

МОДЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ТОЧКИ

Красильников В.В.¹, Тоискин В.С.¹

¹ГБОУ ВО «Ставропольский государственный педагогический институт», Ставрополь, Россия (г. Ставрополь, ул. Ленина, 417а), e-mail: mail@sspi.ru

Предложена модель взаимодействия измерительных устройств с биологически активной точкой на основе следующих гипотез: биологически активная точка является дискретной M-ичной системой передачи информации с ограниченным алфавитом источника с нелинейными амплитудно-амплитудной и амплитудно-фазовой характеристиками. В соответствии с теоремой Винера модель может быть представлена в виде последовательного соединения безынерционной нелинейной и инерционной линейной частей. Методами теории нелинейных взаимодействий описана «тонкая» структура процесса на выходе измерительного устройства, которая позволила определить не только статистические и энергетические характеристики сигналов и помех, но и коэффициент взаимной корреляции между ними. В работе определен вид амплитудной характеристики измерительного устройства, обеспечивающего максимальное значение коэффициента взаимного различия между сигналами и интермодуляционными продуктами.

Ключевые слова: биологически активная точка, модель, интермодуляционные продукты, коэффициент взаимного различия, амплитудная характеристика.

MEASURING DEVICE MODEL ACCUPRESSURE POINTS

Krasilnikov V.V.¹, Toiskin V.S.¹

¹State-budget educational institution of higher professional education «Stavropol State Pedagogical Institute», Stavropol, Russia (Stavropol, Lenin street, 417a), e-mail: mail@sspi.ru

A model of interaction measuring devices with acupressure points on the basis of the following hypotheses: a biologically active point is a discrete M-ary transmission system with limited information source alphabet with non-linear amplitude-amplitude and amplitude-phase characteristics. In accordance with the Theorem of Wiener model it can be represented as a series connection of a fast-response linear inertial and nonlinear parts. The methods of the theory of nonlinear interactions described "thin" structure of the output of the measuring device, which allowed us to determine not only the statistical and energy characteristics of signals and noise, but also cross-correlation coefficient between them. In view of the determined amplitude of the measuring device, which provides the maximum value of the coefficient of mutual differences between the signals and the intermodulation products.

Keywords: biologically active point model, intermodulation products, the coefficient of mutual differences, amplitude characteristic.

Наиболее важным этапом при оценке эффективности воздействия на биологически активные точки (БАТ) является выбор математических моделей ее основных элементов и сигналов, циркулирующих в системе, так как они осуществляют взаимосвязь между системой, в которой будут использоваться результаты, и областями математических абстракций, в которых эти результаты получены. Эффективность применения полученных результатов будет существенным образом зависеть от достоверности, с которой математические модели описывают реальную ситуацию. В большинстве практических случаев построение точной модели представляет серьезные трудности и приводит к значительному ее усложнению. С другой стороны, необоснованное упрощение математической модели может привести к значительным погрешностям в оценке

эффективности разработанных на ее основе модели БАТ.

Задачей исследования является повышение диагностической эффективности проведения измерений с использованием биологически активных точек.

В настоящее время разработаны ряд моделей БАТ, позволяющих провести анализ и синтез существующих и разрабатываемых устройств и приборов, воздействующих с заданными требованиями на БАТ без потери основных эффектов, имеющих место в реальной ситуации с учетом нелинейности тракта распространения волн [7, 4]. Анализ этих моделей с учетом особенностей энергетических функций кожи позволяет ввести в математические модели измерения электрических параметров сигналов ряд допущений, упрощающих оценку эффективности энергоинформационной системы человека.

К ним можно отнести:

1. Энергоинформационная система человека является дискретной M-ичной системой передачи информации с ограниченным алфавитом источника.
2. Процесс на входе БАТ является узкополосным.
3. Основным элементом энергоинформационной системы человека, вносящим амплитудные и фазовые искажения является БАТ, амплитудно-амплитудная и амплитудно-фазовая, характеристики которой в соответствии с выбранной методикой анализа описывается нелинейной характеристикой.
4. Амплитудные и фазовые характеристики БАТ в полосе частот, занимаемых входным процессом инвариантны к временным и частотным изменениям.
5. БАТ как нелинейный элемент может быть представлена в соответствии с теоремой Винера в виде последовательного соединения безынерционной нелинейной и инерционной линейной частей.
6. В энергоинформационной системе человека наряду с полезными воздействиями на БАТ и мешающими воздействиями присутствует нормальный белый шум.
7. Сигналы и помехи при распространении в БАТ не подвержены значительным флюктуациям, и на интервале оценки параметров сигнала их амплитуды можно считать постоянными.

Введенные допущения позволяют наложить ряд ограничений на математическую модель нелинейных взаимодействий, происходящих в БАТ, к которым можно отнести:

1. С целью анализа влияния электропунктурной диагностики собственно нелинейных эффектов БАТ будем рассматривать как безынерционный нелинейный элемент, полностью характеризующийся мгновенными передаточными характеристиками, измеренными в односигнальном режиме.

2. Сигналы и помехи могут быть представлены квазигармоническими процессами с равномерными законами распределения начальных фаз. Преимущество такого представления заключается в том, что при анализе учитываются не только статистические характеристики параметров сигнала, но и его конкретный вид.

С учетом введенных допущений модель исследуемой системы может быть представлена в следующем виде (рисунок 1)

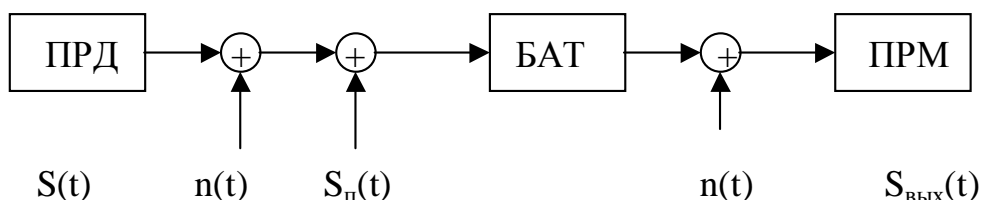


Рис. 1. Модель воздействия на биологически активную точку

ПРД – передающая часть прибора для электропунктуры;

ПРМ – приемная часть прибора для электропунктуры;

БАТ – биологически активная точка, описываемая нелинейной амплитудной характеристикой вида $g(u)$;

$S(t)$ – входной сигнал;

$n(t)$ – белый шум;

$S_{п}(t)$ – мешающее воздействие

$S_{вых}(t)$ – выходной сигнал.

В соответствии с [6] сигнал на выходе системы может быть записан в виде

$$X(t, \tau, \psi, M, L) = \sum_{k=1}^l \mu'_k S'_k(t, \tau', \psi') + \sum_{k=l}^L \mu''_k S''_k(t, \tau'', \psi'') + n(t) \quad (1)$$

$S'_k(\cdot), S''_k(\cdot)$ – соответственно k -тые полезное и мешающее воздействия, представляющие собой интегрируемые в квадрате функции;

μ'_k, μ''_k – коэффициенты передачи k -тых сигнала и помехи;

$\tau', \tau'', \psi', \psi''$ – соответственно задержки и текущие фазы k -того сигнала (помехи)

относительно времени прихода и фазы измеряемого сигнала;

$n(t)$ – нормальный белый шум с нулевым математическим ожиданием и спектральной плотностью N_0 .

С учетом введенных допущений процесс на выходе БАТ полностью определяется огибающей входного процесса (1) и амплитудно-амплитудной и амплитудно-фазовой характеристиками БАТ и может быть записан в виде:

$$Y(t, \tau, \psi) = \int_c g(ju) \exp\{juz(t, \tau, \psi) \exp(\psi) du \quad (2)$$

где $z(\bullet)$ – огибающая входного процесса;

ψ – фаза входного процесса.

Выражения (1) и (2) позволяют анализировать не только результирующее воздействие входного сигнала, но и тонкую структуру выходного процесса с определением амплитудных и фазовых характеристик каждой из его составляющих [2,3,5,6].

С учетом (1) входной сигнал может быть представлен в виде:

$$X(t, \tau, \psi, M, L) = \sum_{k=1}^L \mu'_k S'_k \cos(\omega'(t - \tau') + \psi') + \sum_{k=1}^L \mu''_k S''_k \cos(\omega''(t - \tau'') + \psi'') + n(t) \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2) получим:

$$Y(t, \tau, \psi) = \operatorname{Re} \sum_{k_1} \sum_{k_2} j^{k_1+k_2} \exp\{j(k_1+k_2)\omega(t-\tau)\} \cdot \exp\{j[k_1 f(z_1) + k_2 f(A(t))]\} \cdot \exp\{j[k \cdot \operatorname{arctg}(X_s / X_c) + k_2 \cdot \theta]\} \cdot \int_c g(ju) \cdot J_{k_1}(uz_1) \cdot J_{k_2}(uA(t)) du \quad (4)$$

где $A(t), \theta(t)$ – огибающая и фаза нормального белого шума;

X_s, X_c – синфазная и квадратурная составляющие входного процесса;

$J_k()$ – функция Бесселя.

Выражение (4) определяет выходной процесс через огибающие и фазы входных сигналов, помех и входного шума. Данное выражение является удобным для определения статистических характеристик выходного процесса, необходимых для оценки методов акупунктуры, однако не позволяет анализировать тонкую структуру отдельных компонент выходного процесса, что может привести к значительным ошибкам при анализе полученных результатов.

Для определения тонкой структуры выходного процесса воспользуемся «теоремой сложения» для Бесселевых функций [1], которая применительно к (4) имеет вид:

$$\exp\{jk_1 \operatorname{arctg} X_s / X_c\} \cdot J_{k_1}(u \sqrt{X_s^2 + X_c^2}) = \sum_{k_1} \dots \sum_{k_l} J_{k_1}(uA_1) \cdot \prod_{l=2}^L J_{k_1+k_l}(u) \cdot \exp\{j \sum_{l=1}^L k_l \cdot \psi_l(t, \tau_l)\} \quad (5)$$

Выражение (5) совпадает с выражением, определяющим тонкую структуру процесса на выходе нелинейного элемента, полученного в [5], что показывает правомерность использования «теоремы сложения».

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к приборам измерения параметров БАТ, в качестве показателя эффективности будем использовать полную среднюю вероятность ошибочной регистрации, которая с учетом введенных ограничений для 1-го сигнала будет определяться выражением:

$$P_{ошр} = \frac{1}{2} \int_{G(x)} W(X_l, \bar{X}) \cdot [p(X_l \in \frac{A_1}{X}) + p(X_l \in \frac{A_2}{X})] dX_l d\bar{X} \quad (6)$$

$G(x)$ – область изменения параметров входного процесса;

$W(X_l, \bar{X})$ – совместная плотность вероятности параметров выходного процесса;

$p(X_l \in \frac{A_i}{X})$ – условная вероятность ошибки регистрации при постоянстве параметров сигнала.

В случае воздействия мешающих сигналов вероятность ошибочной регистрации зависит не только от статистических и энергетических характеристик параметров сигналов и помех, но и от коэффициента взаимной корреляции между ними, который может быть представлен в следующем виде:

$$\mu_{kl} = k [g_{kl} \cdot \frac{\exp\{j[\psi'_l(T) - \psi'_k(T)]\}}{[\psi'_l(T) - \psi'_k(T)]} \cdot f(\tau_l, \tau_k) \cdot \exp\{j[\psi_l(\tau_l) - \psi_k(\tau_k)]\}] \quad (7)$$

где

$$g_{kl} = \frac{A_l \cdot A_k}{A_c^2}, \psi'_l(T) = \frac{d\psi_l(t)}{dt} \Big|_{t=T}$$

Таким образом, для нахождения ошибки регистрации необходимо знание статистических характеристик и коэффициента взаимного различия выходного процесса.

Анализ (7) показывает, что величина коэффициента взаимного различия в существенной степени зависит от уровня интермодуляционных компонент, возникающих из-за нелинейности амплитудной характеристики БАТ. Уровень этих компонент зависит как от уровня входных сигналов, так и конкретного вида амплитудной и фазоамплитудной характеристик БАТ.

Оценим влияние вида амплитудной характеристики канала на величину коэффициента взаимного различия с целью определения вида амплитудной характеристики, при котором обеспечивается максимальное значение этого коэффициента.

В дальнейшем будем рассматривать лишь практически интересные случаи, для которых амплитудные характеристики каналов являются нечетными и при больших значениях аргумента стремятся к нулю.

В этом случае амплитуды сигналов на выходе БАТ преобразуется к виду:

$$A_{k_1 \dots k_L} = \int_c \int f(x) \cdot \sin ux \cdot \prod_{l=1}^L J_{k_l}(uA_l) \cdot \exp\{-0.5 \cdot u^2 \sigma^2\} du \quad (8)$$

где $f(x)$ – мгновенная амплитудная характеристика.

Воспользовавшись разложением функции Бесселя в степенной ряд [1] с учетом того, что в области первой гармоники $\sum k_l = 1$, получим

$$A_{k_1 \dots k_L} = \sum_{m_1 \dots m_L} \prod_{l=1}^L \frac{(A_l/2)^{2m_l+k_l}}{m_l!(k_l+m_l)!} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2(\sigma/\sqrt{2})^{2\sum m_l+2}} \cdot \int_0^\infty f(x) \cdot \exp\{-x^2/2\sigma^2\} \cdot H_{2\sum m_l+1}(x/\sqrt{2}\sigma) dx \quad (9)$$

где $H_n(z)$ – полиномы Эрмита.

Мгновенную амплитудную характеристику нелинейного элемента представим в виде:

$$f(x) = a \cdot x^\nu, a)0, \nu)0 \quad (10)$$

Тогда выражение (9) приводится к виду:

$$A_{k_1 \dots k_L} = c \cdot \frac{\Gamma(\nu/2+1/2)}{(1/2)^{0,5\nu} \cdot \Gamma(0,5-0,5\nu)} \cdot \sum_{n=0}^\infty \Gamma(0,5-0,5\nu+2n) \cdot 2^{-0,5\nu} \cdot [a_{2n} \cdot 2^{4n} \sum_{m_1 \dots m_L} b_{m_1 \dots m_L} - a_{2n+1} \cdot a^{2n+2} (0,5-0,5\nu+2n+1) \cdot \sum b_{m_1 \dots m_L}] \quad (11)$$

где

$$c = \Gamma(3/2),$$

$$a_n = \frac{\Gamma(0,5+n)}{(\sigma/\sqrt{2})^{2n+2} \cdot \Gamma(3/2+n)},$$

$$b_{m_1 \dots m_L} = \prod_{l=1}^L \frac{(A_l/2)^{2m_l+k_l}}{m_l!(m_l+k_l)!}.$$

Согласно [1] ряд (11) является сходящимся с положительными членами и, следовательно, наилучшим, с точки зрения получения максимального значения коэффициента взаимного различия, является нелинейный элемент, обеспечивающий максимальное значение n-го члена:

$$d_n = \Gamma(0,5-0,5\nu+2n) \cdot [a_{2n} \cdot 2^{4n} \sum_{m_1 \dots m_L} b_{m_1 \dots m_L} - a_{2n+1} \cdot 2^{2n+1} (0,5-0,5\nu+2n) \cdot \sum_{m_1 \dots m_L} b_{m_1 \dots m_L}] \quad (12)$$

Для нахождения максимального значения d_n необходимо решить уравнение:

$$\frac{d}{d\nu} d_n = 0 \quad (13)$$

Решение (13) связано со значительными трудностями из-за сложного характера a_n и $b_{m_1 \dots m_L}$, однако известно [3], что уровень интермодуляционных составляющих зависит от

количества взаимодействующих сигналов и будет наибольшим при двухсигнальном входном воздействии при прочих равных условиях, а в двухсигнальном режиме коэффициент взаимного различия будет определяться величиной A_{12} и будет наибольшим при равенстве входных сигналов. С учетом вышеизложенного, полагая в (13) $n=0$, получим уравнение для определения вида амплитудной характеристики:

$$a_1 \cdot \sum_{m1...ml} b_{m1...ml} = \psi(0,5 - 0,5v) \cdot [(0,5 - 0,5v) \cdot a_1 \cdot 2 \sum_{m1,m2} b_{m1,m2} - a_0 \sum_{m1,m2} b_{m1,m2}] \quad (14)$$

которое имеет решение при $v = 0$.

Следовательно, для обеспечения максимального значения коэффициента различия или иными словами, для обеспечения получения наилучших результатов, необходимо, чтобы сквозная характеристика измеряемой схемы, включающей БАТ, описывалась характеристикой идеального ограничителя. Дополнительный нелинейный элемент для обеспечения заданной сквозной характеристики может быть введен на вход приемного устройства.

Список литературы

1. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интервалов, сумм, рядов и произведений – М.: Наука, 1971
2. Дергачев Ю.А. Статистический анализ, нелинейных искажений в приемно-усилительных устройствах при полигармоническом входном воздействии – в кн.: Развитие и внедрение новой техники радиоприемных устройств: Всесоюзная научно-техническая конференция, М.: Радио и связь, 1981, с.119-120.
3. Корниенко С.А., Чипига А.Ф., Красильников В.В. Статистические характеристики процесса на выходе безынерционного нелинейного элемента, Самара, ФГУП СОНИИР. 2005
4. Лахно В.Д. Математическая клетка. Концепция построения математических моделей переноса заряда в живой клетке. – Вестник РУДН, Серия прикладная и компьютерная математика. Т2, №2. 2003. С 77-84.
5. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Под ред. Г.И. Тузова. - М.: Радио и связь, 1985. - 264 с
6. Рагульская М.В., Любимов В.В. Приборное изучение воздействий естественных магнитных полей на бат человека: методы, средства, результаты. – Журнал радиоэлектроники, № 11 , 2000.

7. Ризниченко Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии. -М., Изд. РХД, 2002.

Рецензенты:

Сербина Л.И., д.ф.-м.н., профессор кафедры математики и информатики ГБОУ ВО «Ставропольский государственный педагогический институт» Министерства образования и молодежной политики Ставропольского края, г. Ставрополь;

Тинькова Е.Л., д.б.н., доцент, зав. кафедрой биологии и экологии ГБОУ ВО «Ставропольский государственный педагогический институт» Министерства образования и молодежной политики Ставропольского края, г. Ставрополь.