

*Dimitar G. Chobanov,*

## **ASK DISCRETE SINE TRANSFORM BASED ORTHOGONAL FREQUENCY – DIVISION MULTIPLEXING**

**Dimitar G. Chobanov**

*Department of Communication Networks and System Faculty of Artillery, Air Defence and CIS  
National Military University "Vasil Levski", Shumen, Bulgaria, chobanov.d@abv.bg*

**Abstract:** *Coherent ASK modulation is proposed for use in discrete sine transform (DST) based orthogonal frequency – division multiplexing (OFDM) systems. The frequency separation between sub-carriers is only  $1/2T$  instead of  $1/T$ . With a slightly wider bandwidth, an ASK – DST – OFDM can achieve the same bit – error rate (BER) of ASK – DFT – OFDM and allows using approximately twice more subcarriers.*

**Keywords:** *Orthogonal Frequency – Division Multiplexing, Discrete Sine Transform, OFDM, DST, ASK*

## **СИСТЕМА С ОРТОГОНАЛНО ЧЕСТОТНО РАЗДЕЛЯНЕ И МУЛТИПЛЕКСИРАНЕ БАЗИРАНА НА ДИСКРЕТНО СИНУСОВО ПРЕОБРАЗУВАНЕ И М–КРАТНА ASK МОДУЛАЦИЯ НА ПОДНОСЕЩИТЕ**

**Димитър Г. Чобанов**

*Национален военен университет „В. Левски“, Факултет „А, ПВО и КИС“  
Шумен, България, chobanov.d@abv.bg*

### **Въведение**

Минималното честотно отстояние между подносещите в система с ортогонално честотно разделяне и мултиплексиране (OFDM) базирана на дискретно преобразование на Фурие (DFT) е  $\frac{1}{T}$ , при продължителност на OFDM символа  $T$ . С въвеждане на ограничението подносещите да се различават само по честота и амплитуда минималното честотно отстояние може да се сведе до  $\frac{1}{2T}$ . В този случай OFDM символът може да бъде генериран с помощта на обратно дискретно синусово преобразование (DST) и демодулиран чрез дискретно синусово преобразование (IDST).

В доклада е предложен вариант на OFDM система базирана на дискретно синусово преобразование и М – кратна ASK модулация на подносещите (ASK – DST – OFDM).

## Изложение

ASK – DST – OFDM

Дефинираме ASK - OFDM сигнала като:

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} A_k \sin 2\pi \frac{k}{2T} t \quad (1)$$

където  $A_k$  е амплитудата на съответната подносеща и  $N$  е броят на подносещите.

При  $M$  – кратна ASK модулация на подносещите символите се представят с различни амплитуди. Ако максималната разрешена амплитуда е  $A$  то всички възможни амплитуди са в диапазона  $[-A, A]$ . Амплитудите се изчисляват съгласно формула 2.

$$A_m = \frac{2A}{M-1} m - A, \quad m = 0, 1, \dots, M-1 \quad (2)$$

Разликата между нивата се изчислява по формула 3.

$$\Delta = \frac{2M}{M-1} \quad (3)$$

Честотата на подносеща с индекс  $k$  е  $f_k = \frac{k}{2T}$ , като  $k$  са последователни цели числа. Честотното отстояние е  $\frac{1}{2T}$ . Взаимната ортогоналност между подносещите лесно може да се провери чрез извършване на интегрирането:

$$\int_0^T A_i \sin 2\pi \frac{i}{2T} t A_j \sin 2\pi \frac{j}{2T} t dt = 0 \quad i \neq j$$

На фигура 1 са изобразени енергийните спектри на подносещите на три – канална ASK – DFT – OFDM система с честотно отстояние  $\frac{1}{T}$  и три – канална ASK – DST – OFDM система с честотно отстояние  $\frac{1}{2T}$ .

От фигура 1 е видно, че заеманата честотна лента определена по критерият "nul – nul bandwidth"  $\Delta F$  е:

$$\Delta F_{ASK-DFT-OFDM} = \frac{N+1}{T} \quad (4)$$

и

$$\Delta F_{ASK-DST-OFDM} = \frac{N+3}{2T} \quad (5)$$

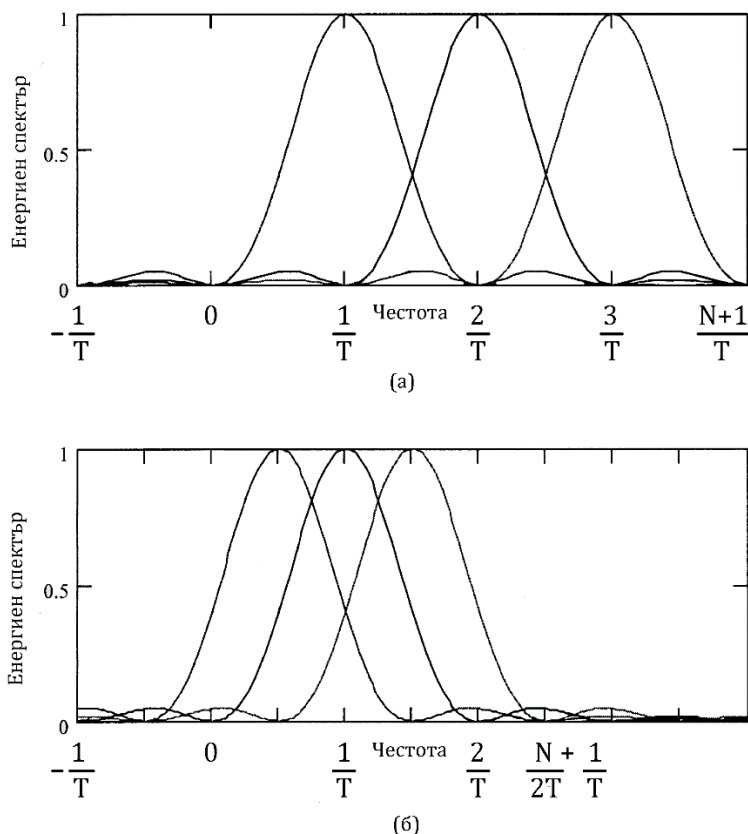
При  $N$  подносещи в ASK – DFT – OFDM система с честотно отстояние  $\frac{1}{T}$  и  $M$  подносещи в ASK – DST – OFDM система с честотно отстояние  $\frac{1}{2T}$ , в една съща честотна лента е в сила равенството:

$$\frac{N+1}{T} = \frac{M+3}{2T} \quad (6)$$

От (6) следва:

$$M = 2N - 1 \quad (7)$$

От (7) следва, че в една и съща честотна лента, ASK – DST – OFDM система с честотно отстояние между подносещите  $\frac{1}{2T}$  позволява ползването на приблизително два пъти по – голям брой подносещи в сравнение с ASK – DFT – OFDM система с честотно отстояние  $\frac{1}{T}$ .



**Фигура 1:** Енергиен спектър на подносещи на OFDM система.  
(а) честотно отстояние  $\frac{1}{T}$ ; (б) честотно отстояние  $\frac{1}{2T}$

### Вероятност за битова грешка (BER)

Теоретичната вероятност за битова грешка е анализирана при следните ограничения:

- На входа постъпва информационен поток  $x(i)$  представляващ поредица от некорелирани реализации на дискретната случайна величина с равномерен закон на разпределение и дефиниционно множество
- Предаването се извършва през канал с адитивен бял Гаусов шум (AWGN)
- Приемането е кохерентно

При посочените ограничения теоретичната вероятност за битова грешка в ASK – DST – OFDM система с честотно отстояние  $\frac{1}{2T}$  е:

$$BER_{ASK-DST-OFDM} = \frac{M - 1}{M \log_2 M} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{M^2 - 1 N_0}} \quad (8)$$

Полученият резултат напълно съвпада с вероятността за битова грешка в ASK – DFT – OFDM.

### Дигитална имплементация

ASK – DFT – OFDM система може да бъде приложена с използването на обратно дискретно преобразование на Фурие (IDFT). В предложената ASK – DST – OFDM система обратното преобразование на Фурие е неприложимо заради честотното отстояние между подносещите, което е  $\frac{1}{2T}$  вместо  $\frac{1}{T}$ .

В ASK – OFDM система с честотно отстояние  $\frac{1}{T}$  е приложимо дискретно синусово преобразование (DST). DST се дефинира като [4]:

$$x_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \sin \frac{\pi nk}{N}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \text{ и } x_n \equiv 0 \quad (9)$$

Съответно обратното дискретно синусово преобразование (IDST) е:

$$x_n = \sum_{k=0}^{N-1} x_k \sin \frac{\pi nk}{N}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (10)$$

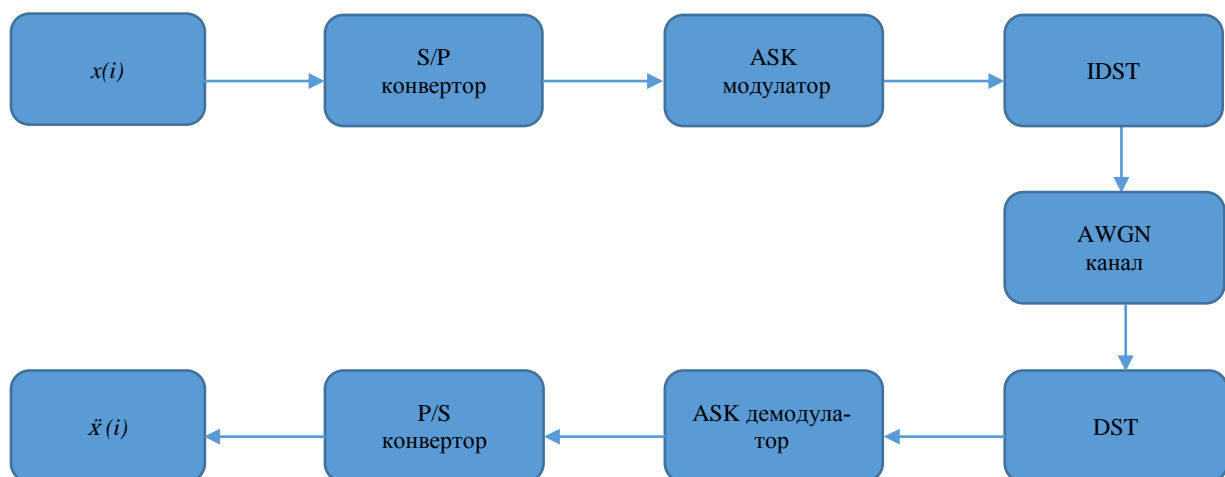
След заместване в (1) на  $t$  с  $n\Delta t$  и  $T$  с  $N\Delta t$ , където  $\Delta t$  е интервал на дискретизация, дискретният във времето ASK – DST – OFDM сигнала е:

$$s_n = \sum_{k=0}^{N-1} A_k \sin \frac{\pi nk}{N} \quad (11)$$

Така ASK – DST – OFDM сигналът може да бъде генериран чрез обратно дискретно синусово преобразование и демодулиран чрез дискретно синусово преобразование. Изрази (9), (10) и (2) дефинират OFDM система базирана на дискретно синусово преобразование с  $M$  – кратна ASK модулация на подносещите (ASK – DST – OFDM).

### Блокова схема на ASK – DST – OFDM система

Блоковата схема на ASK – OFDM базирана на дискретно синусово преобразование е представена на фигура 2.

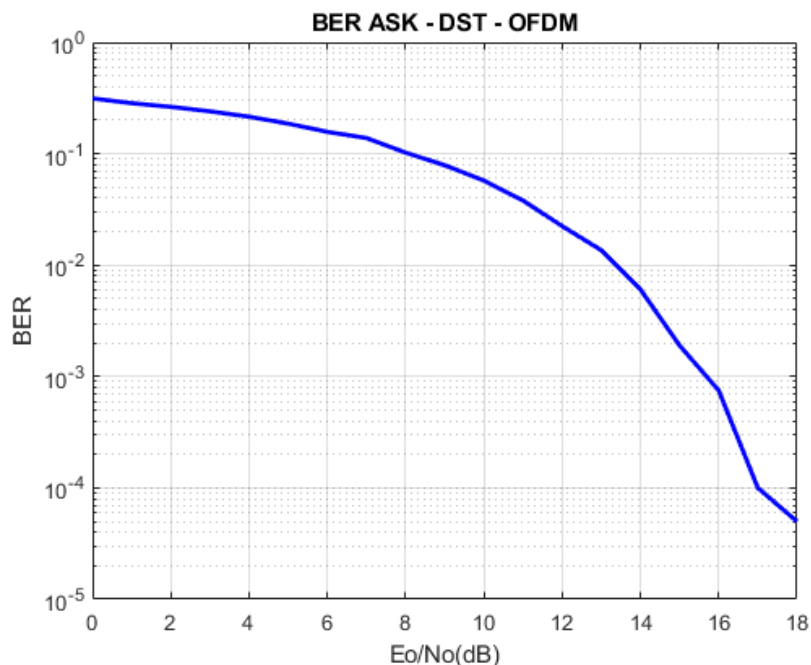


Фигура 2: Блокова схема на ASK – DST – OFDM система

Последователно – паралелният конвертор (S/P) акумулира серийната последователност от входни данни в блок от данни с размерност  $N$ .  $N$  – размерните потоци от данни се модулират съгласно (1) в ASK модулаторът. Блокът за обратно дискретно синусово преобразование (IDST) синтезира ASK – DST – OFDM сигналът. След преминаване през AWGN канала сместа ASK –

DST – OFDM сигнал и бял Гаусов шум постъпва в кохерентната приемната част (ASK демодулятор, P/S ковертор), в която се извършват обратните операции за демодулиране на ASK – DST – OFDM сигнала.

Въз основа на така описаната блокова схема на ASK – DST – OFDM система е извършена симулация в MATLAB. Резултатите от симулацията са представени на фиг. 3.



Фигура 3: Вероятност за битова грешка в ASK – DST – OFDM система

## Заклучение

В доклада е изследвана кохерентна система с ортогонално честотно разделяне и мултиплексиране и ASK модулация на подносещите, базирана на дискретно синусово преобразование. Честотното отстояние между подносещите е  $\frac{1}{2T}$ . Резултатите от направеното изследване сочат, че в една и съща честотна лента, при едни и същи качествени показатели (битова вероятност за грешка) предложената ASK – DST – OFDM система позволява ползването на приблизително два – пъти повече подносещи.

Трябва да се подчертае, че анализът и резултатите в това изследване се отнасят за AWGN канали. Очаква се предложената ASK – DST – OFDM система да влоши качествените си показатели в условията на предаване в канали със затихване, многолъчеви канали и пр., обект на бъдещи изследвания.

## References

1. Proakis John G. Digital Communications McGrawHill, 4th edition, 2000
2. F. Xiong, Digital Modulation Techniques. Boston, MA: Artech House, 2000.
3. Press William H., Teukolsky Saul A., Vetterling William T., Flannery Brian P. NUMERICAL RECIPES: The Art of Scientific Computing, Copyright (C) 1986-1992 by Cambridge University Press.
4. Ахмед Н., Рао К. Р. Ортогоналные преобразования при обработке цифровых сигналов. Пер. с англ. - М.: Связь, 1980.