

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра сверхвысоких частот и квантовой радиотехники  
(СВЧ и КР)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМОВ ОПТИЧЕСКОГО ТРАКТА  
НА ЦВЕТОВУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ ТЕЛЕВИЗИОННОГО  
СИГНАЛА**

Томск-2011

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра сверхвысоких частот и квантовой радиотехники  
(СВЧ и КР)

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. Кафедрой СВЧ и КР  
\_\_\_\_\_ С.Н. Шарангович  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2011г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМОВ ОПТИЧЕСКОГО ТРАКТА  
НА ЦВЕТОВУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ ТЕЛЕВИЗИОННОГО  
СИГНАЛА**

РУКОВОДСТВО  
к компьютерной лабораторной работе по дисциплине  
“Волоконно-оптические локальные сети и системы  
кабельного телевидения ”  
для студентов специальности  
210401 “Физика и техника оптической связи”

Разработчики  
Доцент кафедры СВЧ и КР, к.т.н.  
\_\_\_\_\_ Н.Д. Хатьков

ассистент кафедры СВЧ и КР  
\_\_\_\_\_ Д.Г. Осетров

студентка гр.350-1  
\_\_\_\_\_ Е.С. Лыткина

# 1 ВВЕДЕНИЕ

Цель работы - на примере готовых программных модулей, изучить влияние шумов различных участков оптического тракта на цветовую составляющую телевизионного сигнала.

## 2 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 2.1 Модель волоконно-оптической системы передачи

Рис. 2.1 представляет простую модель ВОСП, которая как можно заметить, аналогична некой радиосистеме или беспроводной системе передач.



Рис.2.1 – Упрощенная модель ВОСП.

Операции в блоках могут быть аналоговыми или цифровыми. Многие кабельные телевизионные системы используют аналоговый формат, со временем, однако, он все больше меняется на цифровой. Другая форма аналоговых приложений - передача радиосигналов в их естественной форме без использования частотной модуляции.

Возвращаясь к рис. 2.1, опишем кратко функцию каждого блока на блок-схеме, двигаясь слева направо. *Электрооптический преобразователь* (ЭОП) преобразует цифровой электрический сигнал в оптический NRZ- или RZ-сигнал или сигнал, использующий манчестерский код. Он также устанавливает требуемый уровень постоянного смещения входных импульсов.

*Оптический передатчик светового излучения.* Существуют два различных источника света, широко используемых сегодня на практике:

светоизлучающий диод — СИД (LED) и лазерный диод — ЛД (LD). Оба источника относятся к устройствам со сравнительно низким уровнем выхода, лежащим в диапазоне от  $-10$  дБм до  $+6$  дБм.

Этот источник соединяется с *оптическим приемником* светового сигнала на удаленном конце через одно из оптических волокон в ВОК (другие волокна используются для других целей, в том числе и для резервирования). Оптические волокна внутри кабеля могут быть как одномодовыми, так и многомодовыми.

## 2.2 Шумы в оптических сетях

В общем случае (Рис.2.2) простейшая аналоговая ВОЛС включает в свой состав оптический передатчик (Optical Transmitter), оптический усилитель (Optical Amplifier) и оптический приемник (Optical Receiver). Оптические усилители используются только во втором окне прозрачности (рис.2.3), т.е. на длине волны  $\lambda = 1550$  нм.

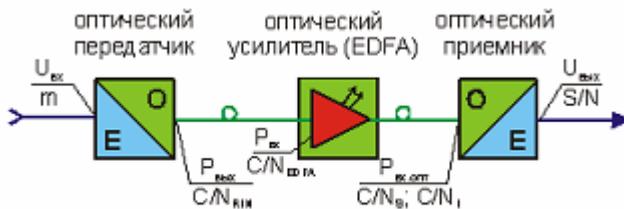


Рис. 2.2

Весь ниже изложенный математический аппарат ориентирован на использование DFB лазеров (Distributed Feed Back – лазер с распределенной обратной связью).

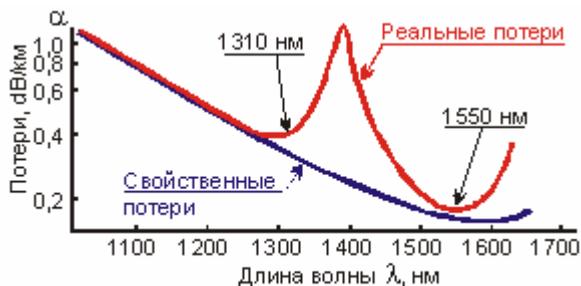


Рис. 2.3

**Шумы оптического передатчика.** Шумы передатчика формируются лазером вследствие спонтанной эмиссии фотонов, которая приводит к некогерентности светового потока. Эти шумы характеризуются относительной интенсивностью шумов – RIN (Relative Intensity Noise). Иными словами, это мощность шумов, измеряемая в полосе 1 Гц по отношению к мощности излучаемого квазикогерентного светового потока. А отношение несущая/шум ( $C/N$  – carrier/noise) записывается в виде:

$$C / N_{RIN} = \frac{m^2}{2\Pi(RIN)}, \quad (2.1)$$

где:  $m$  - индекс канальной оптической модуляции (ОМІ – Optical Modulation Index), исчисляемый в безразмерных единицах<sup>1</sup>;

$\Pi$  - шумовая полоса TV канала по видео полосе (3,75/4,75/5,75 МГц для систем NTSC/PAL/SECAM соответственно).

Выражение (1) может быть переписано в логарифмическом виде:

$$C / N_{RIN[dB]} = 201g(m) - 101g(\Pi)_{[MHz]} - RIN_{[dB/Hz]} - 63, \quad (2.2)$$

Величина 63 в правой части формулы (2.2) представляет собой результат суммирования 3 dB (логарифмическое представление числа 2) и поправки к величине относительной интенсивности шумов, пересчитанной для полосы с шириной в 1 Гц. Интенсивность шумов в этой полосе будет больше RIN в  $10^6$  раз, что при логарифмическом представлении приводит к увеличению значения на 60 dB.

Из формулы (2.2) видно, что с повышением  $m$  (достигается путем увеличения уровня сигнала, подаваемого на вход оптического модулятора) увеличивается  $C/N_{RIN}$ . Важно отметить, что всякое увеличение (уменьшение) уровня входного сигнала оптического передатчика на 1 dB вызывает увеличение (уменьшение) ОМІ на 0,5 dB и, как следствие, увеличение (понижение)  $C/N$  на выходе оптического приемника также на 1 dB (при неизменном уровне входной оптической мощности).

Типовое значение индекса оптической модуляции ( $m$ ) составляет 3...5%. Типовое значение RIN для DFB неохлаждаемых лазеров составляет –135...165 dB/Гц.

Если в КСКТП транслируется N каналов в другой системе цветности (например, SECAM с  $\Pi = 5,75$  МГц), то  $C/N_{RIN}$  изменится на величину  $\Delta RIN^2$ :

$$\Delta_{RN} = 101g \left( \frac{N}{N_H} \right) + 101g \left( \frac{II_H}{II} \right), \quad (2.3)$$

**Пример 1.** На какую величину изменится отношение несущая/шум ( $C/N_{RIN}$ ) оптического передатчика DVO 902, если в КСКТП транслируется 50 каналов с системой цветности SECAM<sup>3</sup>?

Подставляем численные значения в выражение (2.3):

$$\Delta_{RN} = 101g \left( \frac{50}{42} \right) + 101g \left( \frac{4,75}{5,75} \right) = 0,1dB$$

Таким образом,  $C/N_{RIN}$  фактически не изменится.

На основании проведенных расчетов можно сделать следующие полезные практические рекомендации:

- для поддержания прежнего значения  $C/N_{RIN}$  при произвольном значении числа транслируемых каналов  $N$  и сигналов с другой системой цветности, необходимо изменить уровень входного сигнала оптического передатчика на величину  $-\Delta_{RIN}$ ;
- при использовании в КСКТП разных систем цветности (например, PAL и SECAM), входные каналные уровни (или уровни сигналов с выходов кассетных модулей головной станции) должны различаться на величину  $10 \lg (II_1/II_2)$ . Большей полосе видео канала должен соответствовать больший входной уровень сигнала (с целью поддержания равного отношения сигнал/шум);
- всякому увеличению (уменьшению) уровня сигнала, подаваемого на вход оптического передатчика на 1 dB, будет соответствовать ухудшение (улучшение) CSO также на 1 dB и CTB на 2 dB. Это накладывает довольно жесткие ограничения на уровни входных модулирующих сигналов.

Еще одна рекомендация касается передатчиков с заявленными на них параметрами в стандарте NTSC. Приведенные выше формулы позволяют корректно пересчитать шумовые характеристики для любой системы цветности. Но уровни интермодуляционных искажений, в силу отличий американских и европейских методик измерения параметров, с должной точностью пересчитать невозможно. Поэтому, приобретая такой передатчик, следует запросить у производителя параметры для требуемой системы цветности ( PAL или SECAM ).

Таким образом, можно получить конечное отношение по расчету несущая/шум оптического передатчика в логарифмической форме через его паспортные (с индексом «П») и эксплуатационные параметры

$$C/N_{\text{ЭВ}}[\text{дБ}] = 201g(m_{\text{П}}) - 101g(IT)_{[\text{МГц}]} + |RIN|_{[\text{дБ/Гц}]} - 63 + 101g\left(\frac{N}{N_{\text{П}}}\right) + (U_{\text{эк}} - U_{\text{эк.П}})_{[\text{дБ, мВ}]} \quad (2.4)$$

На рис. 2.4 представлена расчетная зависимость отношения несущая/шум оптического передатчика DVO 902 (Teleste) от рабочего индекса оптической модуляции для 42 PAL каналов.

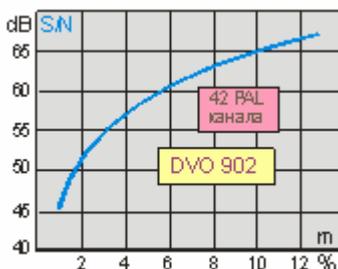


Рис. 2.4

**Шумы оптического усилителя** (EDFA – Erbium Doped Fiber Amplifier – оптический усилитель на волокне, легированном эрбием) также обязаны спонтанной эмиссии фотонов. В технической литературе эти шумы часто именуется как ASE (Amplifier Spontaneous Emission – спонтанная эмиссия усиления), а отношение несущая/шум вычисляется по формуле:

$$C/N_{\text{EDFA}} = \frac{S/N_{\text{эк}} \cdot m^2}{2IF} \quad (2.5)$$

где:  $S/N_{\text{ВХ}}$  - собственное отношение сигнал-шум на входе оптического усилителя (не путать с входным отношением несущая-шум);  
 $F$  - коэффициент шума EDFA.

$S/N_{\text{ВХ}}$  является функцией входной оптической мощности  $P_{\text{ВХ}}$  (Вт) усилителя:

$$S/N_{\text{эк}} = \frac{\lambda P_{\text{эк}}}{2hc}, \quad (2.6)$$

здесь:  $\lambda$  - длина оптической волны, м;  
 $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж - постоянная Планка;  
 $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость распространения световой волны.

Подставляя (2.6) в (2.5) и приведя все к логарифмической форме, удобной для практического использования, получим:

$$C/N_{EDFA} = 91 + 101g(\lambda)_{[мкм]} + P_{ex [дБм]} + 201g(m) - 101g(I)_{[мВт]} - F_{[дБ]}. \quad (2.7)$$

Из (2.7) следует, что по факту, единственным «управляемым» параметром для EDFA при проведении проектных работ является уровень входной оптической мощности, с увеличением которого увеличивается  $C/N$  EDFA (рис.2.4). Однако, как и в случае с оптическим передатчиком, при увеличении входной оптической мощности увеличиваются интермодуляционные искажения (хотя они по своей величине и много меньше искажений, возникающим в передатчике и приемнике).

**Шумы оптического приемника** во многом зависят от его чувствительности  $S$ , определяемой по формуле:

$$S = \frac{\eta q \lambda}{hc} \quad (2.8)$$

где:  $h$  - квантовая чувствительность фотодетектора; это физическая величина, измеряемая током (в кулонах), который появляется на выходе фотодетектора при воздействии на его входе одного кванта световой энергии;

$q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  - заряд электрона в кулонах.

Из (2.8) следует, что чувствительность фотодетектора на длине 1550 нм выше на 0,73 dB чувствительности на длине волны 1310 нм. Так, для типового значения  $h = 0,8$ :  $S_{1310} = 0,85$  А/Вт и  $S_{1550} = 1,0$  А/Вт (или мА/мВт). Например, для приемника АС 6810 компании Teleste заявлены значения чувствительности  $S_{1310} = 0,85$  А/Вт и  $S_{1550} = 0,95$  А/Вт. Физически параметр  $S$  означает (рис.5), какой ток (в мА) появится на выходе фотодетектора при воздействии на его входе оптической мощности в 1 мВт (0 dBm). Очевидно, что чем выше данное справочное значение, тем лучше (возможность работы при пониженной входной оптической мощности при том же значении  $C/N$ , или реализация большего  $C/N$  при том же значении входной оптической мощности).

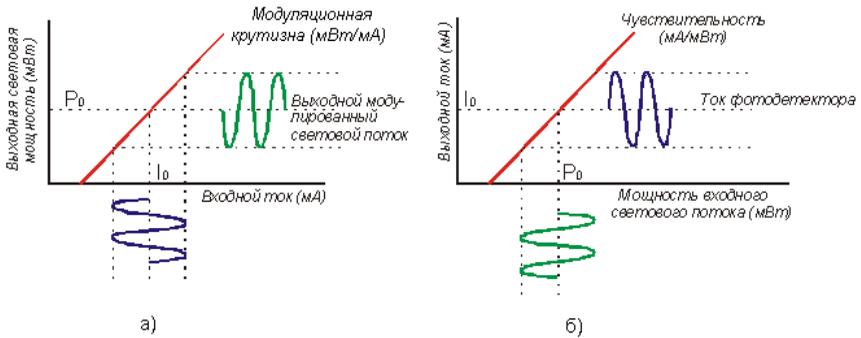


Рис 2.5

Шумы приемника в основном обязаны хаотичному движению электронов (Shot Noise - дробовый шум):

$$C / N_s = \frac{m^2 SP_{\text{вх.опт}}}{4qI} \quad (2.9)$$

а также тепловому шуму (Termal Noise), создаваемому сопротивлением фотодетектора и последующим усилителем:

$$C / N_t = \frac{(mSP_{\text{вх.опт}})^2}{2\pi I_n^2} \quad (2.10)$$

где  $I_n$  - эквивалентный шумовой тепловой ток усилителя, измеряемый в  $nA / \sqrt{Гц}$ .

$P_{\text{вх.опт}}$  - уровень входной оптической мощности.

При проведении расчетов в формулу (2.10) должен быть подставлен коэффициент 10 - 12, т.к. шумовой ток должен подставляться в амперах, а не в пикоамперах. Типовая величина  $I_n$  для трансимпедансного каскада, выполненного на GaAs полевом транзисторе, составляет  $7...8 nA / \sqrt{Гц}$ . В настоящее время появились малозумящая транзисторы с очень большим входным сопротивлением, обладающие входным шумовым током до  $5 nA / \sqrt{Гц}$ .

Приведенные соотношения (2.9) и (2.10) могут быть записаны в удобной для практического пользования логарифмической форме:

$$C/N_s = 90 + 201g(m) + P_{\text{вх.опт}}[\text{дБ}] + 101g(\lambda)_{[\text{нм}]} - 101g(IT)_{[\text{МГц}]}, \quad (2.11)$$

$$C/N_t = 113,6 + 201g(m) + 2P_{\text{вх.опт}}[\text{дБм}] + 201g(\lambda)_{[\text{нм}]} - 101g(IT)_{[\text{МГц}]} - 201g(I_n)_{[\text{нА}]}. \quad (2.12)$$

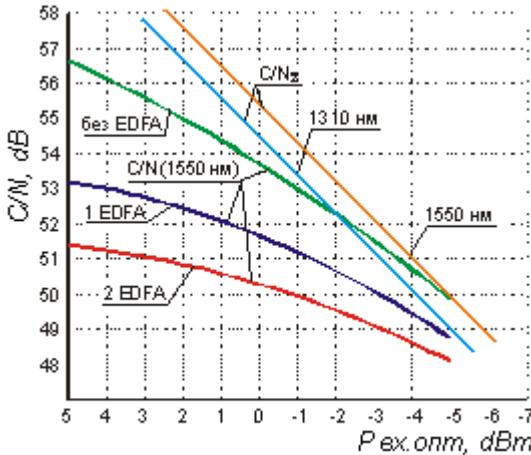


Рис. 2.6

Обратим внимание, что как  $C/N_s$ , так и  $C/N_t$  прямо пропорционально зависят от уровня входной оптической мощности  $P_{\text{вх.опт}}$ . Следовательно, и суммарное  $C/N_{\Sigma}$  оптического приемника также будет прямо пропорционально уровню входной оптической мощности (рис.2.6).

В последнее время большинство производителей стали непосредственно приводить параметр чувствительности фотодетектора  $S$ , в результате чего конечные расчетные соотношения могут быть записаны в более точной форме (вне зависимости от типа используемого полупроводника)

$$C/N_s = 91,9 + 201g(m) + 101g(S)_{[\text{А/Вт}]} + P_{\text{вх.опт}}[\text{дБ}] - 101g(IT)_{[\text{МГц}]} \quad (2.13)$$

$$C/N_t = 117 + 201g(m) + 201g(S)_{[\text{А/Вт}]} + 2P_{\text{вх.опт}}[\text{дБм}] - 101g(IT)_{[\text{МГц}]} - 201g(I_n)_{[\text{нА}]}. \quad (2.14)$$

**Суммарный шум оптической системы** вычисляется по традиционной формуле сложения некоррелированных мощностей:

$$C/N = -101g \left[ 10^{-\left(\frac{C/N_{BN}}{10}\right)} + 10^{-\left(\frac{C/N_{EDFA}}{10}\right)} + 10^{-\left(\frac{C/N_g}{10}\right)} + 10^{-\left(\frac{C/N_4}{10}\right)} \right] \quad (2.15)$$

На рис.2.6 показана зависимость  $C/N$  оптической системы от уровня входной мощности оптического приемника  $P_{ВХ.ОПТ}$ . Из расчетного графика (рис.2.6) следует, что увеличение уровня входной мощности  $P_{ВХ.ОПТ}$  на 1 dB вызывает увеличение  $C/N$  примерно на 0,4 dB. При исключении оптического усилителя данная зависимость приближается к прямо пропорциональной зависимости (0,8 dB). При включении второго оптического усилителя (рис.2. 6) конечное  $C/N$  все в меньшей степени зависит от входной мощности оптического приемника (0,3 dB).

При использовании ВОЛС с двойным оптическим преобразованием (рис.2.7),  $C/N$  рассчитывается по аналогичной формуле:

$$C/N = -101g \left[ 10^{-\left(\frac{C/N_1}{10}\right)} + 10^{-\left(\frac{C/N_2}{10}\right)} \right] \quad (2.16)$$

**Индекс оптической модуляции** (ОМ) является мерой уровня модуляции оптической несущей ВЧ сигналом. Математически он записывается как отношение пикового значения модулирующего ВЧ тока  $I_p$  к среднему модулирующему току  $I_{mod}$ :

$$m = \frac{I_p}{I_{mod}} \quad (2.17)$$

ВЧ модулирующий ток  $I_p$  может быть записан через модулирующее напряжение в виде:

$$I_p = \frac{U_p}{R_0} = \frac{\sqrt{2}U_{эфф} \cdot K}{R_0} \quad (2.18)$$

где  $U_{эфф}$  - среднеквадратичное (эффективное) входное напряжение лазерной цепи с входным сопротивлением  $R_0$  (как правило, 75 Ом для телевизионной техники) при коэффициенте согласования  $K$  (оказывающего влияние только на фактический уровень подавляемого сигнала).

В свою очередь усредненный лазерный управляющий ток записывается в виде:

$$I_{\text{уср}} = \frac{P_{\text{омм}}}{E}, \quad (2.19)$$

где:  $P_{\text{омм}}$  - усредненная выходная оптическая мощность лазера;  
 $E$  - эффективность лазерной крутизны (рис.5).

Следовательно, ОМІ (или  $m$ ) может быть записан в виде:

$$m = \frac{\sqrt{2}U_{\text{эфф}} \cdot K \cdot E}{P_{\text{омм}} \cdot R_0} \quad (2.20)$$

откуда следует, что ОМІ прямо пропорционален входному лазерному напряжению. Иными словами, разным уровням входных управляющих напряжений (см. рис.2.5) будут соответствовать разные значения  $m$ , т.е. может быть записана очевидная пропорция:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{U_1}{U_2} \quad (2.21)$$

Если модулирующие напряжения представить в привычной для нас форме (в dB $\mu$ V), то:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{10^{(U_1/20)}}{10^{(U_2/20)}} \quad (2.22)$$

или

$$\frac{m_1}{m_2} = 10^{(U_1 - U_2)/20}$$

Наоборот, всякое изменение входного модулирующего напряжения будет вызывать соответствующее изменение  $m$ :

$$(U_1 - U_2)_{[\text{dB}\mu\text{V}]} = 20 \lg(m_1 / m_2). \quad (2.23)$$

Так, если  $U_1 = 84$  dB $\mu$ V для  $m_1 = 4,5\%$ , то при  $U_2 = 88$  dB $\mu$ V канальный индекс оптической модуляции составит 7,1%.

Рассмотренные выше соотношения относились к каналному индексу модуляции. В технической литературе по оптическим системам можно встретить также понятие композитного (или среднеквадратичного) ОМІ, обозначаемого как  $m$ . Композитный ОМІ учитывает число каналов, принимающих участие в модуляционном процессе и записывается в виде:

$$\mu = m \sqrt{\frac{N}{2}}. \quad (2.24)$$

Определение (2.42) действует для большого числа каналов (например, более 10) равной амплитуды. Используя определение (24), можно получить простое выражение для пересчета  $m$  в зависимости от числа транслируемых каналов. Рассуждения базируются на условии неизменности  $m$  от числа транслируемых каналов (фактически – неизменности мощности модулирующего сигнала):

$$m_1 \sqrt{\frac{N_1}{2}} = m_2 \sqrt{\frac{N_2}{2}}, \quad (2.25)$$

откуда:

$$m_2 = m_1 \sqrt{\frac{N_1}{N_2}}, \quad (2.26)$$

т.е. с увеличением числа транслируемых каналов  $N_2$  в сравнении со справочным значением  $N_1$ , индекс канальной модуляции  $m_2$  должен быть уменьшен по отношению к заявленному значению  $m_1$  и, наоборот. Решая совместно (2.21) и (2.22) получаем выражение для практического использования:

$$U_{2[\text{dB}\mu\text{V}]} = U_{1[\text{dB}\mu\text{V}]} - 10 \lg(N_1 / N_2).$$

Это означает, что с увеличением числа транслируемых каналов уровень входного модулирующего сигнала должен быть понижен на величину  $10 \lg(N_1/N_2)$ . При этом снижается канальный  $m_2$  (см. формулу 2.24) и, как следствие,  $C/N$  (также на величину  $10 \cdot \lg(N_1/N_2)$  или  $(U_1 - U_2)$  [dB $\mu$ V]). Так, для всякого удвоения числа каналов, уровень входного модулирующего сигнала должен быть понижен на 3 dB (например, с 83 dB $\mu$ V до 80 dB $\mu$ V). При этом СТВ и CSO остаются неизменными (будет показано в следующей статье), а  $C/N$  понижается на 3 dB (например, с 51,4 dB до 48,4 dB). Типовая зависимость  $C/N$  от оптического индекса канальной модуляции представлена на рис.2.8.

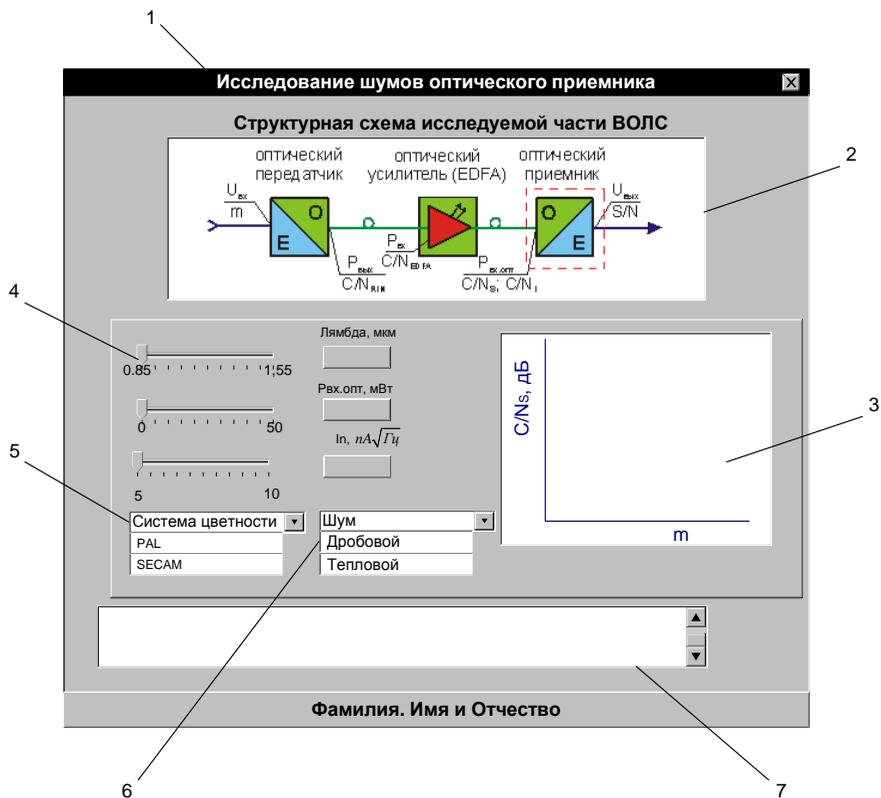
[1] в подавляющем большинстве практических случаев в паспортных параметрах на оптическое оборудование  $m$  выражается в процентах. Например,  $m = 0,045$ , что эквивалентно  $m = 4,5\%$

[1] точно на такую же величину изменяется  $C/N$  на выходе оптического приемника при прочих равных условиях

[2] подразумевается, что уровень входного модулирующего сигнала остается неизменным

[3] интермодуляционные искажения в ВОЛС

## 2 ОБЩИЙ ВИД ЛАБОРАТОРНОГО СТОЛА



1 – название лабораторного стола;

2 – структурная схема исследуемой части ВОЛС;

3 – график исследуемой зависимости;

- 4 – изменяемый параметр;
- 5 – выбор системы цветности;
- 6 – выбор исследуемого шума;
- 7 – сценарий выполнения лабораторного стола.

### **3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

- 3.1 Ознакомиться со структурной схемой исследуемой части ВОЛС;
- 3.2 Получить у преподавателя свой вариант задания;
- 3.3 Выбрать систему цветности;
- 3.4 Выбрать вид исследуемого шума (если это требуется);
- 3.5 Исследовать изменение графика зависимости от параметра, указанного в варианте задания;
- 3.6 Выполнить измерения для другой системы цветности (для другого вида шума);
- 3.7 Результаты по проделанной работе занести в отчет и сделать соответствующие выводы.

### **4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

- 4.1 Определить вид данной зависимости.
- 4.2 Описать влияние изменяемого параметра на исследуемую зависимость.
- 4.3 Сравнить измерения, полученные для другой системы цветности (для другого вида шума), описать в чем состоят их отличия. Объяснить почему.

### **5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 5.1 В каком окне прозрачности используются оптические усилители?
- 5.2 Вследствие чего формируются шумы передатчика?
- 5.3 Что такое относительная интенсивность шумов?
- 5.4 Каким путем достигается увеличение индекса канальной оптической модуляции  $m$ ?
- 5.5 Что необходимо для поддержания прежнего значения  $C/N_{RIN}$  при произвольном значении числа транслируемых каналов  $N$  и сигналов с другой системой цветности?
- 5.6 Что такое квантовая чувствительность фотодетектора  $h$ ?
- 5.7 Вследствие чего формируются шумы оптического приемника?
- 5.8 Как изменится индекс оптической модуляции при увеличении уровня входного сигнала оптического передатчика на 1 дБ при неизменном уровне входной оптической мощности?
- 5.9 Чем является индекс оптической модуляции?
- 5.10 Сколько составляет типовое значение индекса оптической модуляции ( $m$ )?

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная

1. **Ефанов В.И.** Электрические и волоконно-оптические линии связи. 2-е изд., доп. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 256 с. [25]
2. **Ефанов В.И.** Основы проектирования сетей кабельного телевидения: Учеб. Пособие. Томск, Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 104 с. [25]

### Дополнительная

3. **Убайдуллаев Р.Р.** – Волоконно-оптические сети. – М.: Эко – Трендз, 2001.
4. **Иоргачев Д.В.** – Волоконно-оптические кабели и линии связи. – М.: Энергоиздат, 2003.
5. **Фриман Р.** – Волоконно-оптические системы связи. – М.: Эко – Трендз, 2004.
6. **Портнов Э.Л.** – Оптические кабели связи. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002.