исключение.

ОСОБЕННОСТИ СХЕМОТЕХНИКИ

Для начала рассмотрим типовую схему реализации порта 100BASE-TX (рис.1). Микросхема Ethernet PHY реализует функции физического уровня или же как физического, так и канального уровней (media access control – MAC) в одном корпусе. Упомянутая микросхема подключена к двум парам линии через трансформаторы.

Приемник PoE подключается к средним точкам линейных обмоток трансформаторов для обеспечения питания поверх данных (100 Mixed DC & Data,

метод А) или к свободным жилам кабеля, по которым также может подаваться питание (10/100 DC on Spares, метод В). Приемник состоит из специализированного контроллера и ряда пассивных элементов и во взаимодействии с питающим устройством (power sourcing equipment – PSE) реализует процедуру подачи питания в кабель и его выделения. Для приема питания с измененной полярностью используются диодные мосты, далее напряжение PoE подается на конвертер DC/DC, где оно преобразуется в напряжения необходимых для работы устройства величин.

Построение схемы 1000BASE-T отличается тем, что микросхема Ethernet PHY подключена через обмотки трансформаторов к четырем парам, а приемник PoE подключается только к средним точкам линейных обмоток трансформаторов.

В том случае, если порт не принимает, а передает PoE, схема приема заменяется на схему передачи питания, но с точки зрения стойкости к электромагнитным помехам принципиального различия между этими случаями нет.

Рис.1. Типовая схема порта 100BASE-TX с приемником PoE

Не будем останавливаться на особенностях интерфейса, стандартах и методах реализации PoE. Достаточно будет отметить, что:

- часть схемы, реализующая функции физического уровня и выше, подключена к кабелю через трансформаторы, то есть гальванически изолирована от него;
- часть схемы, реализующая функции подачи/выделения напряжения PoE и его преобразования, подключена к средним точкам линейных обмоток трансформаторов и/или свободным жилам, то есть гальванически соединена с проводниками кабеля.

Если рассмотреть схему цифровой системы передачи (ЦСП) ИКМ 15/30, то мы не увидим никаких принципиальных отличий принципа построения входных цепей и передачи/выделения дистанционного питания от рассмотренного выше. Вопрос электромагнитной защиты ЦСП, работающих по симметричным кабелям, давно успешно решен (см., например, [6, 7]). При разработке устройств защиты портов Ethernet и способов их использования нужно учесть ряд особенностей. Далее мы рассмотрим наиболее существенные из них: в этой части статьи – особенности кабельной линии, а особенности монтажа и применения оборудования – во второй ее части.

ОСОБЕННОСТИ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ

Согласно стандарту предельная длина физического сегмента интерфейсов 100BASE-TX и 1000BASE-T составляет 100 м при использовании кабеля

категории 5(5e). На практике, как правило, это расстояние может быть несколько больше и зависит от особенностей конкретного оборудования и характеристик кабеля. Выпускаются LAN-кабели, применение которых позволяет увеличить длину физического сегмента до 200–300 м [8, 9]. Однако даже в таком случае это расстояние более чем на порядок меньше, чем длина регенерационного участка ЦСП типа ИКМ-30 (3,5–3,8 км) или длина цифровой абонентской линии.

Чем меньше длина кабеля, тем меньше коэффициент взаимной индукции между его токоведущими элементами и каналом молнии или металлоконструкцией (например, металлический забор или мачта), по которой протекает часть тока молнии, и тем меньше наведенная в кабеле ЭДС [4].

Кроме того, на практике проложенные кабели сетей Ethernet обычно экранированы от прямых ударов молнии различными зданиями и сооружениями. Теперь мы можем сделать еще один важный вывод: из-за небольшой длины физического сегмента уровень импульсных помех, вызванных ударами молнии в кабелях сетей Ethernet, как правило, гораздо ниже, чем в кабелях других систем проводной связи.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЯ

Требования к кабелям являются составной частью стандартов структурированных кабельных систем – ISO/IEC 11801, ANSI/TIA 568-C и разработанного на основе первого ГОСТ Р 53246-2008. Но в качестве справочного материала по электрическим

характеристикам и конструкции лучше пользоваться стандартом [10], описывающим в том числе и характеристики интересующих нас кабелей категории 5(е). Нужно отметить следующие характеристики кабелей, отличающие их от телефонных кабелей типа Т и кабелей для передачи цифровых сигналов (типа МКС, КСПП и т.п.):

- низкая омическая асимметрия жил в паре (3% для кабелей категории 5 и не более 2% – категорий 5е и выше);
- низкая емкостная асимметрия пар по отношению к земле для неэкранированных кабелей и по отношению к экрану для экранированных кабелей (на частоте 0,8 или 1,0 кГц – не более 340 пФ на 100 м для кабелей категории 5 и не более 160 пФ для кабелей категорий 5е, 6, 7).

Способ повышения помехоустойчивости и снижения взаимных влияний в LAN-кабеле отражен в термине "витая пара". В таких кабелях, помимо скрутки жил в парах с различными шагами, пары скручиваются также между собой и применяются другие конструктивные решения, направленные на повышение помехоустойчивости.

Как известно, наведенные в кабелях помехи разделяются на две группы: продольные, или синфазные (провод – земля) и поперечные, или дифференциальные (провод – провод).

Конструкция кабеля и, в меньшей степени, особенности применения приводят к тому, что поперечные помехи между проводниками в 4- и 2-парных кабелях категории 5 и выше, применяемых в сетях Ethernet, настолько незначительны, что их можно

не принимать во внимание. Поперечные помехи между проводами разных пар имеют малую мощность, но должны, при определенных обстоятельствах, рассматриваться как источник опасности для оборудования. Реальным фактором, способным привести к повреждению оборудования, служат продольные (синфазные) помехи. Это четвертый и последний вывод, на который будем опираться далее. Нужно также отметить, что при прокладке вне помещения следует применять кабели с общим экраном из фольги или проволоочной оплетки. В том случае, если не замкнута цепь протекания тока по экрану, обеспечивается экранирование от электрической составляющей внешнего электромагнитного поля (этот вопрос будет рассмотрен во второй части статьи).

СХЕМОТЕХНИКА УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ПОРТОВ ETHERNET. ПРИМЕР СВЕРХИЗЫТОЧНОСТИ И ОГРАНИЧЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Особенности защиты от перенапряжений как отрасли техники дают возможность появления решений, которые, с точки зрения автора, трудно поддаются рациональному объяснению. См., например, [4]. Крайние случаи рассматривать не будем, а приведем вполне рабочую схему, популярную лет 15 назад (рис.2).

Как мы видим из рис.2, схема пригодна для работы с интерфейсами 10/100BASE-TX, но не предусматривает питание по технологии PoE. В ней присутствует практически все, что можно придумать. Особенно примечательно применение разделительных конденсаторов вместе с трансформаторами.

Надо учесть, что каждый включенный элемент не только стоит денег и занимает определенный объем, но и снижает надежность и вносит дополнительное затухание и искажения. Любая избыточность технического устройства, если она достигается за счет повышения цены, ухудшения технических характеристик или ограничений в применении, не оправдана.

По мнению автора, устройства защиты Ethernet широкого применения обязательно должны поддерживать передачу питания PoE любым методом и вносить как можно более низкое затухание, поэтому применение трансформаторов в таких устройствах рассматривать далее не будем.

СХЕМОТЕХНИКА УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ПОРТОВ ETHERNET. ПРИМЕР ЛОГИКИ РАЗРАБОТКИ СХЕМ

На рис.3 показана схема с интересным техническим решением, которое мы далее рассмотрим. Для примера выбрана понятная, логически обоснованная схема. В ней организована точка уравнивания

Рис.3. Неправильная оценка характера помех и применение супрессора с высокой емкостью привели к увеличению количества элементов и усложнению схемы устройства защиты

Рис.4. Схема аналогична по принципу работы представленной схеме на рис.3, но проще и лучше

потенциалов, к которой через двухэлектродные разрядники подключены все провода. Точка уравнивания потенциалов гальванически развязана с контактами "экран" разъемов и клеммой защитного заземления и соединена с ними через разрядник.

Интерес представляет цепочка из двунаправленного защитного диода (супрессора) и двух дросселей. Супрессоры включены между проводниками пар для защиты от дифференциальных помех. Данная схема совместима с интерфейсом 1000BASE-T, поэтому для предотвращения утечки высокочастотной составляющей сигнала через емкость р-п-перехода последовательно с супрессором включены два дросселя, выполняющих роль фильтра высоких частот. Можно было бы вполне обойтись без дросселей, если использовать супрессоры с малой площадью р-п-перехода и рассчитанные на импульсные токи порядка 30–40 А. Учитывая практическое отсутствие дифференциальных помех в паре, применение супрессоров малой мощности с низкой емкостью в данном случае вполне достаточно.

Можно подвести итог: использование супрессора с высокой емкостью и применение для уменьшения утечки сигнала дросселей привело к увеличению количества элементов и усложнению схемы устройства защиты.

Аналогичный принцип реализован в схеме, показанной на рис.4. Вместо супрессоров использованы полупроводниковые разрядники (тиристоры). Репутация производителя не вызывает

сомнений, поэтому можно быть уверенным, что с Gigabit Ethernet схема работает. Как видим, удалось обойтись без дросселей. На взгляд автора, она проще и лучше схемы, представленной на рис.3.

Схема на рис.5, как и на рис.3, разработана китайскими инженерами. Применение дросселей последовательно с полупроводниковыми ограничителями перенапряжений и варисторами автору более нигде не встречалось. К этому вопросу мы еще вернемся позже.

Желающие могут сами разобраться, как работает схема на рис.5, заметим лишь, что налицо экономия на стоимости комплектации: разрядники стоят намного дороже, чем варисторы. Поэтому разработчики вынуждены были установить дроссели для увеличения затухания между парами, чтобы компенсировать высокую емкость варисторов.

Для компенсации емкости супрессоров применена диодная мостовая схема. Схема автору не нравится, но критиковать ее не будем. Из преимуществ можно отметить хорошую защиту цепей передачи PoE с помощью варисторов RU1 и RU2.

Выше рассмотрены только реально работающие схемы, выполняющие свои функции. Но на рынке достаточно устройств защиты, при разработке которых были допущены серьезные ошибки, что сказывается на их работоспособности. В [5] были рассмотрены некоторые ошибки в схемотехнических решениях устройств защиты телефонных сетей. Причины их появления для устройств защиты

Рис.5. Используется диодно-мостовая схема для компенсации емкости супрессоров. Обеспечена защита цепей передачи PoE от дифференциальных помех с помощью варисторов

портов Ethernet примерно такие же. Аналогично справедлив в этом случае и постулат, что одно неоптимальное решение влечет за собой другое.

ПОЧЕМУ В УСТРОЙСТВАХ ЗАЩИТЫ ПОРТОВ ETHERNET МЫ ПРАКТИЧЕСКИ НЕ ПРИМЕНЯЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Предприятие COMMENG выпустило первые устройства для защиты портов Ethernet в 2001 году. Их эволюция определялась требованиями рынка, развитием элементной базы, наших производственных возможностей и растущим опытом.

Одним из переломных моментов стала массовая замена по рекламации, вызванная применением в устройствах защиты Fast Ethernet полупроводниковых разрядников с большей, чем у устанавливаемых ранее, емкостью. Проблемы возникли у двух заказчиков, причем не на всех объектах, а только там, где был высокий уровень помех на заземляющих устройствах. Тем не менее было принято решение заменить весь поставленный объем – более 2500 портов.

В результате нами были приняты два принципиальных решения:

- не применять в цепях передачи данных Ethernet полупроводниковые ограничители или разрядники;

- разделить точку уравнивания потенциалов, к которой через элементы защиты провода и клемма защитного заземления подключены с помощью разрядника.

Как и у всякого правила, у этого тоже имеются исключения, которые только помогают его понять. Автор ни в коей мере не утверждает, что в устройствах защиты Ethernet не следует применять полупроводниковые элементы, заменяя их на разрядники. Более того, совсем не исключено, что мы можем вновь вернуться к массовому применению полупроводниковых элементов. Выбор схемотехники и элементной базы, которые применяются в настоящее время, обусловлен многими причинами, некоторые из которых будут рассмотрены во второй части данной статьи.

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ПОРТОВ ETHERNET

Не будем рассматривать здесь всю элементную базу, ограничившись лишь сравнением по ряду наиболее важных характеристик газонаполненных разрядников, полупроводниковых разрядников, супрессоров, а также варисторов.

Как показывает наш опыт, сегодня большинство заказчиков предпочитает приобретать устройства защиты, рассчитанные на работу по технологиям как Fast Ethernet, так и Gigabit Ethernet, даже в том случае, когда скорости 100 Мбит/с вполне достаточно, например, для подключения IP-камер. Высокочастотный сигнал предъявляет дополнительные требования к разводке печатных плат, длине и взаимному расположению проводников, а также ограничивает применение выводных элементов. Поэтому в наших устройствах элементы, подключаемые к цепям передачи данных, используются в планарном исполнении.

Супрессоры (защитные TVS-диоды)

Главная их особенность – очень высокое быстродействие, позволяющее применять их для защиты не только от микросекундных, но и наносекундных помех, а также от электростатического разряда. Могут быть однонаправленными и двунаправленными (т.е. два встречно включенных супрессора в одном корпусе). Как отмечалось выше, чем на более мощную помеху рассчитан супрессор, тем больше его емкость. Супрессор с низкой емкостью стоит дороже, чем элемент такой же мощности с более высокой емкостью, что объясняется необходимостью в более высоком уровне технологии производства для обеспечения снижения емкости при сохранении способности пропускать импульсные

Рис.6. Схема защитной сборки серии SP4044

токи. Обычно емкость супрессора средней мощности составляет порядка 100 пФ.

Повысить мощность супрессора позволяет применение диодных и диодно-мостовых схем (см. рис.5), в которых низкая емкость диодов (как правило, диодов Шоттки) компенсирует емкость супрессора. Ряд производителей выпускает диодно-супрессорные сборки, в том числе и для защиты портов Ethernet [11]. Схема такой сборки представлена на рис.6.

Максимальный импульсный ток формы 8/20 мкс сборки SP4044 составляет 24 А, емкость диодов – не более 1,5 пФ, что означает что в цепи "провод – земля" емкость будет не выше 1,5 пФ, а в цепи "провод – провод" – еще меньше.

Пример использования защитной сборки показан на рис.7 [11]. В данном случае сборки установлены после трансформаторов и защищают непосредственно входы микросхемы Ethernet PHY. Обратим внимание на двунаправленные супрессоры, подключенные к средним точкам трансформаторов. Их максимальное рабочее напряжение составляет 58 В, максимальный импульсный ток формы 8/20 мкс – 40 А. В данном случае нет необходимости компенсировать емкость супрессора. Более того, для сглаживания фронта импульса параллельно супрессорам подключены конденсаторы емкостью 100 нФ.

Полупроводниковые разрядники (тиристоры). Имеют очень низкое сопротивление в открытом состоянии, поэтому их можно устанавливать только в цепях, к которым не приложено напряжение PoE, как, например, в схеме на рис.4. Как и у супрессоров, существует зависимость между мощностью и емкостью. Полупроводниковые разрядники, которые мы ранее применяли в схемах защиты портов Ethernet, имели максимальную величину импульсного тока 80 А и емкость порядка 40 пФ.

Рис.7. Рекомендуемая схема защиты порта Ethernet с помощью диодно-супрессорной сборки

Варисторы

Применяются для защиты цепей PoE (за исключением особо экзотических случаев). Так как чип-варисторы значительно дороже выводных, то при

Комплекс универсальных решений для подключения устройств Ethernet

- ✓ блоков ODU систем БШПД и ЦРРС;
- ✓ IP-видеокамер, контроллеров СКУД;
- ✓ систем управления и автоматизации.

Инжекторы PoE In/Outdoor

- ✓ IEEE 802.3 af/at/bt, Passive PoE.

Репитеры In/Outdoor

- ✓ 100 Base-TX, PoE/Passive PoE.

Устройства защиты In/Outdoor

- ✓ Gigabit/10G Ethernet, PoE всех типов.

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

Сделано в Санкт-Петербурге

наличии достаточного объема внутри корпуса устройства целесообразно применять выводные.

Стоимость варисторов малой мощности на порядок меньше стоимости малогабаритных газонаполненных разрядников. Примерно на порядок выше быстродействие первых, причем скорость срабатывания варистора практически не зависит от скорости нарастания фронта помехи и обычно оценивается величиной 15–25 нс. Максимальное значение импульсного тока маловато, особенно для варисторов с небольшим классификационным напряжением (у них меньше толщина, а, значит, и допустимая рассеиваемая мощность).

В качестве примера приведем характеристики дискового варистора, используемого нами для защиты цепей PoE:

- классификационное напряжение – 68 (61–75) В;
- уровень ограничения напряжения (при токе 2А формы 8/20 мкс) – не более 135 В;
- максимальный импульсный ток формы 8/20 мкс 250 А емкость (на частоте 1 кГц) – 250 пФ.

Варистор – отличный элемент: недорогой, быстродействующий. Вот только применять его в высокочастотных цепях нельзя из-за высокой емкости. Если же использовать более мощный варистор той же серии, то элемент с максимальным импульсным током 1 кА будет иметь диаметр 14 мм и емкость 2700 пФ.

Газонаполненные разрядники

Если варистор, как и супрессор, ограничивает напряжение импульса, то газонаполненный разрядник, как и его полупроводниковый аналог (тиристор), является элементом коммутирующего типа. Не углубляясь в физические принципы работы и конструкцию, отметим лишь основные особенности металлокерамических газонаполненных разрядников по сравнению с полупроводниковыми элементами и варисторами (которые тоже относятся к последним):

- большой коммутируемый ток при относительно меньших размерах;
- значительно меньшая скорость срабатывания, зависящая от скорости нарастания импульса;
- низкая емкость.

Для иллюстрации в табл.1 приведены данные для двух применяемых нами в устройствах защиты портов Ethernet двухэлектродных разрядников.

Во второй части статьи будут рассмотрены особенности применения оборудования с портами Ethernet в условиях мощных электромагнитных помех, несколько типичных ошибок в технических описаниях и технических требованиях, а также кратко описаны решения COMMENG по защите оборудования различных типов.

Таблица 1.

Характеристика	Разрядник 1	Разрядник 2
Статическое напряжение пробоя (при скорости нарастания 100 В/с), В	75	90
Напряжение пробоя (при скорости нарастания 1 кВ/мкс), В	699	450
Максимальный импульсный ток 8/20 мкс, кА	1 (5 раз)	5 (10 раз)
Емкость, не более, пФ	0,5	1,0

ЛИТЕРАТУРА

1. Терентьев Д. Аварии на объектах связи. Причина – опасные электромагнитные влияния. Часть 1 // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2011. № 1.
2. Терентьев Д. Аварии на объектах связи. Причина – опасные электромагнитные влияния. Часть 2 // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2011. № 2.
3. Терентьев Д. Аварии на объектах связи. Причина – опасные электромагнитные влияния. Часть 3 // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2011. № 3.
4. Терентьев Д. Аварии на объектах связи. Причина – опасные электромагнитные влияния. Часть 4 // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2011. № 4.
5. Терентьев Д. Аварии на объектах связи. Причина – опасные электромагнитные влияния. Часть 5 // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2012. № 1.
6. Терентьев Д. Аварии на объектах связи. Причина – опасные электромагнитные влияния. Часть 6 // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2012. № 2.
7. Терентьев Д.Е., Шорин О.В., Краснопольский Н.И. Защита оборудования линейного тракта систем передачи // Вестник связи. 2001. № 4.
8. Ефременко Д., Семенов А., Сидоренко С., Руденко В. Кабели для "длинного" ETHERNET: о чем говорит рынок // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2016. № 4. С. 38–42.
9. Семенов А., Сидоренко С., Терентьев Д., Руденко В. "Длинный" ETHERNET становится еще длиннее // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2017. № 2. С. 42–48.
10. ГОСТ Р 54429-2011. Кабели связи симметричные для цифровых систем передачи. Общие технические условия.
11. Designing Protection Solutions for 10GbE/1GbE & PoE Using SP 4044-04ATG/SP 4045-04ATGTVS Diode Arrays. Littelfuse Inc., 2015.

XI МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЕ ТРУДА

SAPE

СОЧИ

7-10 АПРЕЛЯ 2020

ВСЕРОССИЙСКАЯ
НЕДЕЛЯ ОХРАНЫ ТРУДА

ОРГАНИЗАТОР:

Электрификация

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

МИНИСТЕРСТВО ТРУДА
И ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

www.sape-expo.ru

Тел.: +7 (499) 181-52-02, доб. 131,145

eor@expo-elektra.ru