

УДК 621.391.63

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА К ПАССИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ

Н.Н. СЕРГЕЕВ, В.Н. УРЯДОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь**Поступила в редакцию 20 марта 2019*

Аннотация. Рассматривается возможность несанкционированного доступа к информации передаваемой от абонента, при использовании отраженного сигнала от ответвителя на другой абонентской розетке. Проведен расчет уровня полученного отраженного сигнала, а также расчет порога чувствительности приемника. Выполнена оценка возможности такой атаки.

Ключевые слова: пассивная оптическая сеть, защита информации, несанкционированный доступ, сетевая атака и угроза.

Введение

Недостатком PON-сети является незащищенность канала передачи от действий злоумышленников. В статье [1] показано, что для того чтобы воспользоваться отраженным сигналом и снять информацию абонента с другой соседней оптической розетки, достаточно, чтобы величина отраженного сигнала была в рамках квантового предела детектируемости. Однако чувствительность в квантовом пределе недостижима, и обычно применяют приемный оптический модуль с оптическим предусилителем.

Целью работы является исследование возможности несанкционированного доступа к информации, передаваемой от абонента, при использовании отраженного от ответвителя сигнала на другой абонентской розетке в пассивной оптической сети.

Вид рассматриваемой угрозы

На канальном уровне проблема безопасности в PON-сети практически решена, защита обеспечивается современными алгоритмами шифрования данных. На физическом – неисправность лазера обратного канала или контроллера этого лазера может вывести из строя всю систему. В принципе, такие случаи предусмотрены и отслеживаются системами управления, а включившийся на непрерывную передачу лазер может быть отключен с помощью watchdog, контролирующим, чтобы время функционирования лазера не превышало отведенный временной интервал. Куда серьезнее могут быть последствия действий злоумышленников: для нарушения (или даже прекращения) работы всего сегмента PON-сети достаточно осуществить воздействие лазером на любое из абонентских окончаний или просто подключить к нему любое активное сетевое устройство. Достаточно просто реализуемо и снятие информации нисходящего потока, поскольку обычный приемник обеспечивает прием сигнала любого приемника, если использовать другой временной интервал. Более сложно в реализации снятие информации контролируемого абонента с другой абонентской розетки, поскольку для этого необходимо использовать отраженный от ответвителя сигнал. При использовании отраженного сигнала необходимо учесть, что в пассивной оптической сети существуют возвратные потери в неоднородностях.

Расчет уровня полученного отраженного сигнала

Рассмотрим приведенную на рис. 1 модель, состоящую из станционного терминала OLT, оптической линии, разветвителя и нескольких абонентских терминалов ONT.

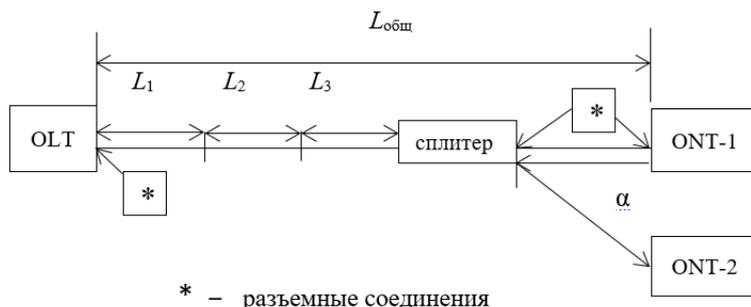


Рис. 1. Поток информации в PON-сети

Для снятия информации, передающейся от ONT-1 в восходящем (upstream) направлении, с ONT-2, будет использоваться отраженный от ответвителя сигнал α_r . Для каждой оптической линии представим все потери в линии в виде суммы затуханий всех компонентов: оптического кабеля, разъемных соединений, сварных соединений, разветвителей:

$$A = A_{\text{отв}} + A_{\text{раз}}, \text{ [дБ]} \quad (1)$$

где A – суммарные потери, $A_{\text{отв}}$ – потери на оптическом разветвителе, $A_{\text{раз}}$ – потери в разъемном соединении. В рассматриваемом случае на пути прохождения сигнала ONT-1 – ONT-2 имеется 4 разъемных соединения, затухание в которых, согласно допустимым нормам [3], составит:

$$A_{\text{раз}} = A_{\text{раз.норм}} \cdot N_{\text{раз}} = 0,5 \cdot 4 = 2, \text{ [дБ]} \quad (2)$$

Потери на оптическом ответвителе находим как возвратные потери, которые определяют долю оптической мощности, возвращающейся обратно к источнику оптического сигнала. В рассматриваемом случае источником оптического сигнала является ONT-1. Возвратные потери определяются согласно выражению:

$$\alpha_B = -10 \lg \frac{P_{\text{отр}}}{P_{\text{вх}}} = -10 \lg \frac{(n - n_c)^2}{n^2 + n_c^2}, \text{ [дБ]} \quad (3)$$

где $P_{\text{вх}}$ и $P_{\text{отр}}$ – мощности падающего и отраженного излучения, соответственно.

Основным фактором, определяющим возвратные потери, являются френелевские отражения. С этой позиции разветвитель характеризуется затуханием на ближнем конце 50 дБ [4]. В результате получается:

$$2 + 50 = 52, \text{ [дБ]} \quad (4)$$

Получен уровень сигнала ONT-1, который придет на терминал ONT-2. Рассчитаем, достаточен ли будет полученный уровень сигнала, для снятия информации на ONT-2. Для этого найдем порог чувствительности приемника. Так как одним из основных модулей приема на сегодняшний день является оптический модуль с pin-фотодетектором, то расчет будет проведен для такого детектора.

Расчет порога чувствительности приемника

В работе [5] показано, что значение порога чувствительности для фотоприемника с pin-фотодетектором определяется следующим выражением:

$$P_{\text{pin}} = \frac{A_\lambda}{\eta_m} \sqrt{i^2_{\text{pin}}} \quad (5)$$

где $A_\lambda = P_{\text{ош}}(hc/e\lambda)$ – коэффициент, пропорциональный энергии падающего фотона; $P_{\text{ош}}$ – параметр, характеризующий вероятность ошибки (в нашем случае $P_{\text{ош}}=6,36$, что соответствует $P_{\text{ош}} = 10^{-10}$); h, c, e – физические постоянные, h – постоянная Планка, c – скорость света, e – заряд электрона; η_m – квантовая эффективность – величина,

показывающая эффективность преобразования фотон-электрон для современных фотоприемников она определена и равна $\eta_m = 0,75-0,9$; $\sqrt{i_{pin}^2}$ – среднеквадратичное значение шумового тока приемного модуля с pin-фотодиодом.

При длине волны λ равной 1,3 мкм, коэффициент A_λ равен 5,7 Вт/А и при длине λ , равной 1,55 мкм, коэффициент A_λ равен 4,8 Вт/А. Энергия падающего излучения, соответствующая одному и тому же фототоку, уменьшается с увеличением длины волны.

Мощность шума оптического приемного модуля с pin-фотодетектором и полевым транзистором на входе можно определить с помощью выражения:

$$\overline{i_{pin}^2} = 4 \cdot k \cdot T \cdot (2 \cdot \pi \cdot C_\Sigma) \cdot B^2 \cdot \left(\frac{In_2}{2K} + \frac{In_3 \cdot (2\pi \cdot C_\Sigma) \cdot B \cdot Fn}{Sm} \right), \quad (6)$$

где k – постоянная Больцмана, T – температура; C_Σ – суммарная емкость фотодиода, предварительного усилителя; Fn – шум-фактор полевого транзистора; In_2, In_3 – интегралы Персонака; Sm – крутизна полевого транзистора; K – коэффициент, характеризующий глубину интегрирования во входной цепи фотоприемника.

В результате получаем зависимость чувствительности оптического приемника от скорости передачи:

$$P_{pin} = \frac{A_j}{\eta_m} \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot (2 \cdot \pi \cdot C_\Sigma) \cdot B^2 \cdot \left(\frac{In_2}{2K} + \frac{In_3 \cdot (2\pi \cdot C_\Sigma) \cdot B \cdot Fn}{Sm} \right)} \quad (7)$$

На рис. 2 приведена, рассчитанная в пакете Mathcad, кривая расчета чувствительности оптического приемника при следующих параметрах: $\eta_m = 0,8$; $A_\lambda = 4,8$ Вт/А; $C_\Sigma = 0,5$ пФ (кривая 1), $C_\Sigma = 1$ пФ (кривая 2); $In_2 = 0,55$, $In_3 = 0,085$; $Sm = 35 \cdot 10^{-3}$ См; $Fn = 1,5$.

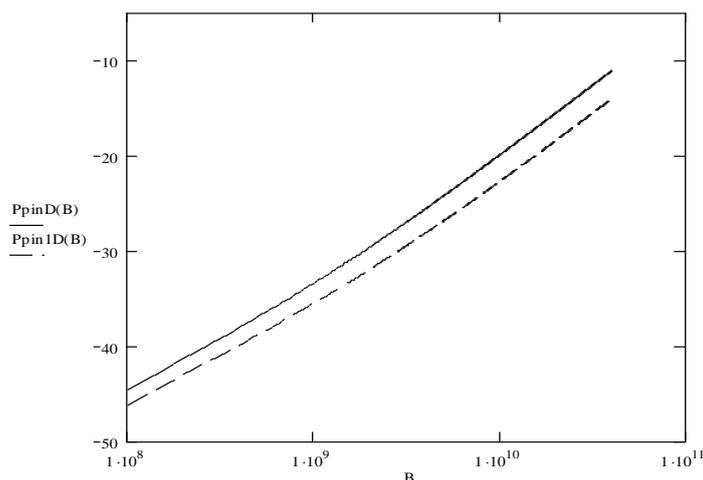


Рис. 2. Зависимость чувствительности оптического приемника с pin-фотодиодом от скорости передачи

Из рис. 2 следует, что чувствительность оптического приемника с увеличением скорости передачи информации быстро уменьшается, что приводит к уменьшению бюджета системы, который равен разности уровней передающего оптического модуля и чувствительности оптического приемного устройства.

Расчет чувствительности оптического приемного модуля с оптическим предусилителем можно выполнить, если учесть, что мощность шума i^2 pin-фотодиода уменьшается в G^2 раз (где G – коэффициент усиления оптического усилителя), а шумы усилителя – с учетом эффективности преобразования pin-фотодетектором.

Для тех же параметров, что и в предыдущих расчетах, с учетом того, что полоса спектра сигнала одного канала $\Delta\nu$ для системы со скоростью V Мбит/с примерно равна $\Delta\nu = 2V$, построена зависимость чувствительности оптического приемника с pin-фотодиодом от скорости передачи при $k_1 = 0,5$ (рис. 3).

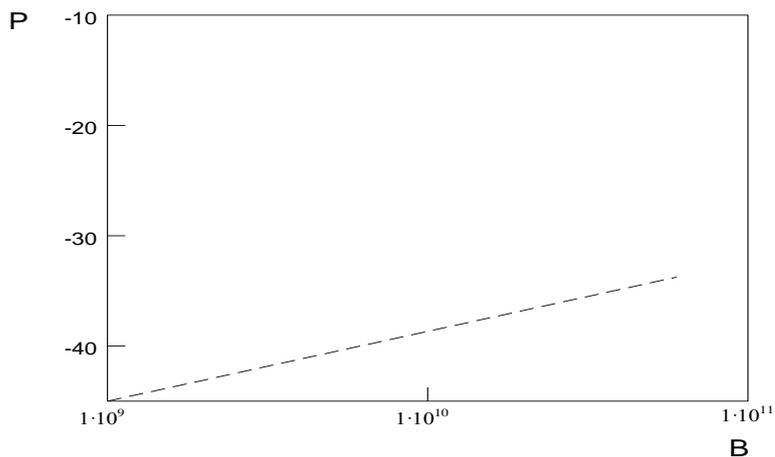


Рис. 3. Зависимость чувствительности оптического приемника с pin-фотодиодом от скорости передачи при $k_1 = 0,5$

Оценка возможности несанкционированного доступа к информации, передаваемой от абонента, при использовании отраженного от ответвителя сигнала на другой розетке

На основе результатов сравнения оптических приемников различного типа установлено, что приемник с оптическим предусилителем с типичным коэффициентом усиления 20 дБ обеспечивает выигрыш в чувствительности примерно на 7 дБ по сравнению с приемником, использующим лавинный фотодиод и 15 дБ с pin-фотодиодом.

Реальная чувствительность для скорости 2,5 Гбит/с составила – 49 дБм, что обуславливает возможность несанкционированного доступа к восходящему потоку с абонентской розетки. Однако качество приема сигналов будет с большей вероятностью ошибки ($\sim 10^{-6}$).

Заключение

Показано, что в стандартной PON-сети возможен скрытый доступ к передаваемой информации при атаке с любой соседней оптической розетки путем выделения прямого и отраженного сигнала в оптическом сплиттере. Обратного канала, достаточно, чтобы величина этого сигнала была теоретически в рамках квантового предела детектируемости.

ESTIMATION OF THE POSSIBILITY OF UNAUTHORIZED ACCESS TO THE PASSIVE OPTICAL NETWORK

N.N. SERGEEV, V.N. URYADOV

Abstract. The possibility of unauthorized access to information transmitted from the subscriber when using the reflected signal from the coupler to another subscriber outlet is considered. Conduction of the reflected signal level and threshold sensitivity of the receiver is conducted. An assessment of such attack possibility is made.

Keywords: passive optical network, information protection, unauthorized access, network attack, threat.

Список литературы

1. Птицын Г.А. Живучесть динамических сетей телекоммуникаций М.: МТУСИ. 2008.
2. Gutierrez D., Cho J., Kozovsky L.G. // Optical Fiber Communication and the National Fiber Optic Engineers Conference. USA, 25–29 March 2007.
3. Булавкин И.А. // Технологии и средства связи 2006. IW2. С. 104–108.
4. Рекомендация МСЭ-Т G.983.1. Широкополосные оптические сети доступа на базе пассивных оптических сетей.
5. Урядов В.Н., Алишев Я.В., Перспективные информационные технологии в волоконно-оптических сетях телекоммуникаций. Минск, 2003.