

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ОПТИЧНИЯ КАНАЛ НА ХИБРИДНА СИСТЕМА ЗА КАБЕЛНА ТЕЛЕВИЗИЯ

Йорданова Л¹., В. Топчиев²

Faculty of Communications and Communications Technologies, Technical University, Kliment
Ohridski 8, 1000 Sofia, Bulgaria, e-mail¹: jordanova@tu-sofia.bg, e-mail²: vtsc@mail.bg

Abstract: В тази статия е представен математически модел на оптичния канал на хибридна система за кабелна телевизия и резултатите от проведени симулационни изследвания на неговите характеристики. Моделът описва зависимостта на нивото на шумовете и продуктите от нелинейни изкривявания в канала от параметрите на изграждащите го оптични компоненти и тези на предавания оптичен сигнал. Дадени са резултатите от изследване на влиянието на дълбочината на оптична модулация, броя на пренасяните програми и входната оптична мощност върху параметрите CNR и CIR в изхода на оптичния канал. Получените при симулацията характеристики на оптичния канал са сравнени с експериментално снетите му характеристики с цел оценка на точността на използвания математически модел. Резултатите от направения сравнителен анализ показват, че грешката не превишава 2.1%, което потвърждава приложимостта на изложения метод при проектирането на хибридни ширококолентови комуникационни системи.

Keywords: Carrier-to-Noise Ratio, Carrier-to-Interference Ratio, Optical Modulation Depth, Optical Input Power, Number of Channel

I. УВОД

При пренос на сигнали по оптичния канал на една хибридна система за кабелна телевизия (HFC CATV) те затихват и към тях се добавят шумове и продукти от нелинейни изкривявания. Вследствие на това намалява отношението носещо трептене/шум (CNR) и отстоянията на интермодулационните продукти (CIR) от втори (SCO) и трети ред (CTB) в изхода на канала, а от там и качеството на пренасяната по него информация. Съгласно изискванията на стандарта минималната стойност на CNR в абонатния контакт е 43 dB, което налага в изхода на оптичния канал на системата този параметър да се поддържа над 52 dB. За допустимия минимум на параметъра CIR са приети следните стойности: 54 dB в абонатния контакт и 60 dB в изхода на оптичния канал.

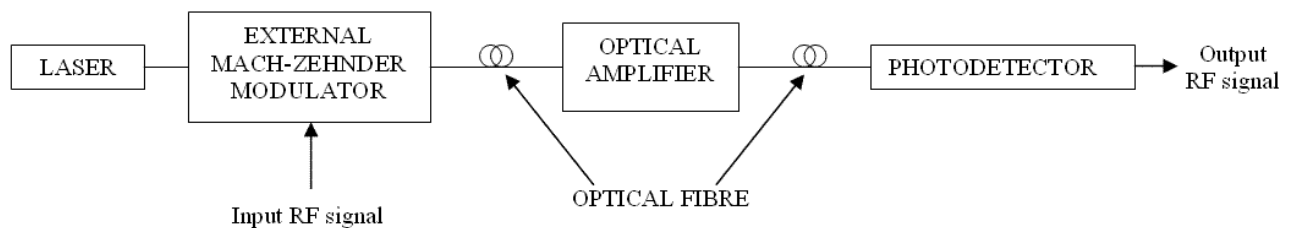
Качеството на пренасяните по оптичния канал на системата телевизионни и радиопрограми и достоверността на предаваните по него данни се определят от характеристиките на канала. Върху характеристиките на оптичния канал оказват съществено влияние параметрите и режимите на работа на изграждащите го компоненти – лазер, оптични модулатори и усилватели, фотодиоден приемник и оптично влакно. От своя страна режимите на работа на оптичните компоненти на

канала зависят от параметрите на предавания оптичен сигнал, които се определят от броя на пренасяните радиочестотни (RF) сигнали, коефициента на дълбочина на оптичната модулация, изходната мощност на оптичния предавател, затихването на влакното и включените в него пасивни елементи и т.н.

Цел на тази работа е да се синтезира математически модел на оптичния канал на HFC CATV, отчитащ влиянието на изброените фактори върху неговите характеристики. Този модел е предназначен за провеждане на симулационни изследвания, ориентирани към оптимизиране на параметрите на използваната в канала елементна база и параметрите на предаваните сигнали.

II. МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА ОПТИЧНИЯ КАНАЛ

В двата края на оптичния канал на HFC CATV се включва лазерен предавател, който може да бъде с директна или външна модулация и фотодиоден приемник, а загубите във влакното се компенсират чрез оптични усилватели. За съставяне на математическия модел на канала е използвана конфигурацията на фиг. 1, в която модулацията на оптичното носещо трептене се извършва във външен модулатор тип „Mach-Zehnder”.



Фиг. 1 Оптичен канал на HFC CATV

При математическото описание на шумовата характеристика на канала са използвани средноквадратичните стойности на детектирания фототок и на токовете на различните шумови източници, протичащи през товарното съпротивление на оптичния приемник. Най-съществено влияние върху нивото на шума в оптичния канал оказват интензитетният шум на лазера (RIN), топлинният и дробовият шум на фотодиода и внесените шумове от оптичния усилвател.

Средноквадратичната стойност на детектирания фототок се представя чрез зависимостта

$$(1) \quad \langle I_{PD}^2 \rangle \approx 0,5 \cdot I_{Rx}^2 \cdot m^2,$$

където I_{Rx} е средна стойност на оптично генерирания ток, а m – дълбочина на оптичната модулация за един канал.

Шумовите токове, създадени от RIN на лазера (I_{RIN}), дробовия шум на фотодетектора (I_{SH}) и топлинния шум на всички елементи, притежаващи активно съпротивление (I_{TH}), се представят със следните изрази:

$$(2) \quad \langle I_{RIN}^2 \rangle = I_{Rx}^2 \cdot RIN \cdot B \quad \langle I_{SH}^2 \rangle = 2 \cdot e \cdot (I_{Rx} + I_d) \cdot B \quad \langle I_{SH}^2 \rangle = 4 \cdot K \cdot T \cdot B / R,$$

където B е ширината на един RF канал (4.75MHz),

При изчисляване на шумовия ток на оптичния усилвател се отчитат както съставките от усилената спонтанна емисия (ASE), така и тези, които се получават от биенето между полезния сигнал и продуктите от ASE и между самите ASE продукти. За изчисляване на общия шумов ток на оптичния усилвател I_{OA} може да се използва формулата

$$(3) \quad \langle I_{OA}^2 \rangle = I_{Rx}^2 \cdot B \cdot F_{OA} \cdot \left(\frac{2 \cdot h \cdot c}{\lambda \cdot P_{inOA}} \right),$$

където

Като се имат предвид дадените по-горе изрази, за отделните съставки на параметъра CNR може да се запише следното:

$$(4) \quad CNR_{RIN} = \frac{m^2}{2 \cdot RIN \cdot B}; \quad CNR_{OA} = \frac{P_{inOA} \cdot \lambda \cdot m^2}{4 \cdot h \cdot c \cdot B \cdot F}$$

$$CNR_{SH} = \frac{P_{RX} \cdot R_{PD} \cdot m^2}{4 \cdot e \cdot B}; \quad CNR_{TH} = \frac{P_{RX}^2 \cdot R_{PD}^2 \cdot m^2}{2 \cdot B \cdot I_n^2}$$

където P_{Rx} е оптичната мощност постъпваща на входа на оптичния приемник. Отношението носещо трептене/шум в изхода на оптичния канал се изчислява по формулата

$$(5) \quad CNR_{CH} [dB] = -10 \cdot \lg \left(10^{\frac{CNR_{RIN}}{10}} + 10^{\frac{CNR_{OA}}{10}} + 10^{\frac{CNR_{SH}}{10}} + 10^{\frac{CNR_{TH}}{10}} \right).$$

Основен източник на нелинейни изкривявания в оптичния канал се явява външно включеният оптичен модулатор тип "Mach-Zehnder", който е причина за добавяне на нови продукти от нелинейни изкривявания, дължащи се на несиметрия в двете му рамене и се описват със следната зависимост:

$$(6) \quad CIR = \frac{16}{m^4 \cdot N_{CTB}} = \frac{128}{m^4 \cdot (3 \cdot N^2 - 10 \cdot N)},$$

където N_{CTB} е брой на продуктите от CTB в честотната лента на пренасяния RF сигнал. За получаване на окончателния вид на формула (8) са направени следните допускания: максимален брой на продуктите от нелинейни изкривявания се получават при канал с номер $N/2$; стойността на m е много по-малка от единица.

При използване на обикновен модулатор тип "Mach-Zehnder" нивата на получените продукти от нелинейни изкривявания са недопустимо големи, което налага прилагане на някои от методите на линеаризация. За извършване на симулационните изследвания, авторите прилагат метода на каскадно свързване на два еднакви модулятора от този тип, с което се постига намаляване на нивата на

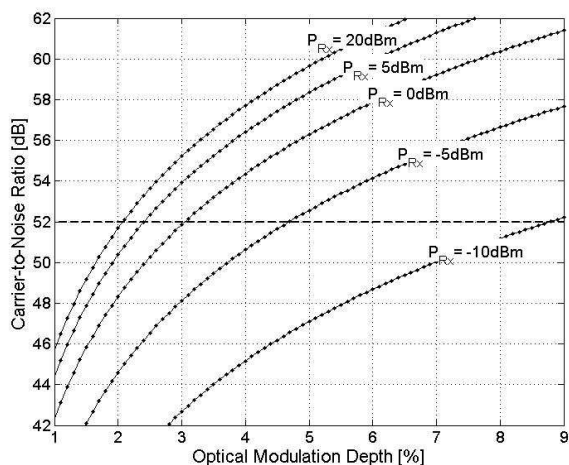
CIR продуктите с повече от 25 dB, респ. увеличаване на параметъра CIR с над 20 dB. [5]

III. РЕЗУЛТАТИ ОТ СИМУЛАЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ОПТИЧНИЯ КАНАЛ

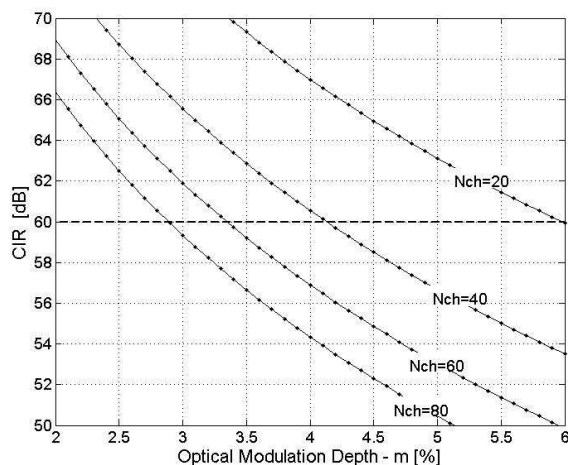
Описаният чрез зависимостите (4), (5) и (6) математически модел е приложен при изследването на няколко важни характеристики на оптичния канал на HFC CATV системи. Тези зависимости се отнасят за канал, в който са използвани компоненти със следните параметри:

- DFB лазерен диод – CQF938/600, $RIN = 162$ dB/Hz
- Фотоприемник с PIN фотодиод – PD-1150 с чувствителност $R_{PD} = 1$ A/W
- Оптичен усилвател с приета входна оптична мощност $P_{inOA} = 5$ dBm и коефициент на шум $NF = 5.5$ dB.

На фиг. 2 е представена зависимостта на CNR от m , получена при различни стойности на оптичната мощност, постъпваща на входа на оптичния приемник (P_{Rx}). Вижда се, че с нарастване на m и P_{Rx} се подобрява параметъра CNR в изхода на оптичния канал.



фиг. 2 CNR vs. m under P_{Rx}



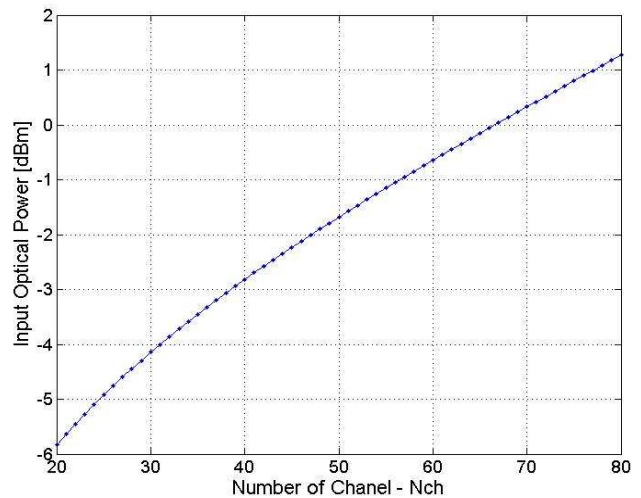
фиг. 3 CIR vs. m under N_{ch}

На фиг. 3 е представена зависимостта на CIR в изхода на оптичния канал като функция на m , получени за различен брой на пренасяните RF канали N_{ch} . За разлика от CNR , параметъра CIR намалява с нарастване на m . Вижда се също, че увеличаването на броя на пренасяните канали, води отново до влошаване на параметъра CIR . Тази зависимост се обяснява с факта, че с нарастване на N_{ch} се увеличава броя създадените от нелинейни изкривявания интермодуляционни продукти от трети ред, попадащи в честотната лента на всеки радиочестотен канал.

Получените на фиг. 2 и фиг. 3 зависимости се явяват особено полезни при проектирането на оптичен канал. Те дават връзка както между качествените и

физическите параметри на канала, така и между тях и режимът на работа на изграждащите го елементи. Задачата по проектиране може да бъде решена по два начина. При първият вариант от фиг. 3 по зададени параметъра CIR (60 dB) и броят на пренасяните канали се определя стойността на m , чиято стойност се пренася на фиг. 2 и по зададено минимално CNR (52 dB) се определя необходимата оптична мощност на входа на оптичния приемник. Задачата може да се реши и в обратна посока, при зададени качествените параметри на канала и режим на работа да се определи максималният брой на пренасяните по него програми.

На база на представеният с уравнения (4), (5) и (6) математически модел и каталожните данни на използваните компоненти е построена зависимостта показана на фиг. 4. Тя представя решението на задачата по проектиране, като дава директна връзка между броят на пренасяните програми входаната оптична мощност на фотодиодния приемник.

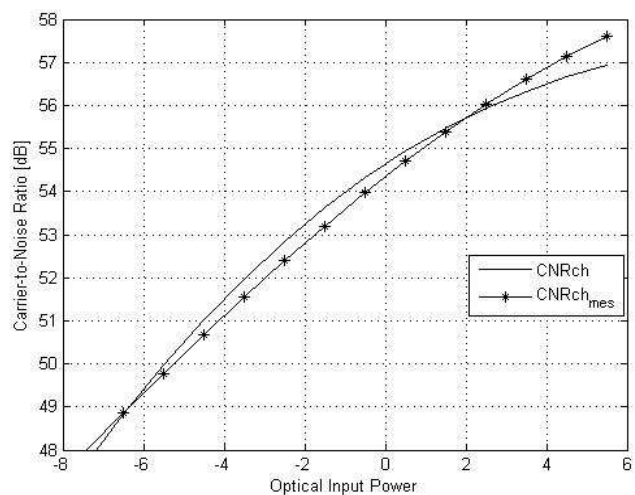


фиг. 4 CNR vs Prx

IV. ОЦЕНКА НА ГРЕШКАТА ПРИ СИМУЛАЦИЯТА

Получените характеристики от симулационното изследване на оптичния канал на NFC SATV са сравнени с експериментално снетите характеристики на реален канал със същите параметри на използваните оптични компоненти и на пренасяните сигнали.

На фиг. 5 са показани зависимостите на CNR от P_{Rx} , получени в резултат на симулацията (CNR_{ch}) и на физическия експеримент (CNR_{chmes}). Обработката на получените данни показва, че осреднената относителна грешка за този случай е от порядъка на 1,19 %, а максималната относителна грешка е 2,08 % или 1,1 dB.



фиг. 5 CNR vs Prx

Резултатите от направения сравнителен анализ потвърждават приложимостта на изложения метод при проектирането на HFC CATV и са добра основа при оптимизиране на реален оптичен канал.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложеният математически модел на оптичния канал на HFC CATV дава възможност да се изследват с достатъчна за инженерната практика точност неговите основни характеристики (грешката по отношение на измерените характеристики на реален канал не превишава 2.1 %). Той позволява да се анализира влиянието на параметрите на оптичните компоненти, изграждащи канала и параметрите на предаваните по него сигнали върху качеството на приеманата информация. Освен това изложеният метод би улеснил значително проектирането на една такава система при комплектоването на оптичния канал и оптимизиране на режимите на работа на използваните в него оптични предаватели, усилватели и приемници.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Dobrev D. and L. Jordanova, *Noise and Distortions Limitations in Designing of HFC CATV Systems*, Elsevier: Optical Fiber Technology, Vol. 12, Issue 2, April 2006, pp. 196-204
- [2] Добрев Д., Л. Йорданова, *Осигуряване на зададено отношение носещо трептене шум в изхода на оптичен канал при пренос на широколентов радиочестотен сигнал*, Списание „Е+Е”, 2006, кн. 9-10
- [3] Добрев Д., Л. Йорданова, *Намаляване на нелинейните изкривявания в оптичния канал на широколентова кабелна комуникационна система*, Списание „Е+Е”, 2005, кн. 9-10
- [4] Leung A., *Performance Analysis of SCM Optical Transmission Link for Fiber-to-the-Home*, BSEE University of Missouri-Rolla, April 2004
- [5] Bums W., *Linearized Optical Modulator with Fifth Order Correction*, Journal of Lightwave Technology, vol. 13, NO. 8, August 1995, pp .1724-1727
- [6] <http://www.matrixtest.com/Literat/MTN108.htm>, *Notes on Composite Second and Third Order Intermodulation Distortions*, December 1998
- [7] *Using a Philips Optical Receiver in CATV Applications*, Application Note AN98060, September 2001
- [8] *RF and Microwave Fiber-Optic Design Guide*, Agere Systems, Application Note, April 2001
- [9] Ackerman E., Ch. Cox III, G. Betts, H. Roussell, K. Ray, F. O'Donnell. *Input Impedance Conditions for Minimizing the Noise Figure of an Analog Optical Link*, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 46, NO. 12, December 1998