УДК 621.391
ГРНТИ 49.03

# СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ МОЩНОСТИ СИГНАЛОВ С *M*-ИЧНОЙ ЧАСТОТНОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ ПРИ ЦЕЛОМ ЗНАЧЕНИИ ИНДЕКСА МОДУЛЯЦИИ

***Приходько Андрей Иванович***
*д-р техн. наук, профессор кафедры оптоэлектроники*
***Ромащенко Анастасия Александровна***
*магистрант кафедры оптоэлектроники*
*Кубанский государственный университет, г. Краснодар*

**АННОТАЦИЯ**

Получено выражение для спектральной плотности мощности сигналов с *M*-ичной частотной манипуляцией при целом значении индекса модуляции

**ABSTRACT**

The expression for power spectral density of *M*-ary frequency shift keying signals with integer modulation index is obtained.

**Ключевые слова:** частотная манипуляция, индекс модуляции, спектральная плотность мощности, преобразование Фурье,

**Keywords:** frequency shift keying, modulation index, power spectral density, Fourier transform. Equation Section 1

Сигнал с *M*-ичной частотной манипуляцией (МЧМ) на интервале времени $0 \le t \le T$ определяется выражением

$$u_i(t) = U_0\, cos(\,\omega_i t + \varphi_0), \qquad (1)$$

где $U_0$, и $\varphi_0$ – амплитуда и мгновенная начальная фаза сигнала соответственно; $T$ – длительность элемента сигнала;

$$\omega_i = \omega_0 + \alpha_i \omega_d \qquad (2)$$

– мгновенная частота сигнала, соответствующая передаче комбинации $\boldsymbol{\beta}_i = (\beta_{i1}\beta_{i2} \dots \beta_{im})$ из $m = log_2 M$ информационных двоичных символов; $M = 2^m$ при $m$ = 1, 2, …; $\omega_0$ и $\omega_d$ – средняя (несущая) частота и девиация частоты соответственно;

$$\alpha_i = 2i - (M + 1) \qquad (3)$$

– величина *M*-ичного символа, отвечающая комбинации $\boldsymbol{\beta}_i$ при $i$ = 1, 2, …, *M*;

Девиация частоты $\omega_d$ связана с разносом частот

$$\Delta\omega = |\omega_i - \omega_{i+1}|,\ i = 1, 2, \dots, M - 1 \qquad (4)$$

равенством

$$\omega_d = \frac{\Delta\omega}{2}, \qquad (5)$$

а индекс модуляции задается формулой

$$\beta = \frac{\omega_d}{\pi} T. \qquad (6)$$

На бесконечном интервале времени сигнал с МЧМ имеет вид

$$u_{\text{ЧМ}}(t) = U_0\, cos\left[\omega_0 t + 2\pi\beta \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \int_{-\infty}^{t} g_f(t - kT)dt + \varphi_0\right], \qquad (7)$$

где $a_k$ – символы кодирующей последовательности $\{a_k\}$, при $i$ = 1, 2, …, *M* принимающие значения (3);

$$g_f(t) = \begin{cases} \frac{1}{2T} \text{при } 0 \le t \le T, \\ 0 \text{при } t < 0, t > T \end{cases} \qquad (8)$$

– прямоугольный частотный импульс, отражающий закон изменения частоты сигнала при изменении символа $a_k$ и удовлетворяющий условию нормировки $\int_{-\infty}^{\infty} g_f(t)dt = \frac{1}{2}$.

Манипулирующий сигнал с многоуровневой импульсной модуляцией

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k g(t - kT),$$

где

$$g(t) = \begin{cases} 1 \text{ при } 0 \le t \le T, \\ 0 \text{ при } t < 0, t > T \end{cases}$$

прямоугольный видеоимпульс с единичной амплитудой и длительностью $T$ и МЧМ сигнал (7), (8) при *M* = 4 и β = 1 показаны на рис. 1.

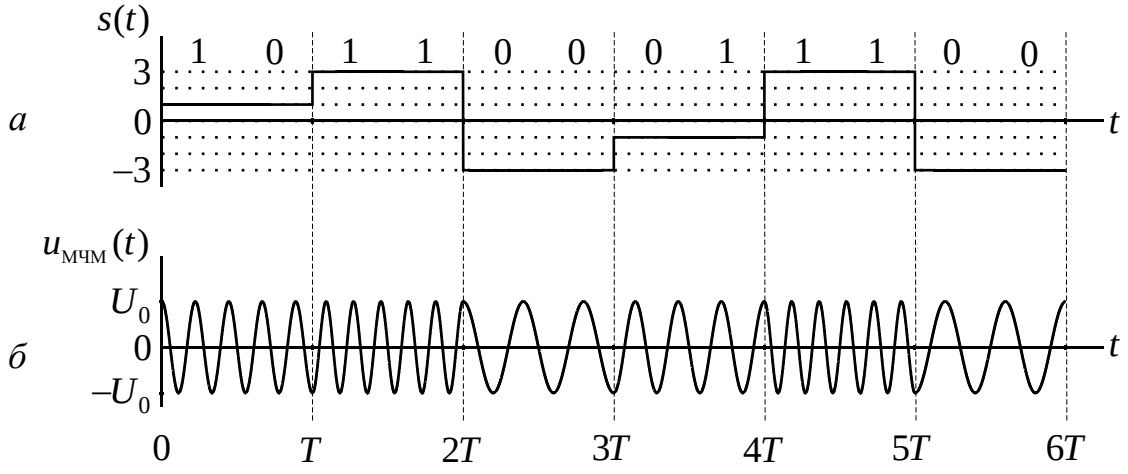


*Рис. 1. Манипулирующий сигнал (а), МЧМ сигнал (б) при M = 4 и β = 1*

В предположении, что манипулирующая последовательность $\{a_k\}$ представляет собой стационарную в широком смысле последовательность равновероятных некоррелированных символов с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией, а мгновенная начальная фаза $\varphi_0$ сигнала (7) представляет собой не зависящую от последовательности$\{a_k\}$ случайную величину с равномерной плотностью распределения вероятностей

$$f(\varphi_0) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi} \text{при } |\varphi_0| \le \pi, \\ 0 \text{при } |\varphi_0| > \pi, \end{cases}$$

в [2] получено следующее выражение для спектральной плотности мощности (СПМ) сигнала с МЧМ:

$$R^{+}_{\text{МЧМ}}(f) = \frac{U_0^2 T}{2M}\left[\sum_{i=1}^{M} S_i^2(f) + \frac{2}{M}\sum_{i=1}^{M}\sum_{k=1}^{M} C_{ik}(f) S_i(f) S_k(f)\right], \quad (9)$$

где

$$S_i(f) = \frac{\sin \pi[(f-f_0)T-(2i-1-M)\beta/2]}{\pi[(f-f_0)T-(2i-1-M)\beta/2]}; \quad (10)$$

$$C_{ik}(f) = \frac{\cos[2\pi(f-f_0)T-\nu_{ik}]-\gamma \cos \nu_{ik}}{1+\gamma^2-2\gamma \cos 2\pi(f-f_0)T}; \quad (11)$$

$$\nu_{ik} = \pi\beta(i+k-1-M); \quad (12)$$

$$\gamma = \frac{\sin M\pi\beta}{M \sin \pi\beta}. \quad (13)$$

В [1–4] указано, что определяемая формулами (9)–(13) односторонняя СПМ сигнала с МЧМ при дробных значениях индекса модуляции непрерывна, а при целых β – содержит дискретные составляющие (дельта-функции) на частотах (2). Однако содержащее дельта-функции явное выражение для СПМ в этом важном частном случае в [1–4] не приводится. Возможно, именно поэтому в [1, 3] отсутствуют графики СПМ сигналов с МЧМ при целых значениями индекса модуляции β.

Известно [1, 3], что при *M*-ичной манипуляции без памяти, когда элементы $u_i(t)$ манипулированного сигнала $u(t) = Re[\dot{v}(t)\, exp(j\omega_0 t)]$ передаются с вероятностями $p_i$ при $i = 1, 2, \ldots, M$, СПМ его комплексной огибающей $\dot{v}(t)$ задается формулой

$$R_{\dot{v}}(f) = \frac{1}{T^2}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\left|\sum_{i=1}^{M} p_i \dot{V}_i(n/T)\right|^2 \delta(f-n/T) + \\ + \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{M} p_i(1-p_i)\left|\dot{V}_i(f)\right|^2 - \frac{2}{T}\sum_{\substack{i=1 \\ i<k}}^{M}\sum_{k=1}^{M} p_i p_k\, Re\left[\dot{V}_i(f)\dot{V}_k^*(f)\right], \quad (14)$$

где $\dot{V}_i(f)$ – спектр комплексной огибающей $\dot{v}_i(t)$ элемента $u_i(t)$.

Комплексная огибающая сигнала (1) в соответствии с (6), (3), (2) имеет вид

$$\dot{v}_i(t) = U_0\, exp[j(\alpha_i \omega_d t + \varphi_0)],\ 0 \le t \le T$$

или

$$\dot{v}_i(t) = U_0\, exp[j\pi(2i-1-M)\beta t/T + j\varphi_0],\ 0 \le t \le T. \quad (15)$$

Вычисляя преобразование Фурье сигнала (15), получаем, что спектральная плотность комплексной огибающей $\dot{v}(t)$ составляет

$$\dot{V}_i(f) = U_0 T \frac{\sin \pi\,[fT-(2i-1-M)\beta/2]}{\pi[fT-(2i-1-M)\beta/2]} \times$$
$$\times\, exp\{-j\pi[fT-(2i-1-M)\beta/2] + j\varphi_0\}. \quad (16)$$

При постоянной величине мгновенной начальной фазы $\varphi_0$ и целых значениях индекса модуляции β элементы (1) образуют когерентную последовательность МЧМ сигналов с непрерывной фазой и без памяти. Подставляя (16) в (14) и полагая $p_i = 1/M$, $i$ = 1, 2, …, $M$, получаем формулу для СПМ $R_{\dot{v}}(f)$ комплексной огибающей $\dot{v}(t)$, которая с учетом соотношения [4] $R^{+}_{\text{МЧМ}}(f) = \frac{1}{2}R_{\dot{v}}(f-f_0)$ приводит к следующему выражению для односторонней СПМ сигнала с МЧМ при целых значениях β:

$$R^{+}_{\text{МЧМ}}(f) = \frac{U_0^2}{2M^2}\sum_{i=1}^{M}\delta[f-f_0-(2i-1-M)\beta/(2T)] +$$
$$+\frac{U_0^2 T}{2M^2}(M-1)\sum_{i=1}^{M}S_i^2(f) -$$
$$-\frac{U_0^2 T}{M^2}\sum_{\substack{i=1\\ i<k}}^{M}\sum_{k=1}^{M}S_i(f)S_k(f)\cos[(i-k)\pi\beta], \quad (17)$$

где $S_i(f)$ задается равенством (10).

При $M$ = 2 и β = 1 формула (17) с учетом (10) сводится к известному выражению для СПМ сигнала с двоичной частотной манипуляцией Сунде [4].

Построенные по формулам (9)–(13) и (17) графики нормированных (безразмерных) односторонних СПМ сигнала с МЧМ при $M$ = 4 и различных значениях β показаны на рис. 2. Расчеты показывают, что при целых значениях β непрерывные части СПМ, рассчитанные по известным формулам (9)–(13) и предложенной формуле (17) совпадают.

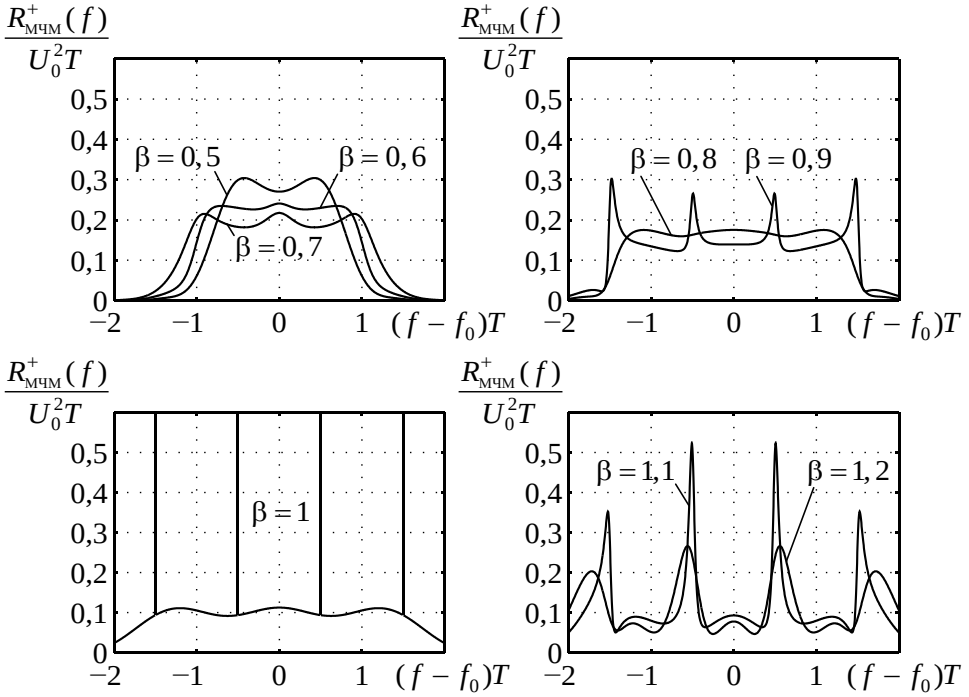


*Рис. 2. Односторонние СПМ сигнала с МЧМ при M = 4 и различных β*

**Список литературы**

1. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. [Proakis J.G. Digital Communications. 3rd ed., New York: McGraw-Hill, 1995.]

2. Anderson R.R., Salz J. Spectra of digital FM // Bell System Technical Journal. Vol. 44. № 6. 1965. P. 1165–1189.

3. Proakis J.G., Salehi M. Digital Communications. 5th ed., New York: McGraw-Hill, 2008.

4. Xiong F. Digital Modulation Techniques. 2nd Ed. – Norwood: Artech House, 2006.

УДК 51-74
ГРНТИ 44.01.77

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ПУТЕМ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

***Свинцов Григорий Викторович,***
*магистрант кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»,*
*АСА СамГТУ, Россия, г. Самара.*
***Гаврилова Анна Александровна,***
*кандидат технических наук,*
*доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»,*
*АСА СамГТУ, Россия, г. Самара.*

# EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE HEATING BOILER BY BUILDING A MATHEMATICAL MODEL

***Svintsov Grigory Viktorovich,***
*Master student of the Department "Heat and Gas Supply and Ventilation",*
*ASA SamGTU, Russia, Samara.*
***Gavrilova Anna Alexandrovna,***
*Candidate of Technical Sciences,*
*Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation,*
*\ASA SamGTU, Russia, Samara.*

**АННОТАЦИЯ**

Статья описывает построение математической модели в виде производственной функции, идентифицированной методом наименьших квадратов. Проведен регрессионный анализ полученной модели. Определена эффективность использования электроэнергии на собственные нужды, удельного расхода топлива на единицу выработанной готовой продукции, а также выходного параметра в виде полезного отпуска тепловой энергии. В работе приведены комплексные критерии оценки работы отопительной котельной. По результатам исследования предложены мероприятия, повышающие эффективность использования ресурсов.

**ANNOTATION**

The article describes the construction of a mathematical model in the form of a production function identified by the least squares method. A regression analysis of the resulting model was carried out. The efficiency of using electricity for own needs, specific fuel consumption per unit of finished products, as well as the output parameter in the form of useful supply of thermal energy is determined. The paper provides comprehensive criteria for evaluating the operation of a heating boiler. Based on the results of the study, measures are proposed that increase the efficiency of resource use.

**Ключевые слова**: отопительная котельная, эффективность, энергетические ресурсы, производственная функция, адекватность модели, системный анализ.

**Key words**: heating boiler room, efficiency, energy resources, production function, model adequacy, system analysis.

Существенной проблемой на рынке тепловой энергии на сегодняшний день является отсутствие либо недостаточность инвестирования средств со стороны государства или частных инвесторов. Для повышения привлекательности инвестирования средств необходимо обеспечить функционирование основного и вспомогательного оборудования в номинальном режиме.

Рациональное использование потребляемых ресурсов энергетическим предприятием является главным фактором, увеличивающим эффективность производства конечной продукций. Решить данную задачу возможно путем оценки комплексной эффективности производства на основе построения математической модели [1,2].

Сначала проведем статистический анализ данных о работе предприятия. Для этого рассмотрим изменение двух входных параметров, влияющих на производство тепловой энергии. Первый – удельный расход топлива на единицу отпущенной продукции. Значения в статье указаны в приведенном виде к максимуму.

Показатели удельного расхода топлива имеют максимальные значения в октябре, апреле и ноябре