

**СИМУЛАЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ НА DVB-T С ДИАГРАМА НА МОДУЛАЦИОННИТЕ СЪЗВЕЗДИЯ QPSK, 16QAM И 64QAM****SIMULATION RESEARCH OF DVB-T WITH MODULATION CONSTELLATIONS QPSK, 16QAM AND 64QAM****Тодор Манев**  
ТУ - Габрово**Николай Ташков<sup>1</sup>**  
ТУ - Габрово

Статията е постъпила на 17 март 2016 г.; след ревизия на 25 април 2016 г.; приета за отпечатване на 27 април 2016 г.

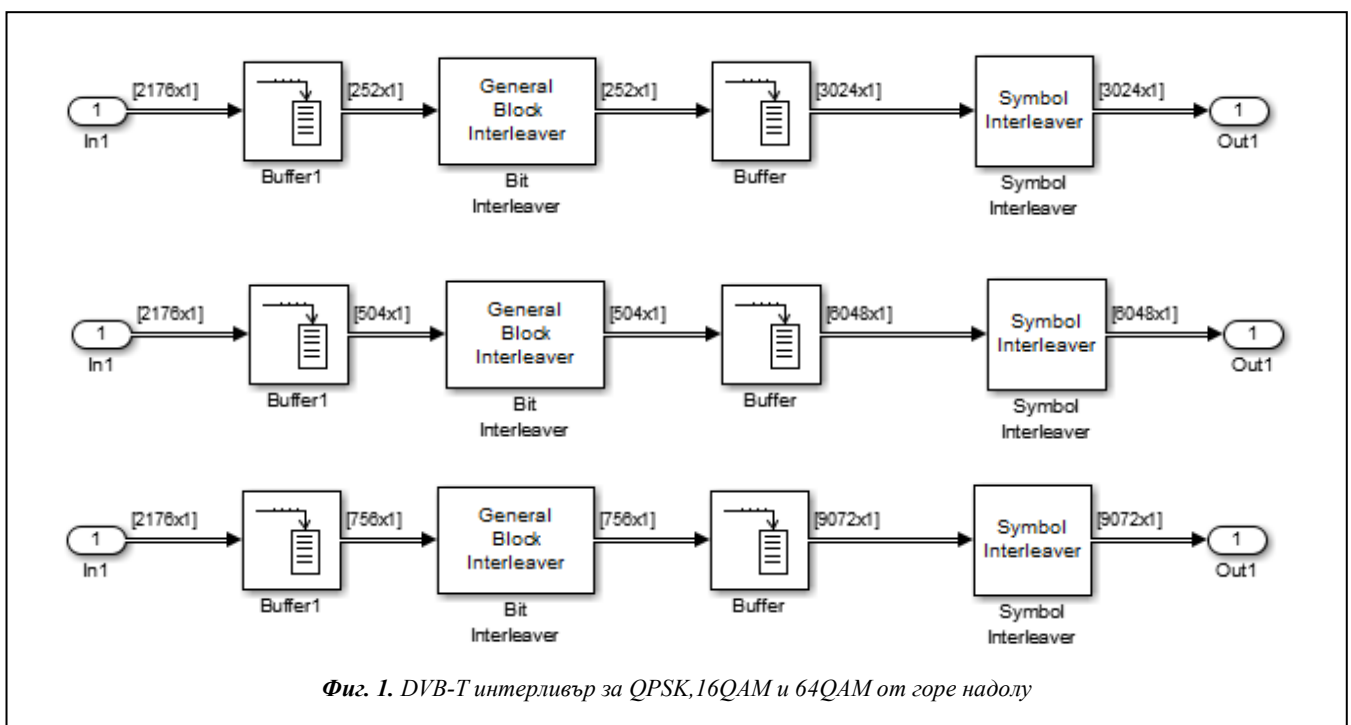
**Abstract**

In this paper comparative analysis is made for the required signal to noise ratios for the different modulation constellations QPSK, 16QAM and 64QAM for DVB-T, where  $BER=1*10^{-7}$  is achieved. This guarantees quality transmission of the modulated data. Using the standard model for digital modulation 64QAM for DVB-T in MATLAB/Simulink, new models are created for QPSK and 16QAM. This allows for comparative analysis and evaluation of transfer speeds in different signal to noise ratios.

**Keywords:** Matlab, DVB-T, 64QAM, 16QAM, QPSK, AWGN, SNR.**ВЪВЕДЕНИЕ**

В настоящата статия е реализирано симулационно изследване на модулация и демодулация на Digital Video Broadcasting – Terrestrial (DVB-T) с използването на цифровите модулационни формати – QPSK, 16QAM и 64QAM. В продукта MATLAB заложеният демонстрационен файл за DVB-T (commdvbt) [6] използва диаграма на съзвездията (constellation) 64QAM

[3]. В настоящото изследване, отчитайки влиянието на шума при различните съзвездия, са предефинирани част от векторите, необходими за симулационно изследване на QPSK и 16QAM в средата MATLAB/Simulink. Задавайки стойностите на отделните параметри е постигната оптимална работа на симулационния модел.

**Фиг. 1.** DVB-T интерливър за QPSK, 16QAM и 64QAM от горе надолу<sup>1</sup>Тел: 0887437419; E-mail: tashkov@yahoo.com

**ИЗЛОЖЕНИЕ**

На фиг. 1 е представен вътрешният интерливър за DVB-T при различните съзвездия. За първото буферизиране се задават съответно 252, 504 и 756 като размер на

изходния буфер. Това е съответно  $2 \times 126$ ,  $4 \times 126$  и  $6 \times 126$  – в зависимост от предаваните битове за отделните съзвездия. При второто буферизиране след побитовия интерливър е  $12 \times$  размера на първия буфер съответно 3024, 6048 и 9072.

```

% Initial table setup
dvb_bit_int_table_4 = 1:252;
dvb_bit_int_table_4 = reshape(dvb_bit_int_table_4, 2, 126);
dvb_bit_int_table_16 = 1:504;
dvb_bit_int_table_16 = reshape(dvb_bit_int_table_16, 4, 126);
dvb_bit_int_table_64 = 1:756;
dvb_bit_int_table_64 = reshape(dvb_bit_int_table_64, 6, 126);
% QAM non-hierarchical demultiplexing
dvb_bit_int_table_4 = dvb_bit_int_table_4([1 2],:);
dvb_bit_int_table_16 = dvb_bit_int_table_16([1 3 2 4],:);
dvb_bit_int_table_64 = dvb_bit_int_table_64([1 4 2 5 3 6],:);
% Six individual interleavers for 64 QAM
dvb_bit_int_table_64(1,:) = dvb_bit_int_table_64(1,mod([0:125] + 0,126) + 1);
dvb_bit_int_table_64(2,:) = dvb_bit_int_table_64(2,mod([0:125] + 63,126) + 1);
dvb_bit_int_table_64(3,:) = dvb_bit_int_table_64(3,mod([0:125] + 105,126) + 1);
dvb_bit_int_table_64(4,:) = dvb_bit_int_table_64(4,mod([0:125] + 42,126) + 1);
dvb_bit_int_table_64(5,:) = dvb_bit_int_table_64(5,mod([0:125] + 21,126) + 1);
dvb_bit_int_table_64(6,:) = dvb_bit_int_table_64(6,mod([0:125] + 84,126) + 1);
% Four individual interleavers for 16 QAM
dvb_bit_int_table_16(1,:) = dvb_bit_int_table_16(1,mod([0:125] + 0,126) + 1);
dvb_bit_int_table_16(2,:) = dvb_bit_int_table_16(2,mod([0:125] + 63,126) + 1);
dvb_bit_int_table_16(3,:) = dvb_bit_int_table_16(3,mod([0:125] + 105,126) + 1);
dvb_bit_int_table_16(4,:) = dvb_bit_int_table_16(4,mod([0:125] + 42,126) + 1);
% Two individual interleavers for QPSK
dvb_bit_int_table_4(1,:) = dvb_bit_int_table_4(1,mod([0:125] + 0,126) + 1);
dvb_bit_int_table_4(2,:) = dvb_bit_int_table_4(2,mod([0:125] + 63,126) + 1);
% Flatten matrix into lookup table
dvb_bit_int_table_64 = dvb_bit_int_table_64(:);
dvb_bit_int_table_16 = dvb_bit_int_table_16(:);
dvb_bit_int_table_4 = dvb_bit_int_table_4(:);

```

Фиг. 2. Дефиниция на таблиците за DVB-T интерливър

```

dvb_sym_int_table_original = h(1:1512)+1;
% Expand table to accommodate 6-bit words
dvb_sym_int_table_64 = dvb_sym_int_table_original
dvb_sym_int_table_64 = [dvb_sym_int_table_64*6-5;
                        dvb_sym_int_table_64*6-4;
                        dvb_sym_int_table_64*6-3;
                        dvb_sym_int_table_64*6-2;
                        dvb_sym_int_table_64*6-1;
                        dvb_sym_int_table_64*6];
% Expand table to accommodate 4-bit words
dvb_sym_int_table_16 = dvb_sym_int_table_original
dvb_sym_int_table_16 = [dvb_sym_int_table_16*4-3;
                        dvb_sym_int_table_16*4-2;
                        dvb_sym_int_table_16*4-1;
                        dvb_sym_int_table_16*4];
% Expand table to accommodate 2-bit words
dvb_sym_int_table_4 = dvb_sym_int_table_original
dvb_sym_int_table_4 = [dvb_sym_int_table_4*2-1;
                       dvb_sym_int_table_4*2];
% Flatten matrix into lookup table
dvb_sym_int_table_64 = dvb_sym_int_table_64(:);
dvb_sym_int_table_16 = dvb_sym_int_table_16(:);
dvb_sym_int_table_4 = dvb_sym_int_table_4(:);

```

Фиг. 3. Дефиниция на таблиците за DVB-T символния интерливър

В „General Block Interleaver“ се ползват дефинициите от фиг. 2 за dvb\_bit\_int\_table\_4/16/64 съответно за QPSK/16QAM и 64QAM. За различните съзвездия се използват съответно първите два, четири или шест интерливъра.

След това се настройва и символният интерливър (symbol interleaver) (фиг. 3), в зависимост от различния брой битове 2/4/6. При режим 2K подносещите честоти са 1512, а при 8K са 6048 активни носещи за всеки OFDM символ. Така за 2K се използват 12 групи, които се прочитат последователно във вектор с размер 1512, а при 8K се използват 48 групи, като векторът е с дължина 6048 [1,2].

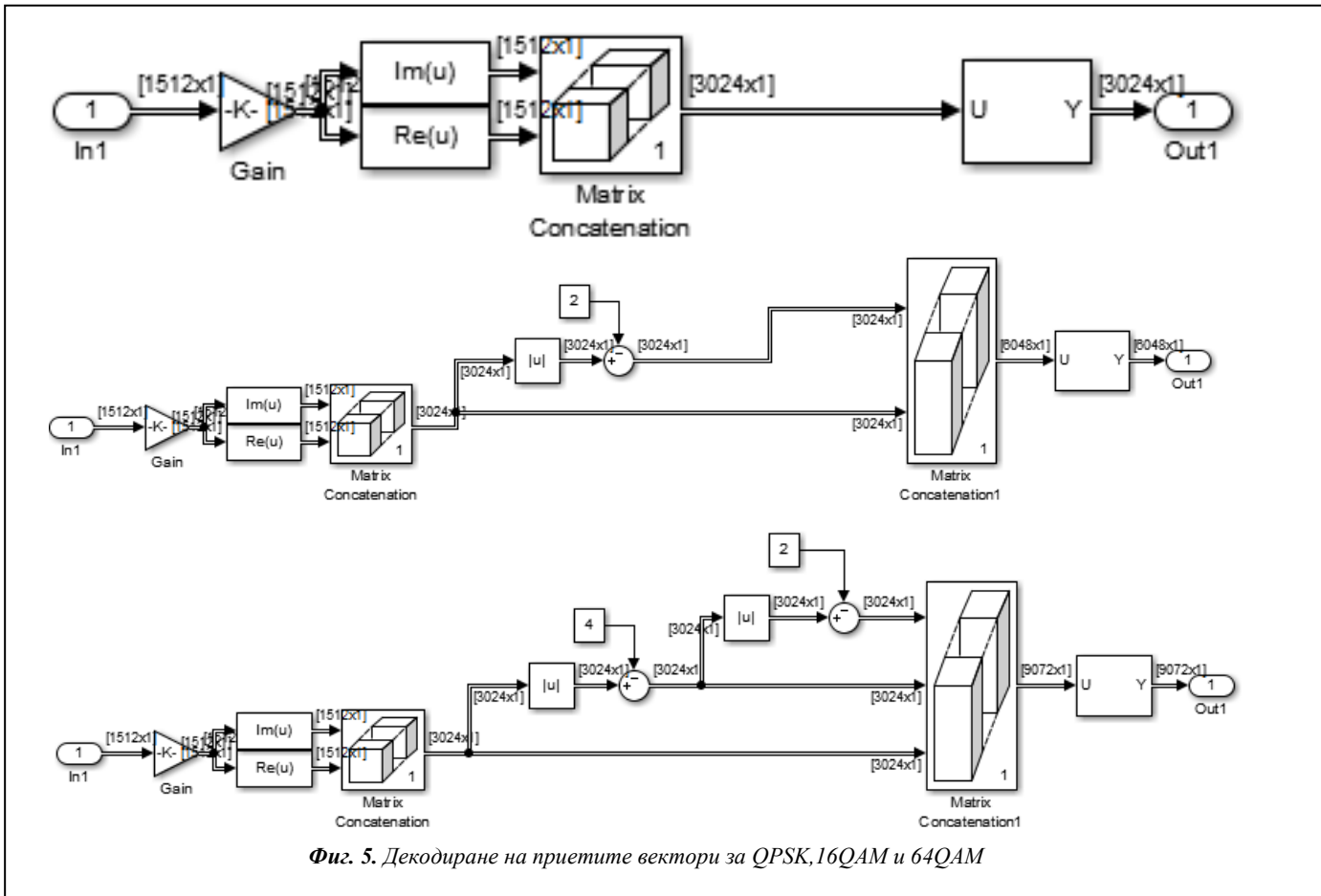
За конфигурирането на различните съзвездия в блока “Bit to integer Converter” за трите съзвездия са необходими съответно 2, 4 и 6 бита. Векторите за различните съзвездия се дефинират, както е показано на фиг. 4. Точките при QPSK са четири, като на всяка точка от съзвездието съответстват 2 бита, при 16QAM са 16 точки, което определя 4 бита.

Всички тези настройки по симулационния алгоритъм са достатъчни за конфигурирането на DVB-T модулятора за излъчване на сигнала в трите различни модулационни формата. За конфигурирането на приемната част се използват същите дефинирани променливи параметри, използвани при модулацията. Единствената особеност е конфигурирането на разпознаването на символите (Demapper) . За целта се използват диаграмите от фиг. 5.

```

% Reading the values from Figure 9a
dvbt_qpsk = [1 + 1i
            -1 + 1i
             1 - 1i
            -1 - 1i];
dvbt_qpsk = dvbt_qpsk/sqrt(2);
% Reading the values from Figure 9a
dvbt_16qam = [ 3 + 3i
              -3 + 3i
               3 - 3i
              -3 - 3i
               1 + 3i
              -1 + 3i
               1 - 3i
              -1 - 3i
               3 + 1i
              -3 + 1i
               3 - 1i
              -3 - 1i
               1 + 1i
              -1 + 1i
               1 - 1i
              -1 - 1i];
% Normalization factor from Section 4.4
dvbt_16qam = dvbt_16qam/sqrt(10);
    
```

**Фиг. 4.** Вектори на диаграмата на съзвездиата за QPSK и 16QAM



За да се отчита правилно двоичната грешка при различните симулации е важно да се настроят и изчислят различните закъснения при модулация и демодулация на данните и забавянията, които настъпват по веригата.

При DVB-T интерливърът и деинтерливърът съдържат закъснения, които са от изключителна важност при изчисляване на двоичната грешка и сравняването на изпратения с получения бит. За да функционира правилно измервателният модул е необходимо прецизното изчисляване на закъсненията при всички използвани модули и задаването им преди изчисляването на грешката (таблица 1 и таблица 2).

При Витерби декодера е необходимо да се зададе закъснение, с цел синхронизиране на приемането със предаването. Общото сумарно закъснение е 12004 (за 64QAM). Изчислява се модул от 2176, тъй като това е размера на пакета на входа на Витерби декодера. Той дава закъснение 1124, което отговаря на  $1124 \cdot 3/4 = 843$

символа при скорост на кодиране 3/4. Тъй като Витерби декодерът е с дълбочина от 136 това води до общо закъснение от  $843+136 = 979$ . За да се подредят думите преди конволуционния деинтерливър в настройките на Витерби декодера е добавено допълнително закъснение от  $1632-979=653$  символа. Скоростта на кодиране 3/4 води и до закъснение от  $12004 \cdot 3/4 = 9003$ . Следователно общото закъснение, което не включва конволуционния интерливър/деинтерливър (той има фиксирано закъснение от 11 пакета) е  $9003+136+653 = 9792$ , което прави точно 6 пакета от 1632 символа (това е стойността  $6 \cdot 1632$ , която трябва да се настрои за индикатора на двоична грешка преди корекцията (Error Rate Calculator). Така общото закъснение за 64QAM е 17 кадъра и за индикатора на двоична грешка след корекцията трябва да се настрои закъснение от  $188 \cdot 17 \cdot 8$ . Изчисленията за QPSK и 16QAM са аналогични и са представени в таблица 2.

**Таблица 1.** Изчисляване на закъсненията при DVB-T симулационния алгоритъм

Буфериране	Закъснение 64 QAM	Буфериране	Закъснение 16QAM	Буфериране	Закъснение QPSK
2176 в 756	756	2176 в 504	504	2176 в 252	252
756 в 9072	9072	504 в 6048	6048	252 в 3024	3024
9072 в 756	0	6048 в 504	0	3024 в 252	0
756 в 2176	2176	504 в 2176	2176	252 в 2176	2176
Общо	<b>12004</b>	Общо	<b>8728</b>	Общо	<b>5452</b>

**Таблица 2.** Изчисляване на закъсненията за правилната калкулация на двоичната грешка преди и след корекцията за DVB-T и QPSK/16QAM/64QAM

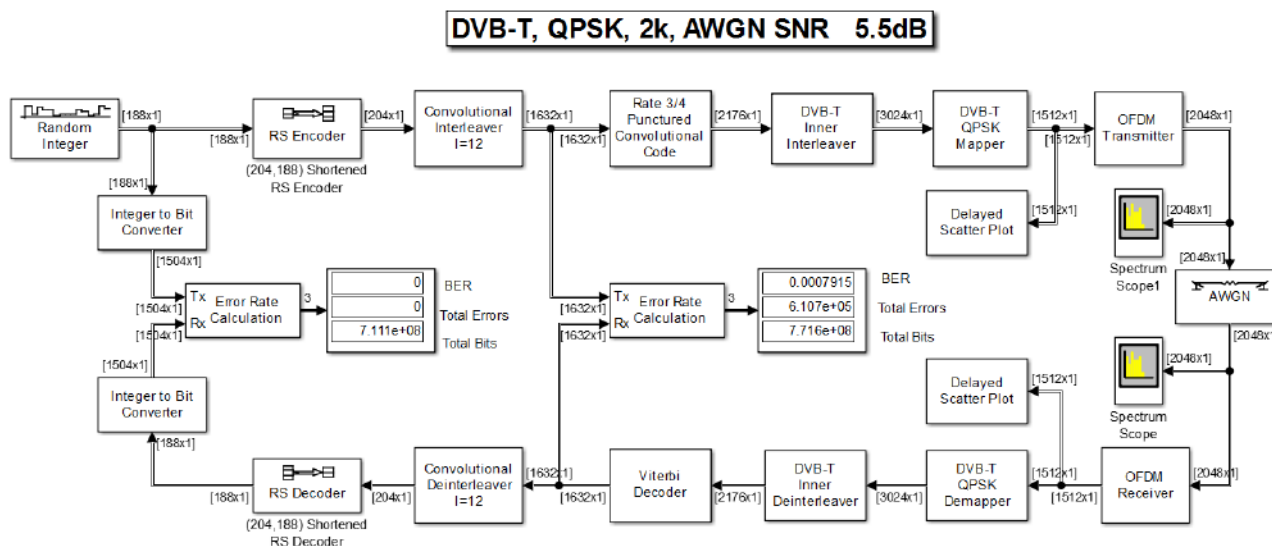
Изчисления при 64QAM и 3/4	Изчисления при 16QAM и 3/4	Изчисления при QPSK и 3/4
$12004 \cdot 3/4 = 9003$	$8728 \cdot 3/4 = 6546$	$5452 \cdot 3/4 = 4089$
$1124 \cdot 3/4 = 843$	$24 \cdot 3/4 = 18$	$1100 \cdot 3/4 = 825$
$843 + 136 = 979$	$18 + 136 = 154$	$825 + 136 = 961$
$1632 - 979 = 653$	$1632 - 154 = 1478$	$1632 - 961 = 671$
$12004 \cdot 3/4 = 9003$	$8728 \cdot 3/4 = 6546$	$5452 \cdot 3/4 = 4089$
$9003+136+653 = 9792$	$6546+136+1478 = 8160$	$4089+136+671 = 4896$
$9792 = 6 \cdot 1632$	$8160 = 5 \cdot 1632$	$4896 = 3 \cdot 1632$
<b>6 + 11 = 17 кадъра</b>	<b>5 + 11 = 16 кадъра</b>	<b>3 + 11 = 14 кадъра</b>

**Таблица 3.** Теоретични минимални нива а SNR, необходими за нейерархична модулация

Модулация	Code Rate	Гаусов канал [dB]	Райсов канал [dB]	Релеевски канал [dB]
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4
	2/3	4,9	5,7	8,4
	3/4	5,9	6,8	10,7
	5/6	6,9	8,0	13,1
	7/8	7,7	8,7	16,3
16QAM	1/2	8,8	9,6	11,2
	2/3	11,1	11,6	14,2
	3/4	12,5	13,0	16,7
	5/6	13,5	14,4	19,3
	7/8	13,9	15,0	22,8
64QAM	1/2	14,4	14,7	16,0
	2/3	16,5	17,1	19,3
	3/4	18,0	18,6	21,7
	5/6	19,3	20,0	25,3
	7/8	20,1	21,0	27,9

**Таблица 4.** Сравнение между теоретични, симулационни и експериментални минимални нива на SNR, необходими за приемането на DVB-T нейерархична модулация

Модулация	Code Rate	Гаусов канал [dB] - теоретично	Гаусов канал [dB] - симулационно	Гаусов канал [dB] - експериментално
QPSK	3/4	5,9	5,5	13,6
16QAM	3/4	12,5	11,8	19,5
64QAM	3/4	18,0	17,3	25,9



**Фиг. 6.** Симулационен модел на DVB-T QPSK модулация и демодулация

С показаните настройки е реализирано симулационно измерване и са проверени теоретичните стойности за минимално ниво на шума, спрямо тези от симулациите за трите съзвездия QPSK, 16QAM и 64QAM при скорост на кодиране 3/4. В таблица 3 са представени теоретичните стойности за минимално ниво на шума при Гаусов канал, Райсов канал и Релеевски канал за безпогрешното приемане на DVB-T сигнал, като се вземе под внимание вида на модулацията и кодовата скорост. Ясно се вижда, че при нарастване на големината на съзвездието от QPSK към 64QAM и с нарастване на скоростта на кодиране от 1/2 към 7/8 нивата за минимален шум за приемане на сигнала също нарастват.

Като се използва синтезираният симулационен модел (фиг. 6) може да се измери при какъв зададен Гаусов шум двоичната грешка след корекцията е нула като скоростта на кодиране е 3/4 и вида на модулацията е QPSK. По аналогичен начин се изследва и за останалите два модулационни формата - 16QAM и 64QAM. Резултатите от сравнителното изследване са представени в таблица 4, където в последната колона са дадени резултатите от извършен реален експеримент. За целта е използван модулатор „TVB597A“ [4] и мониторинг приемник „DVB Monitor ACT“ [5]. Вижда се, че тенденцията се запазва, но има разлика от около 8 dB спрямо теоретичните и симулационните измервания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на симулацията за DVB-T в средата на Matlab, реализирана при 64QAM модулационен формат, са създадени два нови модела на базата на QPSK и 16QAM модулатори. Представени са всички необходими стойности на параметрите, даващи възможност за реализация на по-ниски символни скорости. Това позволява да се направи сравнителен анализ при различни нива на въздействие на адитивен бял Гаусов шум.

От направените експерименти се вижда, че при симулационния модел в MATLAB може да се постигне безпроблемно приемане на DVB-T дори и при по-ниски стойности на SNR. В реална обстановка изискуемото съотношение SNR нараства с няколко децибела.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] W. Fischer, Digital Video and Audio Broadcast Technology, Signals and Communication Technology, 3rd ed., ISBN 978-3-642-11611-7, 2010.
- [2] В. П. Дворкович, А.В. Дворкович. Метро-логическое обеспечение видеинформационных систем. Техносфера, Москва, 2015.
- [3] ETSI EN 300 744 V1.6.1 Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television
- [4] www.televue.com
- [5] www.kvarta.net
- [6] "Using the Communications Blocksets", MATLAB Help.