ЗА НЯКОИ ВЪЗМОЖНОСТИ НА ОПТИЧНИТЕ ТЕХНОЛОГИИ В КАБЕЛНИТЕ ТЕЛЕВИЗИОННИ СИСТЕМИ

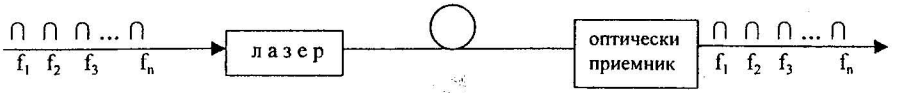
Олег Борисов Панагиев
Технически Университет - София
Факултет по комуникационна техника и технологии

Abstract: Some capabilities of the optical technologies in the cable television systems. Several variants of transmission of analogue and digital signals by optical fibres are reviewed. Comparative analysis is made for the systems, transmitting analogue amplitude modulated (AM) and frequency modulated (FM) signals through intensity modulation of the laser diode, as well as audio- and video- digital signals through multiplexing.

Another capability of the optical technologies is their implementation in the hybrid fiber coaxial (HFC) networks, the so-called AM/QAM hybrid transmission. In this case the binary error ratio (BER) in the M-QAM could be significantly affected due to laser "clipping" of the subcarrier-multiplexed signal. This leads to occurrence of composite distortions, which are of second and third order. The statistical features of the composite distortions are shown. A new method is proposed for analysing and evaluation of the binary error ratio BER by comparison of the results of its calculation and measurement.

В кабелните телевизионни системи /КТВС/ все по-широко приложение намират оптичните технологии за пренасяне на видео и друга информация по магистралите от главната станция до локалните /HUB/ станции. На фиг.1 е показано предаване на n- на брой честотно уплътнени сигнали с честоти f_1, f_2,... f_n чрез модулация по интензитет на лазерен диод. В оптичния приемник, който е фотодиод става обратното преобразуване - от оптичен в електрически сигнал. Такова мултиплексиране на сигнали за предаване по оптично влакно е прието да се нарича "подносещо мултиплексиране"(SCM – subcarrier multiplexing).

При съвременното аналогово оптично предаване чрез SCM е възможно да се пренасят над 60 видеопрограми, благодарение на постиженията в разработката на съвременни лазерни диоди, характеризиращи се с голяма изходна мощност, широка лента и линейност; ниско ниво на шумовете. Увеличената ширина на лентата е особено важно за предаването на честотно модулирани сигнали, които заемат приблизително 35 до 40 MHz канал.



фиг.1

Поставените високи изисквания към лазерните диоди са поради чувствителността на амплитудно модулираните (АМ) сигнали(пренасяни по оптични влакна) към нелинейни изкривявания и шум.

Компенсирането на нелинейните изкривявания, които основно произтичат от нелинейните W-A характеристики на лазерните диоди, може да се направи по метода с предварителна корекция той позволява да се компенсират всички видове нелинейни изкривявания в широка честотна лента (>100 MHz) без да се усложнява оптичната част на предавателя. Основен елемент е нелинейният функцията $\varphi(x)$, която се апроксимира със степенен полином, т.е.

$$\varphi(x) = a_1 .x + a_2 .x^2 + a_3 .x^3, \quad (1)$$

където x е входно коректор, който се включва последователно на излъчвателя. Ако нелинейният коректор се описва с въздействие, а излъчвателят внасящ нелинейните изкривявания - с функцията f (x), то изкривяванията напълно се компенсират при условие, че $\varphi(x)$ е обратна на f (x).

Шумовете при аналоговото пренасяне на АМ и ЧМ сигнали се определят от собствения шум на лазера, от отраженията при куплирането на лазера към оптичното влакно, отражения от местата на сплайване и в края на влакното. Тези отражения предизвикват попадане на част от светлинната енергия обратно в излъчвателя, което нарушава линейността на характеристиката на лазера, неговата спектрална стабилност и шумови свойства. Други шумове, които възникват в тракта са топлинните шумове. Те се появяват в приемника, усилвателите и товарните резистори и се добавят към основните шумове, възникнали в процеса на фотодетектиране.

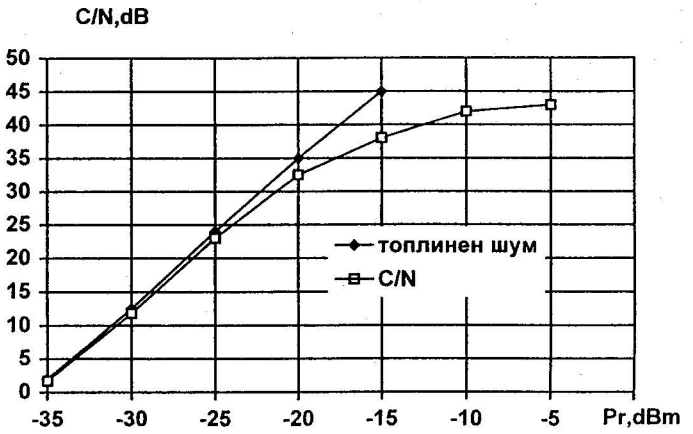
На фиг.2 е показана зависимостта на C/N (отношението носеща/ шум) от приетата оптична мощност Pr за една типична аналогова връзка . При ниски стойности на Pr (високи загуби по връзката), преобладават топлинните шумове. Когато оптичната мощност Pr нараства, интензивните шумове също растат, което ограничава C/N да достигне максимална стойност.

Предаването на видео и аудио цифрови сигнали чрез мултиплексиране е показано на фиг.3. Тази система е осемканалана и съдържа видео аналогово цифрови преобразуватели (АЦП) и аудио АЦП, видео/аудио мултиплексори (ВАМ) и два четириканални висикоскоростни мултиплексора (ВСМ). Като оптичен предавател се използва лазерен диод, работещ с три нива на управляващия сигнал и скорост от 900 Mbit/s.

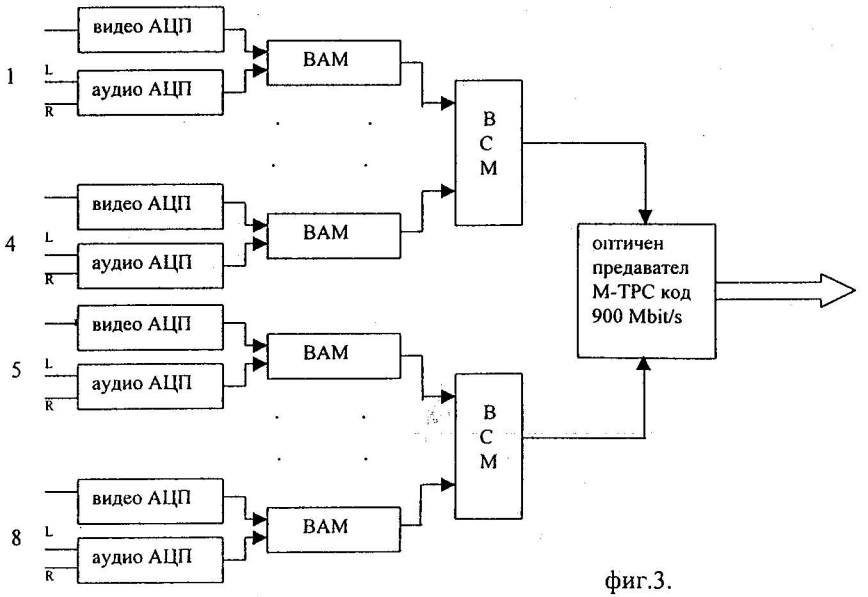
В блока за обработка на видеосигнала се съдържат: нискочестотен филтър, схема за гасене; АЦП и изходен драйвер. Скоростта на предаване на дискретизирания видеосигнал е 11 Mbit/s. Аудиосигналите са два: ляв (L) и десен (R), всеки с честотна лента 20 кHz. Изходът на аудио АЦП е сериен, а скоростта е 1.376 Mbit/s. Специално разработен за случая е 900 Mbit/s тринивов оптичен предавател,който работи с модифициран линеен код с променлива във времето полярност (M-TPC: modified time polarity control).Средната оптична изходна мощност на лазера е - 1 dBm, а дължината на вълната е 1.3 μm.

В Таблица 1 е направено сравнение между различните методи, използвани за предаване на видео и аудио сигнали в оптичните системи за кабелна телевизия.

Една друга възможност на оптичните технологии е съвместното им използване в хибридните оптични коаксиални (ХОК) мрежи. При тях се предават едновременно цифрови сигнали с M - QAM чрез подносещо мултиплексиране SCM и конвенционални аналогови AM-VSB сигнали по едно оптично влакно.



фиг.2.



фиг.3.

Предимствата на цифровите сигнали са по-добър спектър, по-устойчиви на шумове, интерференция и нелинейности. В AM/QAM ХОК мрежи обаче M-QAM сигналите претърпяват значително изменение (влошаване) поради лазерното "ограничаване". То се получава когато в една многоканална система изходната мощност на лазера е близо до нула, а входния управляващ ток на лазера е по-нисък от тока, определящ работната му точка.

На фиг.4а е дадена схемата на една ХОК мрежа, която работи в честотния обхват от 47 до 860 MHz (Фиг.4б). Целият обхват е разделен на два подобхвата: единия е от 47 до 470 MHz и в него се предават конвенционалните AM-VSB

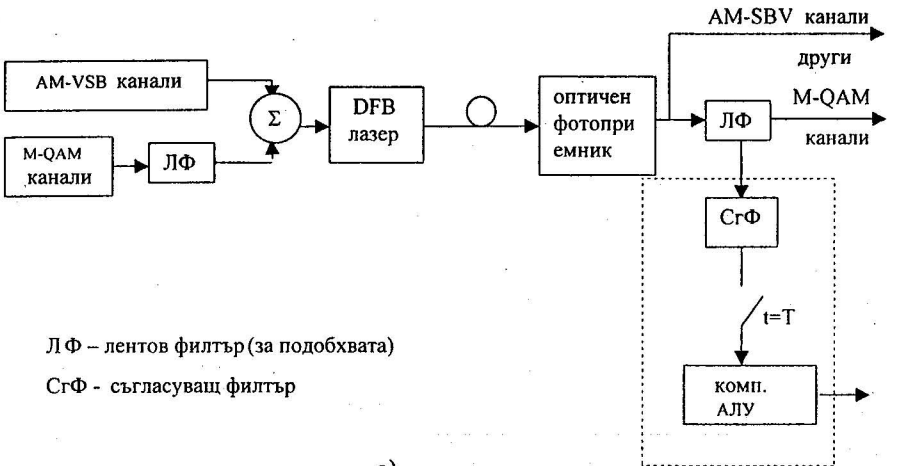
Таблица 1

	модулация/ мулти-плексиране	използвани технологии	предимства	недостатъци
АНАЛОГОВА	AM/SCM	• оптични усилватели • полупроводникови лазери • външни линейни модулатори	• сигналът след фотодетекцията е съвместим със съществуващото абонатно оборудване	• скъп основен хардуер или още не се намира • C/N може да е недостатъчен за ATV (HDTV)
	FM/SCM	• високоскоростни лазери • широколентови приемници • микровълнови тунери • FM демодулатори	• добър ресурс от мощности и добро отношение C/N • FM демодулаторите са налични в чип форма	• изискват се тунери и демодулатори за всеки видеоканал
ЦИФРОВА	FSK/SCM	• високоскоростни лазери • широколентови приемници • микровълнови тунери • ЦАП	• добър ресурс от мощности и добро отношение C/N • ЦАП са налични в чип форма	• необходими са тунери и ЦАП за всеки видеоканал
	основна лента (baseband)/ TDM,WDM	• високоскоростни лазери • широколентови приемници • микровълнови тунери • ЦАП	• добър ресурс от мощности и добро отношение C/N • ЦАП са налични в чип форма	• необходими са тунери и АЦП за всеки видеоканал

канали, а в другия от 470 MHz до 860 MHz - M-QAM канали. Със стрелка е показано, че АМ каналите влияят на M-QAM каналите чрез т.нар.лазерно "ограничение", при което се получава шум от ограничение. Той се сумира към останалите шумове в системата,в резултат на което отношението C/N намалява, т.е. системата става по-шумонеустойчива. Тогава намалява и коефициента на двоична грешка

$$BER = \frac{n_e}{n_\Sigma} \quad , \qquad (2)$$

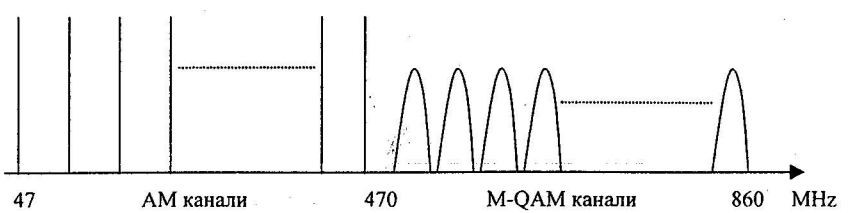
който е случайна величина с определен закон на разпределение. Чрез него се отчита сумарното въздействие на смущенията (шумове и изкривявания) в съответен радиочестотен канал от M-QAM подобхвата.



а)

M- QAM

кох. демодулатор



б)

фиг.4.

В такъв случай за оценка на шумоустойчивостта в изхода на кохерентния детектор може да се използува вероятността за двоична грешка Pe, която се определя от израза

$$Pe = K_1^M .\exp(-\gamma).\left[P_e^{'} + P_e^{''}\right] \quad , \tag{3}$$

ако $Pe \geq 10^{-3}$ говорим за неработещ радиоканал, т.е. изкривяванията са недопустимо големи,

ако $Pe \leq 10^{-6}$ говорим за нормално работещ радиоканал.

$Pe^{'}$ е вероятността за двоична грешка от Гаусов шум;

$Pe^{''}$ е вероятността за двоична грешка от Гаусов шум и шум от ограничение.

$$Pe^{'} = erfc\left(\sqrt{K_2^M .C/N_g}\right) \tag{4}$$

$$Pe^{''} = \sum_{j=1}^{3} \frac{\gamma^j}{j!} erfc\left(K_3^M \frac{\sqrt{C/N_g}}{\sigma_j}\right). \tag{5}$$

γ е индекс на ограничението (импулсивен индекс); $\gamma << 1$.

$\gamma = \lambda.T$, където коефициентът на ограничение

$$\lambda = \sqrt{\frac{f_H^2 + f_H.f_K + f_K^2}{3}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{N.m_{AM}^2}\right] \tag{6}$$

$T = \frac{1}{B}$ е символното време на M-QAM сигнала, а B е ширината на честотната лента на фотоприемника, респективно ширината на QAM канала.

N - брой на предаваните канали с AM-VSB; m_{AM} е оптичният модулационен индекс за AM-VSB сигнала.

f_H , f_K - начална и крайна честота на AM-VSB подобхвата.

При използуване кода на Грей, K_i^M имат следните стойности:

$K_1^{16} = 0{,}375;$ $K_1^{32} = 0{,}33;$ $K_1^{64} = 0{,}29,$

$K_2^{16} = 0{,}1;$ $K_2^{32} = 0{,}05;$ $K_2^{64} = 0{,}024;$

$K_3^{16} = 0.236;$ $K_3^{32} = 0.152;$ $K_3^{64} = 0.101;$

$$C/Ng = \frac{T.P_{av}}{\sigma_g^2}, \tag{7}$$

$Pav = \frac{1}{2}.m_q^2.(s.\alpha.P_o)^2 = \frac{1}{2}m_q^2.F^2$ е средната мощност за символ; m_q е оптичният модулационен индекс за QAM сигнала, а F е ефективността на приемо-предавателния тракт.

Мощността на Гаусовия шум $\sigma_g^2 = RIN.F^2 + 2q.F + i_n^2$, където

RIN е относителната интензивност на лазерния шум;

q - заряда на електрона $(1{,}602.10^{-19}\,C)$

i_n - топлинният ток на оптичния приемник

s - чувствителността на фотодетектора

P_0 - изходната мощност на лазера

α - загубите в оптичното влакно

Мощността на шума от "ограничение" е

$$\sigma_i^2 = 2{,}4.10^{-11}.N.^2\sqrt{N}.m_{AM}^5.F^2.\exp\left(-\frac{1}{N.m_{AM}^2}\right) ; \qquad (8)$$

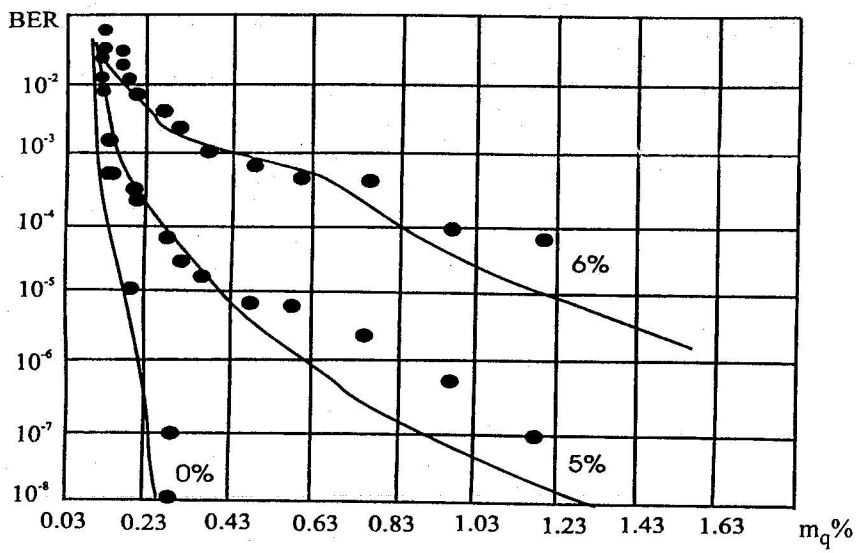
$$\sigma_j = \sqrt{\frac{j/\gamma + G}{1+G}} > 1 , \quad \text{където } G = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_i^2} . \qquad (9)$$

Минималното разстояние между две съседни състояния при M-QAM

$$d_{min} = m_q F\sqrt{\frac{6}{M-1}T} .$$

На фиг.5 е показана графиката от експерименталните резултати [8] и теоретичните изчисления (формули 3 до 9) за 16-QAM, N=42 и B=6 MHz. Параметрите на оптичния тракт са $\alpha.P_0$= -1 dBm, RIN= -150 dB/Hz, s=0,87 A/W и $i_n = 24.10^{-12}\,A/\sqrt{Hz}$.

Както се вижда влиянието върху BER на шума от "ограничение" е негативно, което налага той да бъде отчитан като неблагоприятен фактор за M-QAM сигналите.Така например при m_q = 0,23% и m_{AM} = 0% BER<10^{-6} . При m_q = 0,23% и m_{AM}= 5% BER>10^{-4} ,което показва,че при тези стойности на m_q и m_{AM} ,системата няма да работи добре.Това налага да се повиши m_q (при m_{AM} = 5%) до 0,93%, т.е. почти четири пъти. При малки стойности на m_q (ниско отношение носеща/шум – C/N_g), теоретичните и експерименталните резултати в голяма степен се припокриват. Когато m_q расте,се наблюдава известно разминаване между изчислените и експерименталните стойности на BER. Причините могат да бъдат две - недостатъчна точност на математическия модел или хардуерни ограничения в измерването на BER. В сравнение с други анализи получените резултати са едно подобрение в предсказването на BER.



фиг.5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панагиев О.Информационен капацитет на двупосочна система за кабелна телевизия. НМШ "Съобщения - 90" - Сл. бряг, 1990.
2. Добрев Д., Л.Йорданова, Радикомуникации .Част I. С.Сиела, 1999
3. Владков Е., Дигитално телевизионно разпръскваане, С., Артграфика,1999.
4. Wagner S.S., R.C.Menendez. Evolutionary architectures and techniques for video distribution on fiber. IEEE commun.magazine.dec.1989
5. Ohtsuka T., H.Vamashita, et al. Digital optical CATV system using Hubbed distribution architecture. JLT, vol.6,№.11.1988
6. Alameh K., R.A.Minasian. Ultimate limits of subcarrier multiplexed lighware transmission. Electron. Lett.vol.27,№14, 1991.
7. Maeda K., H.Nakata and k.Fujito. Analysis of BER of 16 QAM signal in AM/16QAM hybrid optical transmission system. Electron. Lett.vol.29,1993
8. Shi Q. Asymptotic clipping noise distribution and its impact on M-ary QAM transmition over optical fiber. IEEE Tr.commun. vol.43, №6, 1995.