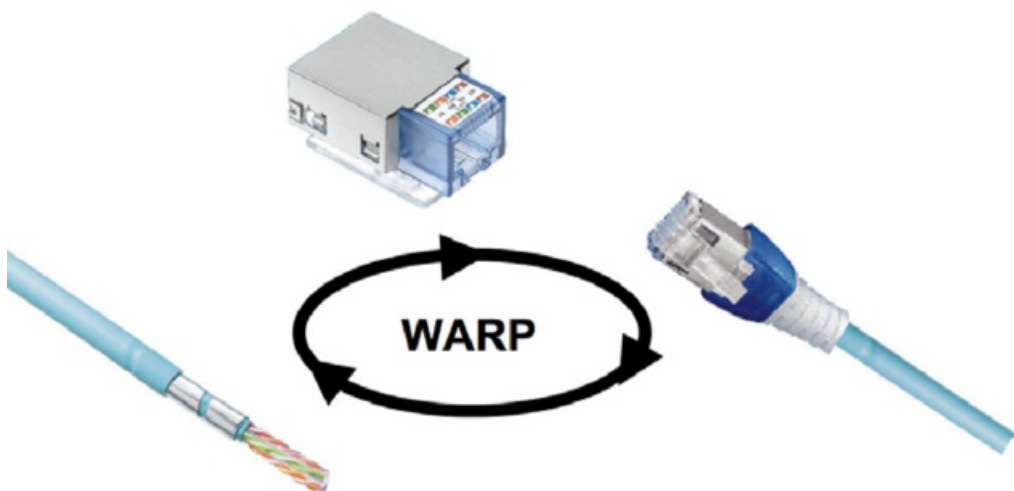


Экранирование без экрана: технология WARP для организации 10 Гбит/с в тракте СКС



Введение

Всё более частым явлением становится применение технологии 10 Gigabit Ethernet в горизонтальных подсистемах структурированных кабельных систем (СКС) офисов с использованием витопарного кабеля (стандарт Ethernet 10GBASE-T – IEEE 802.3an).

Согласно данным института инженеров электротехники и электроники (всем известный как IEEE), утвержденный стандарт кабельных систем начинает применяться на уровне ЦОД примерно через 4 года после его выхода. После 10 лет стандарт начинает применяться в горизонтальной подсистеме СКС. Следуя данной гипотезе стандарт 10GBASE-T, утвержденный в 2006 году, в ближайшие годы должен найти широкое применение в СКС.

К тому же стимулом для инсталляций кабельных систем с пропускной способностью в 10 Гбит/с является появление стандарта Wi-Fi сетей IEEE 802.11ac с заявленной скоростью до 7 Гбит/с.

Немного теории о требованиях к кабельной системе 10 Gigabit Ethernet

Для тех, кто не в теме, поясним кратко, в чем же заключаются сложности организации 10 Gigabit Ethernet по неэкранированной витой паре. Очевидно, что стандарт 10GBase-T имеет более жесткие требования к кабельной системе в сравнении с предыдущим стандартом IEEE 1000Base-T. Напомним, что 1000Base-T предусматривал передачу со скоростью 1 Гбит/с по кабелю Cat. 5е. По каждой из 4 пар данные передавались со скоростью 250 Мбит/с в обоих направлениях.

Для 10GBase-T базовая топология осталась неизменной. Однако при увеличении скорости передачи в 10 раз, сложность реализации на физическом уровне РНУ усложнилась экспоненциально. Проблемы были преодолены с помощью следующих инноваций:

- Требование увеличения скорости передачи в 10 раз потребовало увеличения количества передаваемых бит, приходящихся на 1 символ. При символьной скорости 800 МБод/с была выбрана 16-уровневая импульсно-амплитудная модуляция PAM16 с диаграммой созвездий DSQ128, обеспечивающей 3.5 бита на символ;
- Применение более мощного алгоритма упреждающей коррекции ошибок (Forward Error Correction – FEC). Это позволило повысить эффективность кодирования. Для этого был выбран код с малой плотностью проверок на чётность (Low Density Parity Check code – LDPC- code);
- Основной проблемой витопарных кабелей остаются перекрестные помехи. Внешние наводки от соседних кабелей являются неустранимым источником шума (рис. 1). Для достижения максимальной длины сегмента в 100 м необходимо использовать кабель не ниже 6 категории.

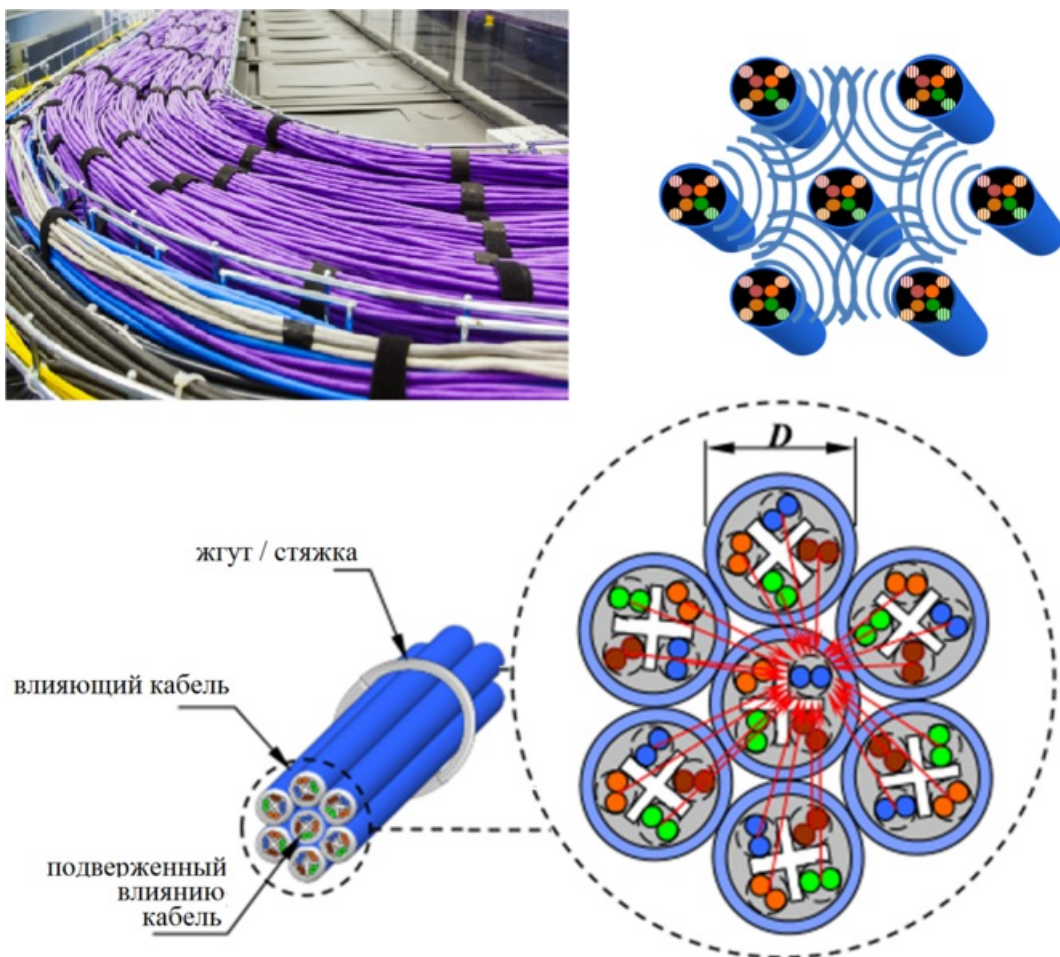


Рис. 1 – Наводки от соседних кабелей

Вследствие применения многоуровневой схемы кодирования приложение 10GBaseT делается более уязвимым к электромагнитным помехам, исходящим от внешних источников. Сеть 10GBASE-T в сто раз более чувствительна к внешним помехам, чем 1000BASE-T, поэтому проблема перекрестных наводок от соседних кабелей стоит особенно остро.

Согласно сравнительным испытаниям кабельных систем для 10 Gigabit Ethernet, проведенных в Германии независимой лабораторией GHMT, неэкранированные UTP кабели в традиционном исполнении по своим параметрам не подходят для сетей 10 Гбит/с. В ходе исследования были протестированы кабельные системы категории 6a ведущих мировых производителей, в том числе: неэкранированные системы типа U/UTP, экранированные системы типа F/UTP и типа S/FTP. Тестирование проводилось на соответствие требованиям стандартов ISO/IEC 11801 и TIA/EIA-568-B.2 к кабельным системам категории 6a. Для исследования электромагнитной совместимости тестируемые кабельные системы подвергались воздействию радиочастотных сигналов, кондуктивных помех, импульсных помех, магнитного поля и электростатических разрядов. По результатам исследования неэкранированные системы UTP не прошли основные тесты для всех уровней электромагнитной обстановки по классификации MICE, включая офисные помещения. В то же время системы STP показали удовлетворительные результаты по всем требованиям электромагнитной совместимости, таким образом, подтвердив свою пригодность для сетей 10 Гбит/с.

Однако следует отметить, что применение кабелей с экранами требует обязательного и качественного заземления, причем стандартами по инсталляции требуется именно сеть телекоммуникационного заземления. Как правило, такая сеть отсутствует, а строить ее заново и включать в стоимость проекта СКС весьма затратное дело. В то же время при ненадежном заземлении токи будут многократно протекать по экрану, частично переотражаясь на его концах и излучая электромагнитные волны в пространство. То есть экран станет просто вторичным источником излучения – своеобразной антенной. В таком случае защита сердечника кабеля от влияния внешних источников будет не только неэффективной, но и значительно увеличит электромагнитное влияние одного кабеля на проложенные рядом. Подобное излучение электромагнитного поля сигналов в пространство значительно усложняет проблемы защиты информации. К минусам экранированных систем также относится то, что экран незначительно, но увеличивает затухание кабельных цепей из-за так называемого влияния третьих цепей.

"Экранирование без экрана" – технология WARP

Как было отмечено, основной проблемой для медножильных кабелей в технологии 10-Gigabit Ethernet являются внешние электромагнитные помехи, включая наводки между соседними кабелями и соединительными шнурами. Традиционным подходом снижения уровня межкабельных наводок в неэкранированных кабельных системах (UTP), который используют большинство современных производителей, является пространственный разнос витых пар соседних кабелей. Достичь дополнительного пространственного разнесения влияющих пар можно разными способами: увеличением толщины оболочек, изменением формы кабелей (некруглые кабели) (рис. 2).

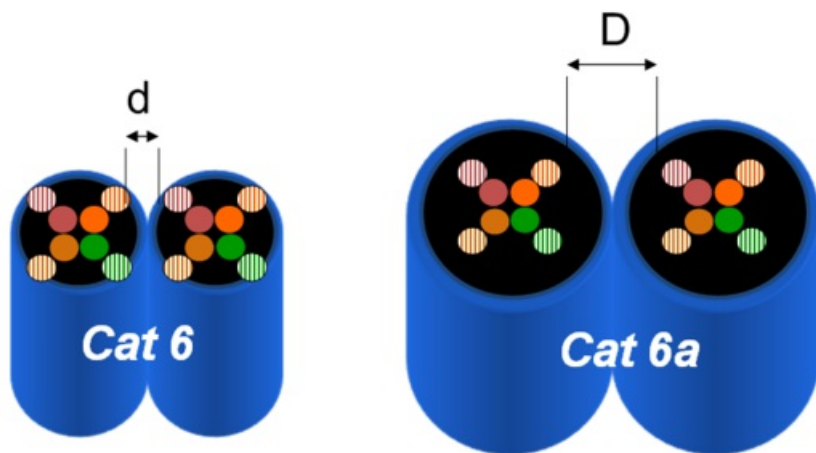


Рис. 2 – Пространственное разнесение пар соседних кабелей

Однако использование более толстых кабелей приводит к проблеме их прокладки по имеющимся кабельным каналам, а увеличение расстояние между отдельными разъемами в коммутационных панелях плохо согласуется с наблюдающейся в отрасли тенденцией максимально компактного размещения оборудования в целях экономии дорогостоящей площади технических помещений ЦОД.

Но существуют и другие подходы снижения уровня межкабельных наводок. Швейцарская компания Reichle & De-Massari (R&M) предлагает организацию кабельной системы 10-Gigabit Ethernet на основе UTP кабеля по технологии WARP (Wave Reduction Patterns). Данная технология позволяет осуществлять передачу 10-гигабитного трафика по неэкранированным медным кабелям cat. 6a на расстояние до 100 метров. Технология была разработана еще в 2005 г., однако также как и стандарт 10GBASE-T широкой известности она пока не получила. На сегодняшний день можно найти исполнение кабелей по данной технологии, но их пока немного.

Технология WARP основана на эффекте отражения электромагнитных полей от отрезков проводников, соизмеримых с $\lambda/2$. Отрезки проводников выполняют роль небольших резонаторов, препятствующих прохождению внешнего поля в сердечник кабеля и выходу энергии наружу на частотах вплоть до 700 МГц. Для этого на внутренней оболочке UTP кабеля размещаются изолированные друг от друга отрезки алюминиевой фольги (кольца) длиной примерно 15 см с промежутком между ними в 1 см (рис. 3).

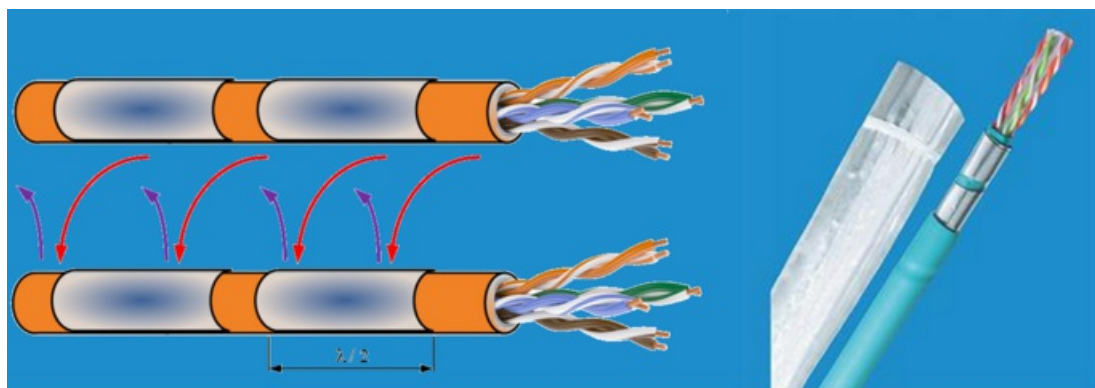


Рис. 3 – WARP экранирование

Отрезки алюминиевой фольги изолированы друг от друга и расположены достаточно часто, чтобы эффективно предотвращать перекрестные наводки. Длина отрезков алюминиевой фольги выбирается таким образом, чтобы не было образования стоячих волн, которые могут создавать нежелательные эффекты в диапазоне частот до 500 МГц.

В связи с отсутствием непрерывного экрана нет необходимости в его заземлении. В отличие от традиционных экранов, токи, протекающие в отрезках фольги, не требуют отвода на землю, а затухают и переизлучаются.

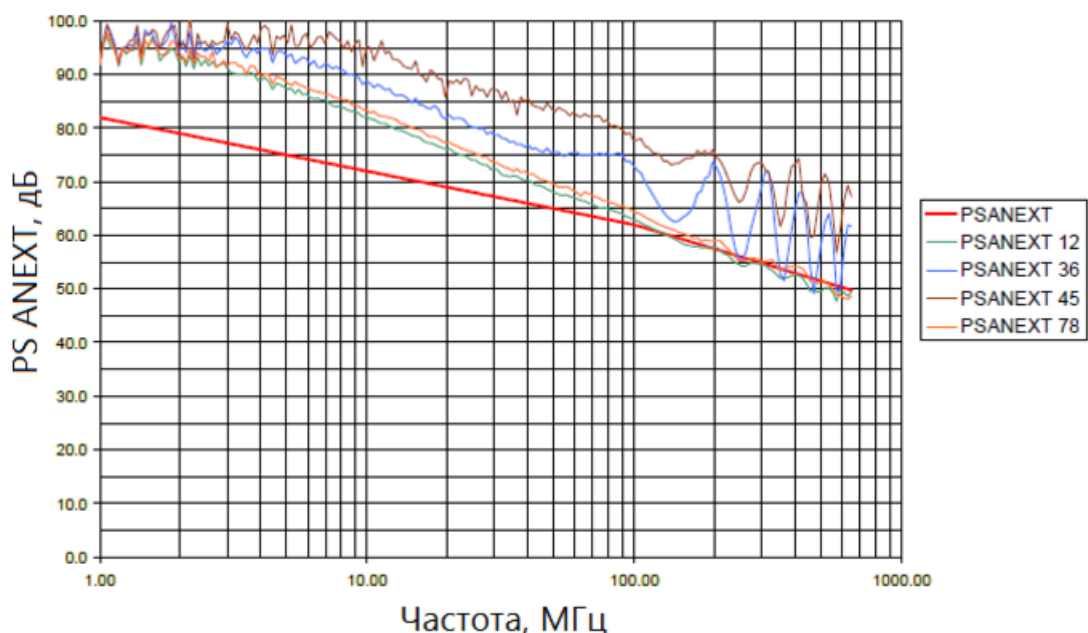
Кабель сохраняет при этом всю простоту монтажа неэкранированных систем. Исключается вопрос увеличения размеров кабельных трасс и панелей переключения для размещения громоздких экранированных кабелей.

При этом внешние перекрестные помехи, обусловленные наводимыми через электрическое поле токами, образующими в результате емкостную связь пар соседних кабелей, полностью компенсируются во всей полосе частот. Индуктивная связь, обусловленная наводимым напряжением через магнитное поле, также эффективно компенсируется за счет того, что отрезки фольги вызывают противофазные наводки, компенсирующие наводимое напряжение. При этом защищенность возрастает с увеличением частоты.

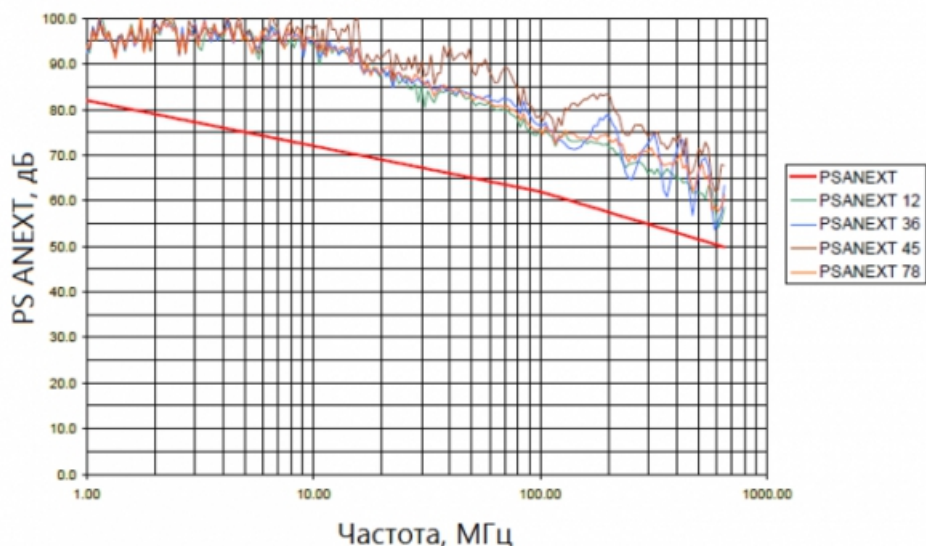
Таким образом, технология WARP обеспечивает возможность защиты от возникновения перекрёстных наводок на ближнем конце кабеля, т.е. повышается параметр ANEXT – Alien Near End Crosstalk, межкабельное переходное затухание на ближнем конце. Исчезает необходимость в последующих измерениях параметра ANEXT в установленной системе. Отметим, что ранее это было возможно только при полном экранировании.

На рис. 4 приведены графики зависимости значения ANEXT от частоты для различных типов кабелей.

Значения PS ANEXT для стандартного UTP кабеля



Значения PS ANEXT для UTP кабеля с WARP экраном



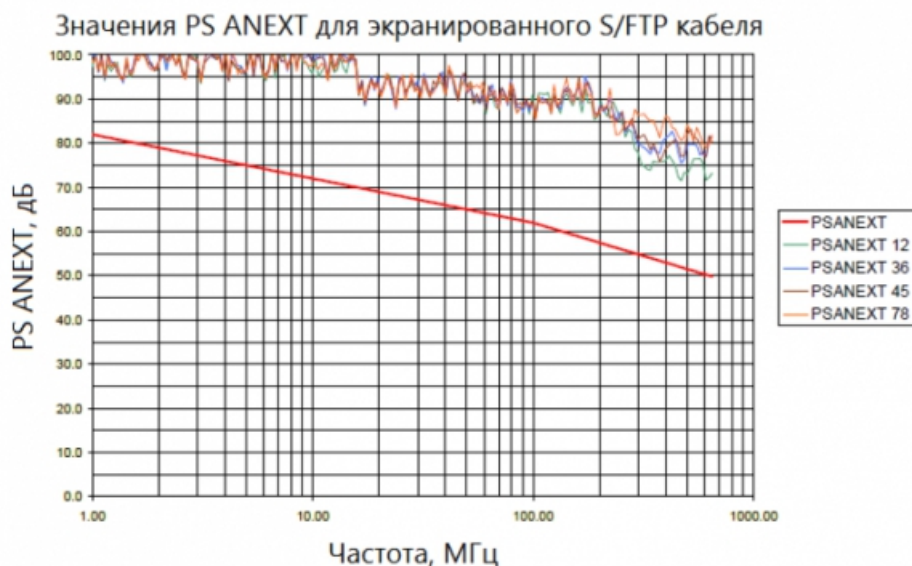


Рис. 4 – Значения PS ANEXT для различных типов кабелей

Как видно из рисунков, кабели с экраном WARP показывают практически такой же результат, что и экранированные кабели S/FTP. Технология WARP обеспечивает запас параметра PSANEXT в 20 дБ (по сравнению с требованием стандартов) во всем диапазоне рабочих частот вплоть до 500 МГц, гарантируя, таким образом, работу сетей 10GBase-T при максимальной длине линии (100 м).

Кроме того, кабели WARP обеспечивают дополнительные преимущества при передаче электроэнергии по технологии через Ethernet (Power over Ethernet – PoE). Нагрев в кабеле, появляющийся в результате организации дистанционного электропитания, благодаря интегрированной алюминиевой фольге и тонкой кабельной оболочке ниже, чем в традиционных кабелях. Это способствует замедлению старения полимерных материалов и возможности использования более протяженной длины кабеля.

К недостаткам кабелей с WARP экраном можно отнести относительную сложность производства в сравнении с традиционными UTP кабелями.

Линейка продуктов WARP компании Reichle & De-Massari предусматривает также устранение перекрестных помех между модулями разъемов. Для этого на обычные незэкранированные модули сверху надевается металлическая крышечка, которая не требует специального заземления.



Рис. 5 – Решение для разъемов

Эта крышечка выполняет ту же роль, что и отрезки фольги, вмонтированные в кабель. Также кабельной системе R&M используются защищенные от межэлементных помех коммутационные шнуры.

Таким образом, предложенное решение 10-Gigabit Ethernet по своей сути является незэкранированным: сквозной ток по WARP-элементам не течет, компоненты системы не требуют специального заземления. Монтаж осуществляется практически также как при обычных UTP системах, соответственно, можно не опасаться возникновения каких-либо сложностей. Не потребуется каких-либо специальных ухищрений для пространственного разнесения кабелей, шнуров или розеток. Можно использовать коммутационные панели с типовой плотностью установки

разъемов, значительно сэкономив место в монтажных шкафах и стойках.

Принцип WARP экранирования с точки зрения теории электродинамики

В данном разделе поясняется принцип WARP экранирования с точки зрения электродинамики направляющих систем. Поэтому, если вас интересует лишь практическая сторона вопроса, можете пропустить этот раздел. Рассмотрим понятие емкостной и индуктивной связи.

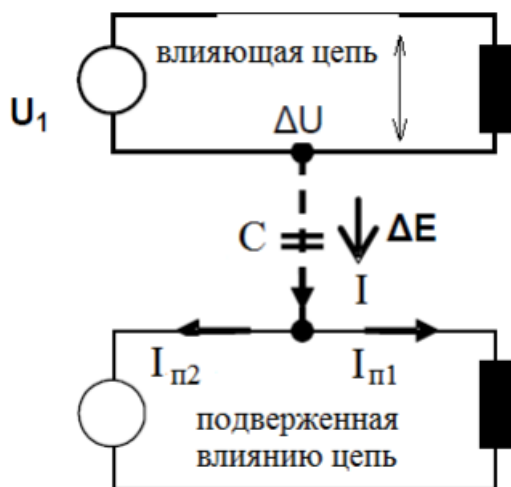
Ёмкостная связь

Электрическая емкость направляющей системы C , численно равна отношению количества электрических зарядов, сосредоточенных на поверхностях проводников, к напряжению, подведенному к жилам пары

$$Q = C \cdot U \Rightarrow C = \frac{Q}{U}$$

Коэффициент электрической связи C – это коэффициент пропорциональности между напряжением сигнала во влияющей направляющей системе и током помехи, проникающей в подверженную влиянию направляющую систему через электрическое поле

$$I_{\Pi} = C \cdot \Delta U \Rightarrow C = \frac{I_{\Pi}}{\Delta U}.$$



Численно коэффициент электрической связи C обусловлен асимметриями проводимостей изоляции и электрических емкостей между проводами взаимовлияющих направляющих систем.

На достаточно высоких частотах ток I_{Π} помехи в основном определяются емкостной асимметрией, которую называют емкостной связью.

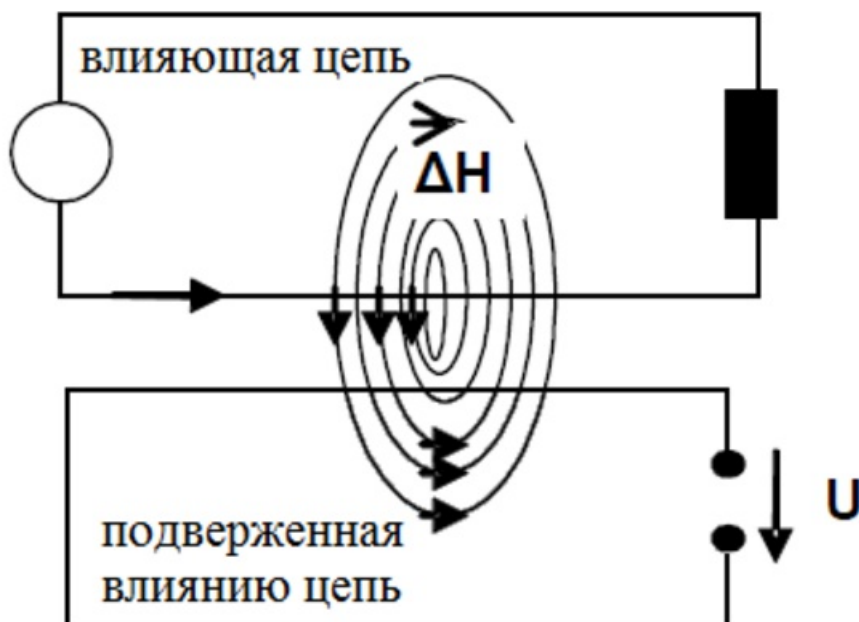
Индуктивная связь

Индуктивность направляющей системы L , численно равна отношению магнитного потока в пространстве между центрами проводов к силе тока в проводах

$$\Phi = L \cdot I \Rightarrow L = \frac{\Phi}{I}$$

Коэффициент магнитной связи M – это коэффициент пропорциональности между током во влияющей направляющей системе и ЭДС индуцированной этим током в направляющей системе подверженной влиянию

$$-E_{\Pi} = M \cdot I \Rightarrow M = \frac{-E_{\Pi}}{I}$$



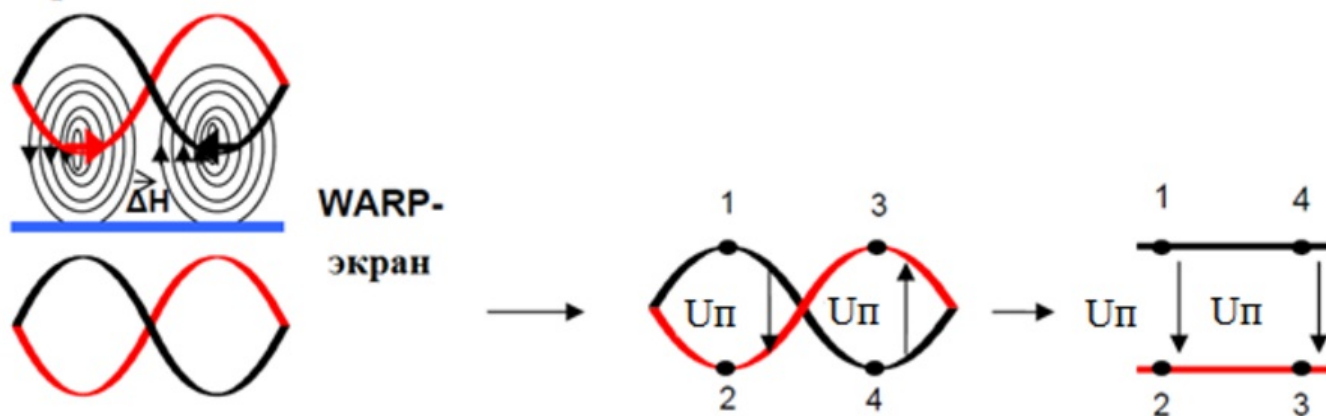
Численно M определяется асимметриями сопротивлений проводов и взаимных индуктивностей между проводами.

На достаточно высоких частотах ток помехи в основном определяется асимметрией взаимных индуктивностей, которую называют индуктивной связью.

Взаимное влияние соседних кабелей при WARP экранировании

Изменяющийся во времени магнитный поток порождает вихревое магнитное поле, ограниченное в зоне кабельного экрана, т.е. WARP экрана. В свою очередь вихревые токи сами порождают магнитное поле, силовые линии которого противоположны исходному магнитному полю.

Сторонняя помеха



Поэтому происходит смещение магнитного потока вблизи проводника – чем выше частота, тем больше величина смещения, тем меньше проникновение стороннего поля в сердечник кабеля. Таким

образом, кольцевые отрезки фольги WARP экрана препятствуют проникновению магнитного поля от соседних кабелей.