

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

**ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ
(ЭМС – 2015)**

Сборник научных трудов первой международной
научно-технической конференции

Харьков 27 мая 2015 г.

Харьков 2015

УДК 621.37/.39

Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (ЭМС-2015) : Сборник научных трудов первой международной научно-технической конференции, Харьков 27 мая 2015 г. / М-во образования и науки Украины, Харьковский национальный университет радиоэлектроники. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – 172 с.

В сборник включены научные доклады участников первой Международной научно-технической конференции «Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи» (ЭМС-2015).

Издание подготовлено кафедрой телекоммуникационных систем
<http://tcs.kharkov.ua/>

61166, Украина, Харьков, просп. Ленина, 14.
Тел./факс: +380 (57) 702-13-20,
+380 (57) 702-55-92.

E-mail: emc@picst.org
<http://emc-2015-ru.weebly.com/>

АКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ КАНАЛОВ

Фролов А.В., Иванцова А.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

6166, Харьков, пр. Ленина, каф. ТАПР, тел. (057)702-14-86

E-mail: tapr@kture.kharkov.ua

The spectrum of the signal modulated in intensity spectrum resembles amplitude modulated signal. It comprises side components and the spectrum of the original signal should be limited to the first harmonic of the clock frequency. Frequency stability for STM- 64 will be sanctioned in the neighboring frequency channel group, unacceptable increase in noise suppression and signal the failure of the system.

Если определенные спецификации технологий уплотнения оптических каналов (Dense Wavelength Division Multiplexing - DWDM) требуют соблюдения малой ширины полосы излучения (0.01-0.5нм) *G.692*, *G.957*, то далеко не все излучатели обеспечивают ее.

Спектр сигнала, модулированного по интенсивности, напоминает спектр амплитудно-модулированного (АМ) сигнала. Он содержит боковые составляющие, причем спектр исходного сигнала должен быть ограничен первой гармоникой тактовой частоты. Нестабильность частоты для STM-64 в 10 ГГц вызовет наложение на частоты соседнего группового канала, недопустимый рост шума, подавление сигнала и срыв функционирования системы. Для STM-256 даже о половине допусков системы STM-64 речь вести нельзя. То есть, система стабилизации частоты должна быть очень качественной. Для STM-64 ширина спектральной линии не должна превышать 0.08 нм при спектральных интервалах 50 ГГц. Для STM-16 $\Delta\lambda = \pm 0.5\text{нм}(G.957)$.

Выход из указанных частотных полос ведет к появлению недопустимых перекрестных помех. В принципе, вопрос можно решить введением дополнительных фильтров, но это вызовет значительное удорожание системы и необходимость использования дополнительных усилителей.

Рассчитаем коэффициент шумо-помех источника излучения совместно с фотодетектором, используя формулы анализа:

$$FWMf[\text{дБ}] \approx -57 + 101g\left(\frac{N}{d_f}\right) + \frac{1200}{d_f}.$$

$$K_{ш, \text{ДБ}} + K_{ш, \text{ФП}} = \frac{m^2}{2\Delta\nu_{\text{кан}}} \left(R + \frac{2q}{P_{\text{ex}}} + \frac{I^2}{P_{\text{ex}}^2 S^2} \right)^{-1},$$

где m - индекс канальной оптической модуляции, часто именуемый как OMI (Optical Modulation Index). Обычно выражается в процентах, но в расчетные формулы необходимо подставлять безразмерную величину, такую как $m_{[\%]}/100$. Например, $m = 4\%$ эквивалентно $m = 0,04$;

$\Delta\nu_{\text{кан}}$ - шумовая полоса канала в выделенной полосе;

R - относительная интенсивность шумов RIN (Relative Intensity Noise), которая рассчитывается, как шумовая мощность, приведенная к полосе 1 Гц относительно оптической мощности немодулируемой несущей. Имеет размерность дБ/Гц;

q - заряд электрона;

S - чувствительность оптического модуля, который зависит от оптической длины волны. Типичные значения S составляют $S_{1310} = 0,85 \text{ А/Вт}$ и $S_{1550} = 0,95 \text{ А/Вт}$ для длин волн 1310 нм и 1550 нм соответственно. Физически параметр S показывает, какой ток (в мА) появится на выходе фотодетектора при влиянии на его входе оптической мощности в 1 мВт (0 дБм);

I_n - эквивалентный шумовой тепловой ток усилителя, измеряемый в $n\text{А}/\sqrt{\text{Гц}}$. Типичная величина I_n для транзисторного каскада, выполненного на GaAs полевом транзисторе, составляет $7-8 \text{ нА}/\sqrt{\text{Гц}}$. В настоящее время появились малошумящие усилительные транзисторы с очень большим входным сопротивлением, которые владеют входным шумовым током до $5 \text{ нА}/\sqrt{\text{Гц}}$. Кроме того, с ограничением полосы частот общая полезная мощность будет падать, а с ростом сверх ограничения, она будет падать за счет перераспределения в запрещенный внеканальный диапазон частот, при этом инициируется уменьшение отношения сигнал/шум, что в

свою очередь эквивалентно ухудшению качества передачи информации в системе. Запишем коэффициент уровня межканальных помех оптического сигнала, характеризующий потери мощности:

$$P_{кан} 3ad = P_{кан} e^{-5 \frac{\Delta \nu_{полосы}}{\Delta \nu_{вх}}}$$

где $P_{кан}$ - мощность оптического канала;

$\Delta \nu_{полосы}$ - диапазон частот, выделенный на канал.

Оптический усилитель повышает уровень не только полезного оптического сигнала, но и паразитных гармоник, которые, собственно, и составляют основу для перекрестных помех оптических систем. Кроме этого, оптические усилители имеют собственные шумы.

Наличие коэффициента шума усилителя вызвано усиленным спонтанным излучением. Коэффициент шума определяется из следующего выражения:

$$NF = \frac{2P_{ASE}}{h\nu_c \Delta \nu (G_A - 1)} (\partial B),$$

где P_{ASE} - мощность усиленного спонтанного излучения;

h - постоянная Планка;

ν_c - частота сигнала

$$P_{ASE} = 2n_s h\nu \Delta \nu_A (G_A - 1),$$

где n_s - коэффициент спонтанной эмиссии. Коэффициент спонтанной эмиссии может принимать значение от 1 до 10 для оптических усилителей с $G_A > 1$. Для типичных эрбиевых усилителей современных волоконно-оптических системах передачи информации (ВОСПИ) с $G_A \gg 10$ дБ, типовое значение NF лежит в пределах 3дБ $< NF < 6$ дБ. Если усилители включаются последовательно каскадами, то можно показать, что шум-фактор первого каскада определяет шум-фактор всего усилителя. Коэффициент шума NFR рамановского распределенного усилителя определяется из выражения:

$$NF_R = \frac{2}{\ln G_R},$$

где G_R - коэффициент усиления рамановского усилителя, который определяется из выражения:

$$G_R = e^{\frac{g_R P_h L}{A_{эф}}}$$

где g_R - рамановский коэффициент;

P_h - мощность накачки;

$A_{эф}$ — эффективная площадь сечения;

L - длина волокна.

Можно принять $g_R = 7 \cdot 10^{-17}$ км/Вт. Мощность накачки в действительности лежит в пределах от 0.5-0.8 Вт до нескольких ватт.

Следовательно, получаем общий коэффициент шума оптического усилителя:

$$K_{ш.ОП} = \frac{1}{M} \sum_M K_{ш.кан} (NF_{A_M} - K_{A_M}),$$

где NF_A - шумы конкретного усилителя;

K_A - коэффициент усиления усилителя;

$K_{ш.кан}$ - коэффициент шумо-помех канала передачи, полученный перед каждым оптическим усилителем;

M - количество усилителей.

Шумы фотодетектора и, соответственно, коэффициент $K_{ш.фн}$ задаются, исходя из сведений производителей, которые ими предоставлены.

$K_{ш.ом}$ - также рассчитывается, исходя из данных производителей оборудования.

Реально учитывается 3 дБ запас по отношению сигнал/шум благодаря кодировке (FEC), которая применяется в магистральных ВОСПИ. Этот запас вводится как улучшение отношения сигнал/шум на фотодетекторе и не является максимально возможным.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Дианов Е.М., Кузнецов А.А. Спектральное уплотнение каналов в волоконно-оптических линиях связи // Квантовая электроника, 1983, № 10, С. 245–264.
2. Палатник Л.С., Сорокин В.К. Материаловедение в микроэлектронике. - М.: Энергия, 1999. - С. 380.
3. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. - М.: 1999. - С.379.