

# Анализ на причините за ограничаване на динамичния обхват на сигналите в CATV системите

Валентин И. Топчиев<sup>1</sup>, Лидия Т. Йорданова<sup>2</sup>

**Abstract:** В статията са разгледани принципите на изграждане на CATV и е дадена обща характеристика на изграждащите ги елементи. Дефиниран е динамичният обхват на сигналите в CATV и са анализирани причините за неговото ограничаване. Разгледани са различните източници на шумове и нелинейни изкривявания в оптичната и коаксиалната част на системата.

**Keywords:** CATV, динамичен обхват, шумове, нелинейни изкривявания, лазер, фотодиоден приемник, оптично влакно, оптичен и RF усилвател

## I. Увод

Широколентовите кабелни комуникационни системи (ШККС) са предназначени за предоставяне на общодостъпни и допълнителни услуги на неограничен брой потребители. Общодостъпните услуги включват ефирните и спътникови радио- и телевизионни програми и при тях сигналите се предават от един доставчик към много потребители. Към допълнителните услуги се отнасят високоскоростния интернет, IP телефонията, видеото по заявка, домашната автоматизация и управление и др. Те са индивидуални и сигналите се предават от един доставчик към един потребител, което изисква изграждането и на обратен канал. [1]

За да се извърши проектирането на една ШККС, е необходимо да се анализира причините за появата на шумове и нелинейни изкривявания с цел оптимизиране на динамичния обхват на RF сигналите в критични точки на системата. Това изисква да се познава много добре архитектурата на ШККС и параметрите на изграждащите я компоненти – лазери, фотодиодни приемници, оптични влакна, оптични и RF усилватели. [2]

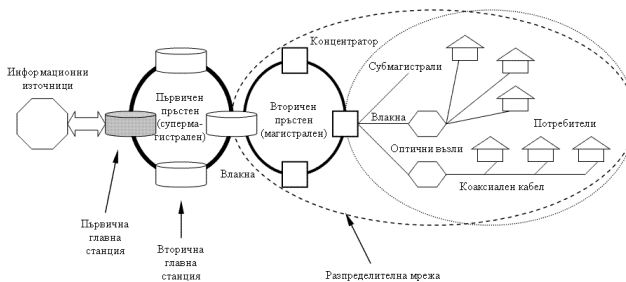
## II. Йерархичен принцип на изграждане на ШККС

Съвременната ШККС е от хибридна влакнесто-оптична/коаксиална система (HFC) [3]. Като преносна среда в оптичната част се използват едномодови оптични влакна за наложилите се два диапазона на дължината на вълната – 1310nm и 1550nm [4]. В коаксиалната част се използва стандартен коаксиален кабел с вълново съпротивление 75Ω. [1]

Архитектурата на хибридна ШККС се изгражда на йерархичен принцип и показана на фиг. 1. В най-общия случай системата включва четири йерархични нива. [1]

<sup>1</sup>Валентин И. Топчиев – Факултет по комуникационна техника и технологии, Технически университет, ул. “Климент Охридски” 8, София, България, e-mail: vtsc@mail.bg

<sup>2</sup>Лидия Т. Йорданова – Факултет по комуникационна техника и технологии, Технически университет, ул. “Климент Охридски” 8, София, България University, e-mail: jordanova@tu-sofia.bg



Фиг. 1 Обща архитектура на кабелна комуникационна система

Първото ниво в йерархията на ШККС представлява супермагистралната система, която включва първичен оптичен пръстен, първична и вторични главни станции. Първичната главна станция обединяват няколко малки автономни ситеми и осигуряват обслужване на повече от 200 000 потребители, а вторичните са локални и обслужват обикновено между 50 000 и 200 000 потребители. [5]

Второто йерархично ниво е магистрална система (вторичен оптичен пръстен), осигуряваща връзка на концентраторите (Distribution Hub) с оптичните пръстени. [6] Един концентратор обслужва до 16 разпределителни точки или до 40 000 абонати.

Третото ниво в йерархията на системата е субмагистралната мрежа. Тя свързва концентраторите с оптичните възли (Fibre Node), където става преобразуването на светлинния поток в електрически сигнал и обратно. Оптичният възел има 2 или 4 входа/изхода и може да обслужва между 250 и 1 000 абонати. [7]

Четвърто йерархично ниво е абонатната система, представляваща коаксиална кабелна разпределителна мрежа (ККРМ). Тя свързва оптичните възли с дома на потребителя.

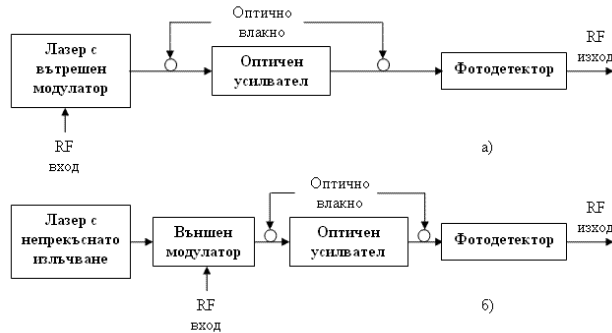
Тенденцията при изграждането на ШККС е оптичното влакно да достигне до дома на потребителя. Fiber to the home (FTTH) е идеалната оптична комуникационна архитектура. FTTH покрива изискванията за високоскоростен пренос на данни, висококачествен звук, както и висококачествен видео сигнал [8,9]

## III. Обща характеристика на елементите на ШККС

На фиг. 2 са показани основните компоненти, изграждащи оптичния канал на една ШККС при използване на директна (а) и външна (б) модулация на лазера. В първия случай модулиращият сигнал се добавя към преднапрежението на лазера, а във втория – постъпва на входовете на външния модулатор. [10]

В ШККС като източници на светлина са се наложили лазерните диоди от типа DFB (Distributed

Feedback), DBR (Distributed Bragg Reflector) и VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser). Те излъчват в много тясна честотна лента и се характеризират с ниски нива на внесените шумове и нелинейни изкривявания. [11, 12] Най-често в тези системи се използват следните видове оптични модулатори: модулатор с интерферометър на Мах-Зендер, електро-абсорбционен модулатор, електро-рефракционен и фазов модулатор. [13,14]



Фиг. 2 Оптичен канал с вътрешен а) и външен б) модулатор

Оптичните влакна използвани в обхвата 1310 nm внасят затихване около 0.35dB/km 1310nm, а в обхвата на 1550 nm – около 0.2dB/km. Характерно за оптичните влакна е явлението дисперсия (хроматична и поляризационна), което води до ограничаване на скоростта на предаване и дължината на оптичната линия. При  $\lambda = 1310$  nm хроматичната дисперсия в едномодовото влакно се нулира, докато за  $\lambda = 1550$  nm тя има сравнително високи стойности, което налага използването на влакна с изместена дисперсия. За компенсирание на загубите в оптичното влакно и пасивните компоненти се използват основно EDFA и раманови усилватели [15, 16].

Основен елемент в структурата на оптичния приемник е фотодиодът (лавинен и PIN), принципът на работа на който се основава на фотоелектричния ефект. Освен това оптичният приемник включва импедансно-съгласуваща верига, радиочестотен усилвател и система за контрол и аларма [16].

Коаксиалната КРМ на ШККС осигурява връзката на нейната оптична част с потребителите. За компенсирание на загубите в коаксиалния кабел и пасивните елементи (делители/суматори на мощност, насочени отклонители, кабелни коректори, регулируеми атенюатори, канално-разделителни филтри и абонатни контакти) се използват електронни усилватели. [17]

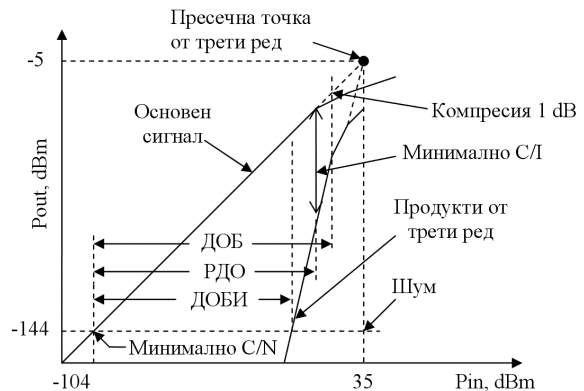
#### IV. Определяне на динамичния обхват на сигналите в ШККС

Динамичният обхват се дефинира като разлика между максималната и минималната сигнални мощности, които могат да бъдат подадени на входа на канала за връзка. Максималната стойност на входната RF мощност се ограничават от максимално допустимите нива на продуктите от нелинейните изкривявания, получени в изхода на канала. Минимално ниво на входните сигнали се ограничават от необходимото минимално отношение носеща/шум (CNR). [53][54]

По-големия териториален обхват на ШККС води до увеличаване броя на последователно включените в мрежата източници на шумове и нелинейни изкривявания, което намалява динамичният обхват на входните RF сигнали. Това е една от причините за ограничаване на дължина на преносния канал на тези системи.

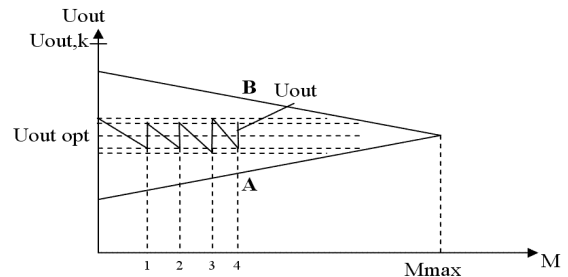
Динамичният обхват на сигналите в оптичния канал на ШККС се определя от минималното и максималното ниво на RF сигналите, постъпващи на входа на лазерния предавател. Съществуват следните видове динамичен обхват:

- динамичен обхват на блокиране (ДОБ)
  - динамичния обхват без изкривявания (ДОБИ)
  - работен динамичен обхват (РДО),
- които са дефинирани на фиг. 3. [1, 2, 19]



Фиг. 3 Диаграма за определяне динамичния обхват на сигналите в оптичния канал

Динамичният обхват на сигналите в ККРМ зависи основно от параметрите на използвания тип радиочестотен усилвател, броя на каскадно свързаните усилватели и на пренасяните радио- и телевизионни програми.



Фиг. 4 Диаграма на граничните нива на КУ в КРМ

На фиг. 4 са дадени допустимите граници на изменение на нивата на RF сигналите в изходите на всеки усилвател. Долната граница (рамо "А") се определя от изискването за минимално отношение сигнал/шум в абонатния контакт. Ограничаването на максимално ниво на RF сигнала (рамо "В") е свързано с допустимите нелинейни изкривявания в абонатния контакт. [20]

## V. Анализ на причините за появата на шумове в ШККС

При преноса на сигнали по КРМ на системата, към тях се добавят шумове от различни източници. Важно при съставянето на пълната шумова картина е да се познава видът, характерните особености и мястото на възникване на шума. Най-голямо влияние при определяне на пълния шум на системата оказват топлинният шум, дробовият шум и относителният интензитетен шум на лазера. В ШККС се генерират и множество други шумове, влиянието на които не е толкова съществено. Пренебрегването им е недопустимо и те се вземат под внимание за всеки конкретен случай. Такива са шумовете, генерирани в свързващи устройства, насочени отклонители, атенюатори, кабелни коректори и др.

Топлинният шум (Thermal noise) се появява при протичането на ток през всеки електронен елемент и зависи от работната температура, ширината на честотната лента и стойността на еквивалентното активно съпротивление.

Основни източници на топлинен шум са съгласуващите вериги в оптичния предавател и приемник, а също така оптичните и кабелните усилватели. Коаксиалната кабелна разпределителна мрежа, която притежава характерично съпротивление  $75\Omega$ , също се разглежда като източник на топлинен шум, нивото на който е около  $2\text{dBmV}$ , при температура на околната среда  $17^\circ\text{C}$  и ширина на честотната лента  $5\text{MHz}$ . [21]

Източниците на светлина преобразуват електрическия сигнал в светлинен поток, което е съпроводено с добавяне на различни шумови съставки към полезния сигнал. Най-съществено е влиянието на относителния интензитетен шум на лазер (RIN), неговият фазов шум и шумът от отражения.

Относителният интензитетен шум на лазера има квантов характер и се причинява от несъвършенството на процеса на преобразуване “електрон - фотон” в материала на лазера. В активния слой на лазера възникват случайни емисии на голям брой фотони, причиняващи случайна модулация на генерираната светлина. RIN зависи от работната температура, възбуждащия ток на лазера и от оптичната обратна връзка на светлината, създадена от отражения в оптичното влакно. [22, 23]

Фазовият шум (Phase noise) е случаен по природа и се предизвиква от спонтанната емисия на фотони в излъчващата среда на лазера. Той води до флуктуации на фазата на изходния сигнал и разширяване на спектралната линия, което за FP лазери е в границите от  $1\text{-}10\text{nm}$ , а за DFB е по-малко  $100\text{MHz}$ . [24]

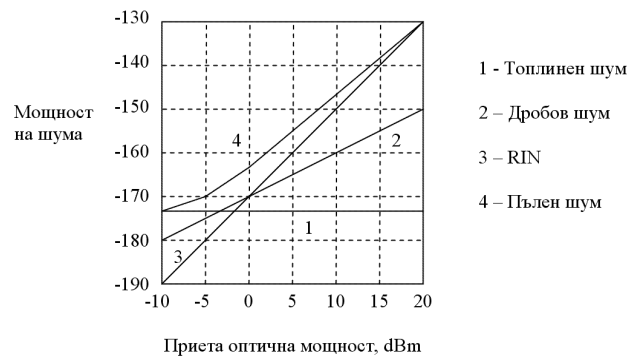
В оптичния модулатор освен разгледания топлинен шум се генерират сигнално-спонтанен шум и спонтанно-спонтанен шум. Първият зависи от пълната светлинна мощност, а вторият, който е доминиращ – от усилването на модулатора.

Освен шумовете, генерирани в напомпващия лазер, оптичният усилвател създава и шумове от сигнално-спонтанно биене, спонтанно-спонтанно биене, двойно обратното Релеево разсейване и усилената спонтанна емисия (ASE). [25] ASE се дължи на естественото прераз-

пределение на фотоните в различните енергийни нива и генерира дробов шум в приемника. Нивото на породения от ASE шум е много по-малко от това на генерирания от средната оптична мощност на сигнала шум и затова той може да се пренебрегне. [26]

Определящи за оптичния приемник са топлинният и дробовият (квантов) шум. Дробовият шум е с квантов произход и се генерира непосредствено в полупроводниковия фотодиод на приемника. Причина за възникването му е неефективното преобразуване “фотон - електрон”. Създадената шумовата мощност е пропорционална на приемания фототок и ширината на честотната лента. Дробовият шум ограничава отношението CNR до ниво известно като квантово ограничение.

Поляризиционният шум е случаен по природа, свързва се с поляризиционната зависимост на усилването и поляризиционната модова дисперсия на влакното. Характеризира се с нееднакво затихване на всички моди в изходния сигнал и довежда до сериозни загуби от поляризация, а от там до намаляване на отношението CNR на входа на оптичния приемник.



Фиг. 5 Изменение на шумовата мощност от нивото на приетата оптична мощност

На фиг. 5 са дадени шумовете, създавани в оптичната част на системата. При ниски нива на приетата оптична мощност доминира топлинният шум на фотодиодния приемник, а при високи – RIN на лазера. [1]

## VI. Нелинейни изкривявания в CATV

Нелинейните изкривявания са причина за появата на продукти с нови честоти в спектъра на полезния сигнал, вследствие на което се влошава достоверността на приеманата информация. [1] Основни източници на нелинейни изкривявания са оптичният предавател, оптичното влакно и RF усилвателите. Във фирмената документация за оптичните предаватели се дават оптималните стойности на параметрите, при които се гарантират зададени нива на нелинейните изкривявания. Нелинейните изкривявания в оптичните влакна се дължат на няколко явления, които възникват при недопустимо високи нива на предаваните сигнали. Те могат да бъдат разделени в две групи – нелинейности, свързани с разсейването (стимулирано разсейване на Брюлен и стимулирано разсейване на Раман) и нелинейности, свързани с ефекта на Кер (собствена фазова модулация,

кръстосана фазова модулация, четиривърлно смесване и др.) [27].

Стимулираното разсейване на Брюлен (SBS) е нелинейно явление, което се появява при подаване към влакното на оптична мощност, превишаваща зададена прагова стойност. Прагът на SBS зависи от широчината на спектралната линия на лазера и неговата изходна мощност. SBS води до разсейване на голяма част от пренасяната по оптичното влакно мощност и това е причина за намаляване на CNR на входа на оптичния предавател. Обикновено за източниците с тясна спектрална линия и външна модулация SBS праговата мощност варира от 5 до 10 mW. За лазери с директна модулация тази мощност може да бъде 20 – 30 mW. [28, 29]

Явлението стимулирано разсейване на Раман (SRS) е подобно на SBS. За него праговата мощност е много по-висока, като достига до около 1 W. Ефектът от SRS се изразява в прехвърляне на сигнална мощност от каналите с по-малка дължина на вълната към каналите с по-голяма дължина на вълната. Това преразпределение на мощности в някои случаи се оказва положително, пример за което е усилвателят на Раман. [28, 29]

Собствената фазова модулация (SPM) е явление, което се проявява при предаване на цифрови сигнали. Дължи се на факта, че оптичното влакно променя коефициента си на пречупване в зависимост от подадената към него мощност. SPM води до паразитна фазова модулация на фронтите на предаваните импулсите (chirp), вследствие на което те се разширяват, междусимволната интерференция нараства и ограничава скоростта на предаване. SPM е една от причините за намаляване на стъпката между отделните канали. [29, 30]

Кръстосаната фазова модулация (XPM) се проявява основно в системите с WDM и DWDM. Тя е подобна на SPM и се дължи на взаимодействието на цифровите сигнали на два съседни оптични канала. При пренасяне на сигналите по едно оптично влакно всеки от тях променя коефициента на пречупване по закона на изменение на оптичната си мощност. Изследванията показват, че за намаляване на XPM е необходимо да се увеличи ефективната повърхност на влакното. [29, 30]

За WDM и DWDM системи е характерно също и явлението четиривърлно смесване (FWM). То е причина е за появата на продукти с нови честоти, някои от които могат да попаднат в използваните канали. Съществуват два основни фактора, които влияят върху нивата на FWM продуктите, респ. ефективността на смесване – каналното отстояние и коефициентът на дисперсия на избраното оптично влакно. [1, 29]

Както беше вече споменато, основен източник на нелинейни изкривявания в коаксиалната част на CATV са RF усилвателите. За да се избегнат тези изкривявания, е необходимо максималното изходно ниво на RF сигнала за всеки пореден усилвател да не превишава дефинираното чрез рамо В на диаграмата от фиг. 4. [20]

## VII. Заключение

В тази статия е представена архитектура на CATV система, изградена на йерархичен принцип.

Дадени са критерии за определяне на динамичния обхват на сигналите както в оптичната, така и в коаксиалната части на системата. Анализирани са причините за появата на шумове и нелинейни изкривявания в основните елементи на системата – лазер, фотодиоден приемник, оптично влакно, оптични и RF усилватели.

## References:

- [1] Добрев Д., *Синтез, анализ и проектиране на широколентови кабелни радиокомуникационни системи – Хабилитационен труд*, ТУ-София, 2005
- [2] Watson R., *Receiver Dynamic Range*, WJ Communications, Inc., 2001
- [3] Learned J., *Hybrid Fiber/Coax options explode for last mile*, Communication System Design, August 2002, [www.CommsDesign.com](http://www.CommsDesign.com)
- [4] Grébol R., *Analysis of the optical spectrum in the communications by means of optical fibre*, Telecommunications Engineer, Promax Electronica, S.A. Telecom Lab.
- [5] <http://www.cabledatcomnews.com/cmhc/headend.html>
- [6] <http://www.cabledatcomnews.com/cmhc/hub.html>
- [7] *BXX Optical node*, Teleste access systems, January 2005
- [8] Green P. Jr., *Fiber to the home – The new empowerment*, John Wiley & Sons, Inc., 2006
- [9] <http://iec.org>, *Fiber to the home*, The International Engineering Consortium
- [10] Powers J., *An introduction to fiber optic communication system*, The McGraw-Hill, 1986
- [11] Yelen K., *Design method for ultimate efficiency in linear-cavity continuous-wave laser using distributed-feedback*, PhD Thesis, University of Southampton, 2004
- [12] Rajeev J., Ch. Cox III, E. Goobar, M. Abraham, H. Lee, S. Patterson, F. Rana, *Semiconductor Lasers: Device Physics and Applications*, Part I, RLE Progress Report Number 141
- [13] Agrawal G., *Fiber-optic communications systems*, John Wiley & Sons, Inc., 2002
- [14] Sackinger E., *Broadband circuits for optical fiber communication*, John Wiley & Sons, Inc., 2005
- [15] Gallion Ph., V. Dallot, E. Bridoux, *Study of noise properties in optical distributed Raman amplifiers using a semiclassical model*, Ecole Nationale Supérieure des Telecommunications
- [16] Bass M., E. Stryland, *Fiber optic handbook – fiber, devices and system for optical communication*, The McGraw-Hill, 2002
- [17] Hudec P., *Noise in CATV Networks*, Applied Microwave & Wireless, September/October 1997
- [18] [http://www.deetc.isel.ipl.pt/sistemastele/ST1/arquivo/Amplif\\_n\\_Lin.pdf](http://www.deetc.isel.ipl.pt/sistemastele/ST1/arquivo/Amplif_n_Lin.pdf)
- [19] Добрев Д., Л. Йорданова, *Радиокомуникации – 2 части*, С. Сиела, 2000
- [20] Добрев Д., Л. Йорданова, *Приемане на радио- и телевизионни програми чрез спътници и по кабел*, С. Електронинвест, 1996
- [21] Randa J., *Thermal noise measurements*, NIST/ARFTG Short Course, Boulder, December 2003
- [22] Jeremie F., Jean-Luc Vey, Ph. Gallion, *Optical corpuscular theory of semiconductor laser intensity noise and intensity squeezed-light generation*, J. Opt. Soc. Am. B Vol. 14, No. 2 1997
- [23] <http://www.physics.montana.edu/students/meng/physics/noise/RIN.htm>
- [24] <http://www.ece.drexel.edu/courses/ECE-T603/laser.pdf>
- [25] Baney D., Ph. Gallion, R. Tucker, *Theory and Measurement Techniques for the Noise Figure of Optical Amplifiers*, Optical Fiber Technology 6, p.122-154, 2000

- [26] Gallion Ph., *Classical Phase-Amplitude Description of Optical Amplifier Noise*, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Télécom Paris
- [27] Фриман Р., *Волоконно – оптические системы связи*, М., Телеком транспорт, 2003
- [28] Yusoff Z., *Applications of highly nonlinear holey fibres in optical communications*, PhD Thesis, University of Southampton, 2004
- [29] Agrawal G., *Nonlinear fiber optics - Third Edition*, Academic Press, 2001
- [30] Agrawal G., *Applications of nonlinear fiber optics*, Academic Press, 2001