

ШУМОВЕ ПРИ ПРИЕМАНЕТО НА КОМУНИКАЦИОННИ СИГНАЛИ ОТ СПЪТНИЦИ

Димитър Македонски

Абстракт: В статията се разглеждат различните видове шумове възникващи при приемане на комуникационни сигнали със сателитни антени. Шумовете са класифицирани в три основни групи. Приведени са примери и е направено обяснение за практическото разбиране и измерване на тези шумове. В статията са представени практически примери за изясняване на проблемите, възникващи в следствие на наличието на шумове при приемане на сигнали със сателитни антени.

Ключови думи: сателитни антени, шум, шумова температура, загуби, качествен фактор, бял шум.

NOISES WHEN RECEIVING COMMUNICATION SIGNALS FROM SATELLITES

Dimitar Makedonski

Abstract: This paper discusses the different types of noise arising from the reception of communication signals with satellite antennas. The noises are classified into three main groups. Examples are given and an explanation is given for the practical understanding and measurement of these noises. Practical examples are presented in the paper to clarify the problems arising due to the presence of noises in the reception of signals with satellite antennas.

Keywords: satellite antennas, noise, noise temperature, losses, quality factor, white noise

Шум при приемането на телевизионни сигнали от спътници

Нивото на сигнала на приемната антена не може да се разглежда без да се разгледа важният въпрос за шума. Шумът на антената се характеризира с количеството на паразитен сигнал, който рефлектора получава. Кои са тези паразитни (шумови) сигнали? Смушаващите сигнали се илюстрират схематично на Фигура 1.



Фигура 1

Сигналите посочени на фиг.1 могат условно да се разделят на две групи:

Външни шумове - причиняват се от шумови източници от космоса, атмосферата и земята. При ниски честоти тези шумове са значителни.

Втората група шумове са вътрешните шумове. Те са сума от топлинните шумове на самия рефлектор и приведените вътрешни шумове на свързващите елементи на конвертора и шумовете на конвертора. Определянето на тези шумове обикновено създава сериозни проблеми,

на които ще се опитаме да дадем обяснение в настоящата статия.

Всъщност, шумът основно определя нивото на сигнала, отразен от рефлектора. Ако сигналът предаван към телевизионния приемник не е достатъчно силен, съпоставен с придружаващия го шум, приемането е некачествено. Ако приемаме например телевизионен сигнал, може да се получи картина със „снеговалеж“ и „избиващи“ линии в хоризонтално направление до цялостно „подскачане“ на картината и дори до нейното пълно изчезване [1].

За да се намалят грешките при приемане и да можем да подберем качествени антени, трябва да сме запознати с особеностите и причините за възникване на шума.

Електрическият шум се поражда от много източници. повечето от тях са над Земята и предизвикват тъй наречения „атмосферен“ и „галактичен“ шум. Светкавиците причиняват така наречения „мигновен шум“, който е по-голям от полезния сигнал. Мълниите се виждат, но за човешкото око остават невидими многото по-малки електрически изпразвания в атмосферата, които стават непрекъснато и които са източник на радиошум. Атмосферният шум е с голямо ниво при честоти под 20 MHz, така че не е толкова голям проблем за спътниковите честоти, това не важи за „галактическия шум“, който е източник на информация за астрономите, но определено пречи на специалистите по спътникови системи, особено когато работят с честоти над 20 MHz.

В природата съществува и друг източник на шум, който се намесва в цялата апаратура. Става въпрос за така наречения „топлинен шум“. Известно е, че вследствие топлинното движение на електроните и топлинното колебание, на атомите и молекулите (вътре във всеки прфвдник) се получават малки местени изменения на положението им. Те се изразяват в неправилни колебания на напрежението, което се получава в краищата на проводника. Това напрежение е шумовото напрежение, което се създава в проводниците, като резултат от тяхната температура. Понеже броят на елементарните заряди е твърде голям и разместването на тези заряди е съвсем неравномерно, шумовото напрежение съдържа всички честоти - от най-ниските до най-високите. Следователно, колкото е по-широка лентата на усилване на усилвателя или приемника, който е свързан след шумовия източник, толкова измереното след него шумово напрежение ще бъде по-голямо. Теорията на твърдото тяло дава следната стойност на шумовото напрежение:

$$U_{ш}^2 = 4.K.T^0.R_0.\Delta f [V^2] \quad (1)$$

където: $U_{ш}$ е шумовото напрежение във V;

K - константа на Болцман, $K = 1,37.10^{-23} \text{ W/HzK}$;

T^0 =абсолютната температура в градус K;

R_0 - съпротивлението върху което се получава шумовото напрежение Ω ;

Δf - ширината на пропусканата честотна лента в Hz.

От съпротивлението R_0 може да се снесе максималната шумова мощност, когато товарът е съгласуван, т.е. неговото съпротивление R_0 е равно на R_T . Максималната шумова мощност в случая ще бъде:

$$P_{ш} = U_{ш}^2.K.T_0.\Delta f/(4.R_T)[W] \quad (2)$$

Обикновено топлинният шум е познат като „бял шум“. „Бял“ означава че този шум е в широки честотни граници. И въпреки, че неговата стойност е сравнително малка, той не може да бъде пренебрегнат. Това е особено в сила когато има значително усилване на сигнала при приемните спътникови системи.

„Белият шум“ се понижава с падането на температурата и обратно. При големи земни станции за приемане от спътници, този шум се намалява с понижаване на работната температура на техните усилватели. При единично приемане от спътници това не е практично. За това производителите на приемни съоръжения за спътникова комуникация намаляват „белия шум“ чрез подбор на компонентите и нови технически решения и технологии.

Въпросите свързани с „шумовите свойства“ на елементите на спътниковите системи са от изключителна важност за качеството на приемане на сигналите при използването на антени.

Качеството на приемане зависи от много фактори, единия от които е така нареченият топлинен шум. Известно е, че топлинният шум се характеризира от две величини - шумов фактор и шумово число.

В статията ще разгледаме някои от проблемите свързани с шумовите характеристики на антените. Въпросите свързани с шума имат отношение към параметрите на различни устройства използвани в сателитната комуникационна техника: конвертори, сателитни приемници, телевизионни приемници.

Прието е в системите за сателитна комуникация шумовите „свойства“ на отделните елементи (антени, конвертори, приемници) да се оценяват чрез шумовата температура, шумовия фактор или шумовото число [2].

За да може да се направи връзка между тези фактори, ще дадем няколко примера.

Когато е даден шумовият фактор F връзката му с шумовата температура се дава с израз $T_{ш} = 290 (F-1) [K]$, където $T_{ш}$ е еквивалентния топлинен шум (изразен в градуси по Келвин), F - шумовият фактор (изразен в числена стойност).

Ако искаме шумовият фактор F да се изрази в логаритмични единици, като се посочи връзката му с шумовата температура, ще се използва израз

$$F_{ш} = 10\lg(T_{ш}/290 - 1) \quad [dB] \quad (3)$$

Когато шумовият фактор е даден в логаритмични единици, се използва определението Шумово число (коефициент на шума). За да може да се направи връзка между шумова температура и шумово число, ще дадем следните примери:

Нека един усилвател (от конвертор) за сателитна телевизия има шумово число 2,5 dB. Ако се използва горната формула, се получава шумова температура 225 K. Ако друг усилвател има шумово число 3,5 dB - шумовата му температура е 359 K. Практиката показва, че усилватели, конвертори, приемници за други съоръжения за сателитна телевизия, които работят в Ku-band (11-12 GHz) имат шумова температура между 100K и 250 K. Тенденцията е тази „температура“ да се понижава, това е свързано с технологични и конструктивни особености при производството на тези съоръжения. Връзката между шумовата температура и шумовото число в по-голям обхват е посочен в Таблица 1.

Таблица 1.

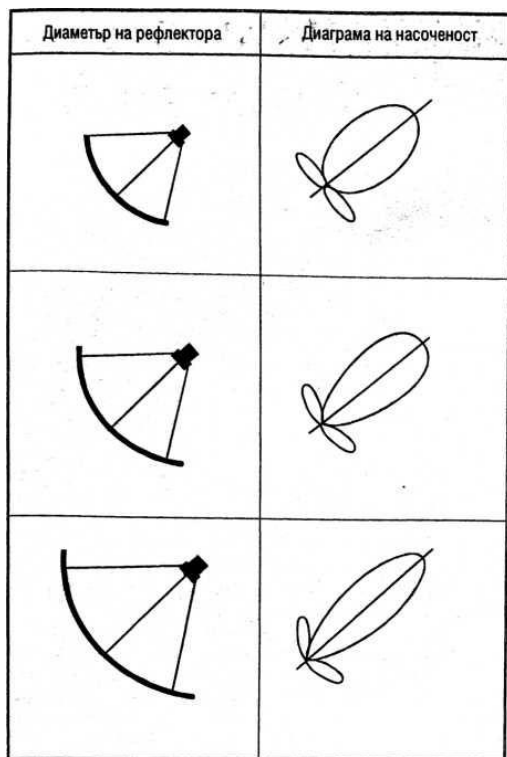
F[dB]	$T_{ш}[K]$	F[dB]	$T_{ш}[K]$	F[dB]	$T_{ш}[K]$
0,82	60	1,71	140	2,7	260
0,94	70	1,91	160	3,1	300
1,06	80	2,09	169	3,8	400
1,16	90	2,00	180	4,9	600
1,30	100	2,18	190	5,8	800
1,51	120	2,30	200	6,6	1000

В настоящата статия ние говорим конкретно за антената (рефлектора). Как се свързва шума на антената с шумовата температура? Шумът на антената се характеризира с количеството на паразитния (шумов) сигнал, който рефлектора и конвертора получават. На Фигура 1 са илюстрирани сигналите, които се приемат като шум.

Показаните на Фиг.1 шумове условно са разделени на две групи. Първата група са външните шумове, причинени от шумови източници от космоса, атмосферата и земята. При ниски честоти тези шумове са значителни. Втората група шумове са вътрешните шумове, те са сума от топлинния шум на самия рефлектор и приведените вътрешни шумове на свързващите елементи на конвертора и шумовете на конвертора.

На база на общия сумарен шум, като се използва формула (1) се определя шумовата температура $T_{ш}$. Явно тя ще зависи както от честотния обхват на приеманите сигнали, така също и от широчината на честотната лента на сигналите.

Към този труден за разбиране и проектиране въпрос се намесват и допълнителни фактори. Единият от тях е широчината на диаграмата на насочване на антената [1]. Тук се въвежда един параметър, който се включва в каталозите на фирмите - това е ъгъл определящ половината от широчината на диаграмата на насоченост на антената, при която мощността се намалява с 3 dB. Този ъгъл се означава α_0 . Този фактор е нагледно илюстриран на Фигура 2. От фигурата се вижда, че колкото антената (рефлектора) е с по-голям диаметър, толкова е „по-остра“ диаграмата на насочване и външните смущения по-малко влияят.



Фигура 2

От друга страна е известно, че антени с по-голям рефлектор имат и по-голям коефициент на усилване. Така че практиката показва, че антени с голям коефициент на усилване имат ниска шумова температура. Тази особеност се вижда от Таблица 1. Ако вземем за пример две параболични антени на фирмата Hirschmann от типа CSA 12102 и CSA 1810 L. Диаметрите на двете антени са съответно 1.5 m и 1.8 т. Шумовите температури са съответно 45 K и 40 K.

За определяне на шумовата температура се „включва“ и нов фактор - под какъв ъгъл спрямо хоризонта е насочена антената. Явно, че става въпрос за ъгъла на елевацията. Тук нещата стоят така: С увеличаване на ъгъла на елевацията се намаляват смущаващите сигнали, а с това и шумовата температура. За изясняване на тази особеност по-надолу са дадени някои числа, които са получени на базата на изследвания от някои фирми. За пример ще се вземе антена с диаметър 1.8 m. За нея ще посочим шумовата температура при различни ъгли на елевацията - Таблица 2.

Таблица 2.

Диаметър на антената	Коефициент на усилване	α_0	Ъгъл на елевацията [°]		
			10	20	30
			$T_{ш}$ [K]		
1,8	45,0 dB	$\leq 1,0^\circ$	51	45	40

Подчертаваме, че тези стойности на шумовата температура са приблизителни. Тяхното значение по-скоро е да се посочи, че за определяне на качествата на картината, освен редицата фактори е от значение и под какъв ъгъл спрямо хоризонта е насочена антената. Не без значение е и особеността къде се намира пунктът за приемане (далеч или близо до Екватора)[2]. От значение е и дали спътникът е разположен на голяма източна или западна дължина на геостационарната орбита. В повечето случаи някои фирми дават шумовата температура с по-големи подробности. Така например фирмата FUBA дава този параметър по-описателно по следния начин:

За параболична антена тип OAP 375 (D=3,7 m) Шумовата температура [K] при ъгъл на елевацията 30° е:

за $f_1 = 10,95 \text{ GHz}$	e	38,5K;
за $f_2 = 11,325 \text{ GHz}$	e	37,1K;
за $f_3 = 11,9 \text{ GHz}$	e	35,9K.

Качествен фактор

До тук за оценка на шумовите „свойства“ на елементите в приемните пунктове за сателитна телевизия въведохме параметрите шумов фактор, шумово число и шумова температура.

В редица случаи обаче (един от тях е приемната антена) земните приемни станции се оценяват по така наречения „Качествен фактор на приемното устройство“.

Качественият фактор се дефинира като отношение между коефициента на усилване на антената и приведената еквивалентна шумова температура $T_{ш}$ отнесена към входа на приемното устройство (конвертора).

Означава се като G/T и има измерения [Db/K]

Качественият фактор се определя с израза:

$$G/T = (G_a - (\alpha + \beta)) / (\alpha \cdot T_{ш} + (1 - \alpha) \cdot T_0 + (F - 1) T_0) \quad [\text{Db/K}] \quad (4)$$

където: G_a е коефициентът на усилване на антената [dB];

α - общите загуби на антенно-фидерния тракт на входа на конвертора по мощност dB (или в пъти);

β - общи загуби по мощност, поради неточно насочване на антената, поляризационни ефекти, стареене и др. [dB].

$T_{ш}$ - ефективна шумова температура на антената (рефлектора) [dB]

T_0 - стандартна температура - 290 K F - шумов фактор на конвертора (в пъти) dB

За да може да се разбере параметъра качествен фактор, ще се разгледаме няколко примера.

Първото разглеждане ще се направи за антена с рефлектор с размери 1.8 м. Приема се че коефициентът на усилване на антена с такъв рефлектор е 45 dB. Приема се, че загубите са: $\alpha = -1,5 \text{ dB}$ и $\beta = -1 \text{ dB}$. В горните означения знакът „минус“ означава че имаме намаляване на сигнала (затихване).

Преминаваме от мощностите в логаритмични единици в пъти и определяме, че 1,5 dB - отговаря на 0,7 пъти.

От Таблица 2 при ъгъл на елевацията 30° се приема $T_{ш} = 40 \text{ K}$. Приема се $T_0 = 290 \text{ K}$ и $F = 1,5$

В такъв случай ако се разглеждат отделно числителят и знаменателят на основния израз (4) се получава:

$$G = G_a - (\alpha + \beta) = 45 - (1,5 + 1) = 42,5 \text{ dB}$$

$$T = 0,7 \cdot 40 + (1 - 0,7) \cdot 290 + (1,5 - 1) \cdot 290 = 260 \text{ K}$$

Тъй като еквивалентната температура е изчислена в градуси по Келвин, за да се замести в основния израз тя трябва да се превърне в еквивалентно шумово число (F, dB).

$$\text{Ако се използва табл. 1 за } T_{\text{ш}} = 260 \text{ K, се получава } F = 2,7 \text{ dB}$$

В такъв случай качественият фактор на антената е

$$G/T = 42,5/2,7 = 15,3 \text{ [dB/K]}$$

Полученият качествен фактор можем да квалифицираме като добър. Стремешът на производителите е този параметър да се подобрява. Един от пътищата за подобряване на този параметър на приемните системи (антените) е да се използват конвертори с нисък шумов фактор (малко шумово число).

Нека в горния пример да приемем, че се използва много качествен конвертор с шумов фактор $F=1,26$ пъти - шумово число 1 dB.

При положение, че в разглеждания пример всички други параметри се запазват, се получава: Еквивалентна шумова температура

$$T = \alpha \cdot T_{\text{ш}} + (1 - \alpha) \cdot T_0 + (F - 1) \cdot T_0 = 0,7 \cdot 40 + (1 - 0,7) \cdot 290 + (1,26 - 1) \cdot 290 = 190,4 \text{ K}$$

Ако еквивалентната шумова температура $T_{\text{ш}}$ е $190,4 \text{ K} \approx 190 \text{ K}$ и се превърне в шумово число (F) се получава:

$$F = 2,18 \text{ [dB]}$$

В такъв случай качественият фактор на антената е:

$$G/T = 42,5/2,18 = 19,5 \text{ [dB/K]}.$$

Заклучение:

В статията бяха разглеждани различните видове шумове възникващи при приемане на комуникационни сигнали със сателитни антени. Шумовете са класифицирани в три основни групи. Приведени бяха примери и бе направено обяснение за практическото разбиране и измерване на тези шумове. В статията бяха представени примери за изясняване на проблемите, възникващи в следствие на наличието на шумове при приемане на сигнали със сателитни антени. Обяснени бяха някои от основните компоненти влизащи в състава на общия шум постъпващ на входа на сателитните антени. Разгледани бяха примери, които да помогнат за тяхното редуциране при избора на оборудване.

References

[1]. Д. Македонски, „Параметри на които трябва да се обърне внимание при покупка на сателитна антена“, сп. Сателитна Телевизия, бр. 5, стр.76, ТЕОМА, Варна, ISSN-1310-2788.

[2]. Димитър Мишев, Димитър Македонски, Искра Йорданова, „Сателитна и кабелна телевизия – част 1“, КолорПринт -Варна, 1997г., ISBN-9548284480