УДК 621.396.67

Б.М. УВАРОВ, Ю.Ф. ЗИНЬКОВСКИЙ

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГИПЕРСЛУЧАЙНЫХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Анотація. *Розглянуті проблеми визначення показників функціонального призначення радіоелектронних засобів при проектуванні на основі теорії гіпервипадкових явищ. Запропоновані гіпервипадкові моделі фізичних процесів.*

Ключові слова: *теорія гіпервипадкових явищ, радіоелектронні засоби, функціональні характеристики.*

Аннотация. *Рассмотрены проблемы определения показателей функционального назначения радиоэлектронных средств при проектировании на основе теории гиперслучайных явлений. Предложены гиперслучайные модели физических процессов.*

Ключевые слова: *теория гиперслучайных явлений, радиоэлектронные средства, функциональные характеристики.*

Abstract. *The problems of definition of parameters of functional application of radio-electronic means are considered in the design based on theory of hyper-random phenomena. Hyper-random models of physical processes are received; the results of definition of hyper-random characteristics of electro-radio-elements are given.*

Keywords: *theory of hyper-random phenomena, radio-electronic means, functional characteristics.*

1. Введение

Проектирование устройств радиоэлектронной аппаратуры – радиоэлектронных средств (РЭС) – это создание математических и физических моделей будущего технического устройства, имеющего заданную функциональную характеристику, которая может быть представлена как функционал $\vec{\Phi} = \vec{\Phi}\left(\vec{Z}_1,...,\vec{Z}_n,...,\vec{Z}_u\right)$, где $\vec{Z}_n$ – векторы, характеризующие различные функции устройства. В качестве вектора-функции $\vec{Z} = \left[\vec{Z}_1,...,\vec{Z}_n,...,\vec{Z}_u\right]^{\mathrm{T}}$ (Т – оператор транспонирования) могут рассматриваться комплексные коэффициенты передачи, амплитудно-частотные и переходные характеристики электрических процессов, коэффициенты динамического усиления и передачи для механических колебательных процессов, тепловая постоянная времени блока РЭС (т.н. темп охлаждения) и пр. Функционал $\vec{\Phi}$ – комплексная характеристика свойств РЭС – совокупность показателей, которыми характеризуется возможность выполнения устройством своего функционального назначения.

Из всего множества существующих технологических объектов РЭС выделяются своей сложностью, многофункциональностью, множественностью условий эксплуатации, тиражируемостью – все эти особенности становятся особенно значимыми, если подойти к ним с позиций системного анализа, т.е. рассматривать любое РЭС как сложную систему, а физические процессы в нем – с позиций эффективной реализации функционального назначения.

С точки зрения системного похода, каждый технический объект – это открытая иерархическая система взаимодействующих составляющих – систем, функциональных узлов, элементов, объединенных общим функциональным назначением. Иерархическая структура присуща РЭС в значительно большей степени, чем многим другим техническим объектам.

Системный анализ выявляет уникальные особенности РЭС: сложность – функциональную, структурную, топологическую, конструктивную, технологическую; широкий диапазон условий эксплуатации; стойкость к воздействию многочисленных внешних дестабилизирующих факторов.

В процессе функционирования РЭС осуществляются процессы, меняющие их выходные характеристики и параметры. Эти характеристики и параметры можно описать вектором $\vec{Y} = \left[\vec{Y}_1,...,\vec{Y}_m,...,\vec{Y}_t\right]^{\mathrm{T}}$.

Компоненты вектора $\vec{Y}$ – это, например, выходные сигналы каналов видеотракта или звуковых частот, амплитуды колебаний блока РЭС на виброизоляторах, температура электрорадиоэлементов (ЭРЭ) на плате микросборки.

Элементы $\vec{Y}_m$ вектора $\vec{Y}$ меняются под воздействием:

– входных воздействий $\vec{X} = \left[\vec{X}_1,...,\vec{X}_i,...,\vec{X}_p\right]^{\mathrm{T}}$;

– внутренних процессов $\vec{P} = \left[\vec{P}_1,...,\vec{P}_j,...,\vec{P}_q\right]^T$;

– внешних воздействий $\vec{Q} = \left[\vec{Q}_1,...,\vec{Q}_k,...,\vec{Q}_s\right]^T$.

К числу входных воздействий $\vec{X}$ относятся различные электрические процессы (например, напряжения, подаваемые на вход), механические процессы (виброперемещения опорных точек печатной платы), тепловые процессы (процессы тепловыделения в ЭРЭ или функциональных узлах (ФУ)) и др.

Внутренние процессы $\vec{P}$ в РЭС можно разделить на две группы. Первую группу $\vec{P}_1$ составляют основные процессы, вторую $\vec{P}_2$ – процессы, вызываемые основными.

Процессы $\vec{P}_1$ – это усиление, генерация, передача и прием радио- и информационных сигналов; преобразование сигналов: цифро-аналоговое, аналого-цифровое, по частоте, фазе; отвод механической энергии от конструктивных модулей РЭС в виброизоляторах; возникновение механических напряжений в элементах конструкции при деформациях; тепломассоперенос и пр. Физические и математические модели этих процессов достаточно разработаны, а общие энергетические их затраты во всем РЭС составляют 10 – 25%.

Неидеальность процессов, составляющих первую группу (общая характеристика их несовершенства – коэффициент полезного действия $\eta < 1$), приводит к появлению процессов группы $\vec{P}_2$. К числу последних относятся: выделение тепла в резистивных пленках и переходных зонах диодов и транзисторов; обратный ток в них же; внутреннее рассеяние энергии в элементах конструкции; электролитические процессы в конденсаторах; временные изменения свойств конструкционных материалов, вызванные их старением. Энергетические затраты на процессы второй группы составляют 75 – 90% общих затрат во всем РЭС.

Заметим, что каждый из процессов, входящих в группу $\vec{P}_1$, может порождать несколько процессов группы $\vec{P}_2$. Модели процессов группы $\vec{P}_2$ в большинстве своем значительно сложнее моделей группы $\vec{P}_1$.

К числу внешних воздействий $\vec{Q}$ на РЭС можно отнести: электромагнитные и ядерные излучения окружающей среды (в том числе, вызываемые солнечной радиацией); линейные ускорения, вибрации и удары; климатические факторы и пр.

Состояние РЭС в процессе функционирования можно описать уравнением $\vec{Y} = \vec{Y}\left(\vec{X},\vec{P},\vec{Q}\right)$, выходные характеристики – уравнениями $\vec{Z} = \vec{Z}\left(\vec{Y}_1,...,\vec{Y}_t\right)$, а комплексную характеристику всего РЭС – функционалом $\vec{\Phi} = \vec{\Phi}\left(\vec{Z}_1,...,\vec{Z}_u\right)$.

Схема процессов в РЭС со сложной иерархической структурой представлена на рис. 1.

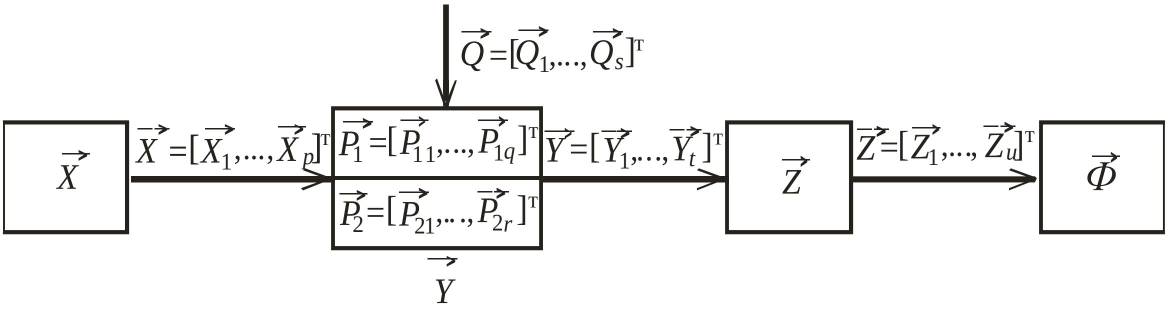

Рис. 1. Процессы в РЭС

Ряд экспериментальных исследований свидетельствуют о нарушениях статистической устойчивости физических явлений [1, 2]. Можно предположить, что и процессы, протекающие в РЭС, обладают этим свойством.

Физические события, величины, процессы и поля с учетом нарушений статистической устойчивости изучаются теорией гиперслучайных явлений. В рамках этой теории разработан эффективный математический аппарат адекватного описания реальных явлений гиперслучайными моделями [3].

Гиперслучайную величину X можно представить множеством случайных величин X/g: $X=\{X/g \in G\}$, причем для каждого из условий g, входящих в множество G, вероятностная мера не определена. Для описания гиперслучайной величины используют вероятностные характеристики условных случайных величин, в частности, функции распределения $F(x/G)=P\{X \le x/g\}$, где $P\{X \le x/g\}$ – вероятность выполнения неравенства $X \le x$ в условиях g, плотности вероятности $f(x/g)=\frac{dF(x/g)}{dx}$.

Гиперслучайная функция – множество случайных функций $X(t)/g : X(t)=\{X(t)/g \in G\}$. Она может быть описана множеством условных функций распределения $F(\vec{x};\vec{t}/g)=P\{X(t_1)\le x_1,..., X(t_M)\le x_M/g\}$, где $\vec{x}=(x_1,...,x_L)$ – L-мерный вектор значений гиперслучайной функции $X(t)$ в моменты времени $(t_1,...,t_L)$, образующие L-мерный вектор времени $\vec{t}$, $P\{A/g\}$ – вероятность выполнения неравенства A при условиях $g \in G$, а также условные плотности распределения $f(\vec{x};\vec{t}/g)=\frac{\partial^L F(\vec{x};\vec{t}/g)}{\partial x_1 ... \partial x_L}$.

Менее полное описание гиперслучайных явлений обеспечивают различные характеристики и параметры, в частности, границы функций распределения, математические ожидания и дисперсии границ, корреляционные и ковариационные моменты, границы моментов и др [3].

Пользуясь аппаратом теории гиперслучайных явлений [3], будем считать, что $\vec{Z}_n$– векторные гиперслучайные функции, а $\vec{\Phi}$ – гиперслучайный функционал, заданный на множестве функций $\vec{Z}_n$.

Гиперслучайные свойства функциональных характеристик РЭС обусловлены гиперслучайным свойством реальных физических величин.

Актуальной задачей создания современных конструкций РЭС представляется разработка методов проектирования, основанных на использовании математического аппарата теории гиперслучайных явлений с учетом нарушения статистической устойчивости.

Противоречивость ситуации в том, что, с одной стороны, в процессе проектирования необходимо определять возможные границы рассеяния параметров и характеристик будущего РЭС. Только так и можно определить соответствие устройства его целевому назначению. А с другой, эти реальные границы гиперслучайных показателей могут быть найдены только тогда, когда устройство изготовлено, а его характеристики определены.

Выход из этой ситуации, по-видимому, может быть таким же, как и в случае прогнозирования показателей надежности элементной базы РЭС, в частности, ЭРЭ, ФУ, конструкционных материалов, для которых базы данных определения интенсивности отказов были созданы експериментально. В данном случае необходимо накапливать статистические данные по гиперслучайным характеристикам элементов РЭС и устройств в целом для различных условий эксплуатации.

Целью данной работы является разработка общих подходов к расчету функциональных характеристик и параметров РЭС с учетом статистической неустойчивости параметров элементной базы – ЭРЭ, ФУ и конструкционных материалов.

2. Гиперслучайная природа функциональных характеристик РЭС

Для РЭС входные воздействия $\vec{X}$ в ряде случаев считаются детерминированными, если они сформированы внешними устройствами или человеком-оператором. Более детальный анализ может выявить в них влияние факторов, которые сами будут случайными или гиперслучайными. Так, например, если входной сигнал формируется человеком, последний всегда подвержен в той или иной степени влиянию окружающей среды, параметры которой могут иметь гиперслучайный характер, а это приведет к разбросу значений входных воздействий. Если же входной сигнал сам формируется техническим устройством, подверженным гиперслучайным воздействиям (например, управляющим комплексом технологического процесса), то он также будет иметь гиперслучайную природу.

Мы приходим к выводу, что входные воздействия целесообразно рассматривать как гиперслучайные и характеризовать их гиперслучайными характеристиками.

Математические модели внутренних процессов в РЭС – векторы $\vec{P}$ (совокупность векторов $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$) – целесообразно рассматривать как гиперслучайные функции. Электрические процессы в ЭРЭ, электрических цепях, ФУ и состояния электромагнитных полей обычно описывают передаточными функциями $W(s)$ – отношениями сигналов на входе $X(s)$ и на выходе $Y(s)$. Если рассматривать эти сигналы как гиперслучайные функции, то и сами функции $W(s)$ также будут гиперслучайными, сложной структуры. Механические процессы в элементах конструкции РЭС можно также представить функциями, аналогичными $W(s)$, – гиперслучайными компонентами вектора $\vec{P}$.

Компоненты вектора внешних для РЭС воздействий $\vec{Q}$, описывающие электромагнитные, электрические, радиационные, механические, тепловые, временные процессы, которые приводят к изменению функциональных показателей устройства, также целесообразно считать гиперслучайными.

Таким образом, для векторов $\vec{P}$ и $\vec{Q}$ необходимо определять соответствующие вероятностные или числовые характеристики с учетом их гиперслучайных свойств.

При проектировании РЭС гиперслучайные характеристики векторов $\vec{X}, \vec{P}, \vec{Q}$ должны рассматриваться как факторы, определяющие гиперслучайные характеристики вектор-функции $\vec{Z}$ и функционала $\vec{\Phi}$.

3. Математические модели физических процессов РЭС

Математические модели энергетических процессов, протекающих в РЭС, базируются на известных линейных уравнениях Лагранжа 2-го рода [4]: это уравнения Максвелла для электромагнитных процессов [5], дифференциальные уравнения для токов и напряжений в электрических цепях [6], процессов тепломассопереноса [7], механических колебательных процессов [8].

Систему исходных уравнений Лагранжа в дифференциальной форме [4] можно записать так:

$$\frac{d}{d\tau}\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial U}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} - Q_i = 0, \; i = 1,..., k \;, \tag{1}$$

где T – кинетическая энергия, U – потенциальная, Φ – функция рассеяния энергии (функция Релея), Q – внешняя обобщенная сила, q_i – обобщенные координаты, τ – время.

Уравнения (1) выражают фундаментальную природу любого энергетического процесса и могут быть использованы для определения его параметров, если найдены выражения для силовых факторов, кинетической и потенциальной энергий, функции рассеяния, присущие данному процессу.

Выражения для разных форм энергии и функции рассеяния как функций обобщенных координат q_i имеют вид

$$T = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} a_i\, \dot{q}_i^{\,2}$$ – для кинетической энергии,

$$U = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} c_i\, q_i^{\,2}$$ – для потенциальной энергии,

$$\Phi = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} b_i\, \dot{q}_i^{\,2}$$ – для функции рассеяния,

где обобщенные коэффициенты: a_i – инерции, c_i – жесткости, b_i – рассеяния энергии.

После соответствующих преобразований из (1) получают уравнения для реальных энергетических процессов [5–8].

Для электромагнитных процессов уравнения Максвелла имеют вид

$$rot\; \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial \tau}; \;\; rot\; \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial \tau}; \;\; div\; \vec{B} = 0; \;\; div\; \vec{D} = \rho \;, \tag{2}$$

где векторы $\vec{H}$ – магнитной напряженности, $\vec{j}$ – плотности тока, $\vec{D}$ – электрической индукции, $\vec{E}$ – электрической напряженности, $\vec{B}$ – магнитной индукции, ρ – плотности зарядов.

Для электрического последовательного и параллельного контуров с резистором R, индуктивностью L, емкостью C справедливы следующие соотношения:

$$\begin{gathered} L\frac{d^2 q_e}{d\tau^2} + R\frac{dq_e}{d\tau} + \frac{dq_e}{C} = E(\tau), \\ C\frac{d^2 U}{d\tau^2} + \frac{1}{R}\cdot\frac{dU}{d\tau} + \frac{1}{L}U = \frac{di}{d\tau}, \end{gathered} \tag{3}$$

где q_e – заряд конденсатора, E – электродвижущая сила и U – напряжение источника тока, τ – время.

Процессы тепломассопереноса в объеме тела (веществе) описываются системой уравнений:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = K_{22}\nabla^2 T + K_{21}\nabla^2 u; \;\; \frac{\partial u}{\partial \tau} = K_{11}\nabla^2 u \; + K_{12}\nabla^2 T \;, \tag{4}$$

где T – температура, u – влагосодержание в объеме, коэффициенты:

$$K_{11}=a_m;\ K_{12}=a_m\delta\ ;\ K_{21}=a_{m1}\frac{r_{12}}{c};\ \ K_{22}=a+a_{m1}\frac{r_{12}}{c}\ ,$$

где, в свою очередь, a, a_m, a_{m1} – коэффициенты температуропроводности вещества, массопроводности влаги, пара соответственно, c – приведенная теплоемкость вещества в объеме, δ – относительный коэффициент термодиффузии, r_{12} – удельная теплота сублимации влаги.

Для нестационарного процесса распространения тепла в пластине (печатной плате, подложке микросборки) кондукцией справедливо дифференциальное уравнение параболического типа:

$$\frac{1}{a}\frac{T(x,y,\tau)}{\partial\tau}=\frac{\partial^2T(x,y,\tau)}{\partial x^2}+\frac{\partial^2T(x,y,\tau)}{\partial y^2}+\frac{Q(x_i,y_i,\tau)}{\lambda}, \qquad (5)$$

где $T(x,y,\tau)$ – температура, $Q(x_i,y_i,\tau)$ – мощность теплового источника, x_i, y_i – его координаты, a и λ – коэффициенты температуро- и теплопроводности материала пластины.

Механические колебания пластины при кинематическом возбуждении, вызываемые смещением опор $z_o(\tau)$, описываются выражением

$$m\frac{\partial^2 w(x,y,\tau)}{\partial\tau^2}+D(1+j\gamma)\left[\frac{\partial^4 w(x,y,\tau)}{\partial x^4}+2\frac{\partial^4 w(x,y,\tau)}{\partial x^2\partial y^2}+\frac{\partial^4 w(x,y,\tau)}{\partial y^4}\right]=mz_o(\tau), \qquad (6)$$

где $w(x,y,\tau)$ – динамические прогибы, m – приведенная масса пластины, D – цилиндрическая жесткость пластины, γ – коэффициент механических потерь материала, j – мнимая единица.

По-видимому, можно получить уравнения информационных процессов в РЭС на основе уравнений (1), если связать затраты энергии на обработку одного бита информации с единичным актом изменения состояния микроячейки памяти в микросхеме (МС).

4. Функциональные характеристики РЭС

Функциональные характеристики РЭС – компоненты вектора $\vec{Y}$ – могут быть получены, как решения уравнений (2)...(6).

Например, температурное поле пластины $T(x,y,\tau)$, имеющей размеры $l\times b\times h$, – решение уравнения (5), полученное методом конечных интегральных преобразований с ядрами [7]:

$$K(\mu_n,x)=K_{\mu n}\sqrt{\frac{2}{l}}\left[\mu_n\cos\left(\frac{\mu_n}{l}x\right)+\mathrm{Bi}_1\sin\left(\frac{\mu_n}{l}x\right)\right];\ K_{\mu n}=\frac{1}{\sqrt{\left(\mu_n^2+\mathrm{Bi}_1^2\right)\left(1+\mathrm{Bi}_1+\dfrac{\mathrm{Bi}_1}{\mu_n^2+\mathrm{Bi}_1^2}\right)}},$$

$$K(\mu_m,y)=K_{\mu m}\sqrt{\frac{2}{b}}\left[\mu_m\cos\left(\frac{\mu_m}{b}y\right)+\mathrm{Bi}_2\sin\left(\frac{\mu_m}{b}y\right)\right];\ K_{\mu m}=\frac{1}{\sqrt{\left(\mu_m^2+\mathrm{Bi}_2^2\right)\left(1+\mathrm{Bi}_2+\dfrac{\mathrm{Bi}_2}{\mu_m^2+\mathrm{Bi}_2^2}\right)}},$$

имеет вид

$$T(x,y,\tau)=16\frac{\mathrm{Bi}}{\alpha}\frac{lb}{h^2}\frac{Q(x_i,y_i,\tau)}{\Delta x_i\Delta y_i}\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}(K_{\mu n}K_{\mu m})^2\frac{I_n(x_i)I_m(y_i)}{\mu_n^2\frac{b}{l}+\mu_m^2\frac{l}{b}+\mathrm{Bi}\frac{lb}{h^2}}\times$$
$$\times\left[\mu_n\cos\left(\frac{\mu_n}{l}x\right)+\mathrm{Bi}_1\sin\left(\frac{\mu_n}{l}x\right)\right]\cdot\left[\mu_m\cos\left(\frac{\mu_m}{b}y\right)+\mathrm{Bi}_2\sin\left(\frac{\mu_m}{b}y\right)\right]\varPhi_{n,m}(\tau),\qquad(7)$$

где $Bi,\ Bi_1,\ Bi_2$ – критерии Био, характеризующие теплоотдачу с поверхностей платы:

$$\mathrm{Bi}=\frac{\alpha h}{\lambda},\ \mathrm{Bi}_1=\frac{\alpha l}{\lambda},\ \mathrm{Bi}_2=\frac{\alpha b}{\lambda};$$

μ_n, μ_m – корни характеристических уравнений:

$$\tan\mu_n=\frac{2\mu_n Bi_1}{\mu_n^2-Bi_1^2},\quad \tan\mu_m=\frac{2\mu_m Bi_2}{\mu_m^2-Bi_2^2};$$

$I_n(x_i),\ I_m(y_i)$ – функции распределения температур:

$$I_n(x_i)=\left[\cos\left(\frac{\mu_n}{l}x_i\right)+\frac{\mathrm{Bi}_1}{\mu_n}\sin\left(\frac{\mu_n}{l}x_i\right)\right]\sin\left(\frac{\mu_n}{l}\frac{\Delta x_i}{2}\right),$$

$$I_m(y_i)=\left[\cos\left(\frac{\mu_m}{b}y_i\right)+\frac{\mathrm{Bi}_2}{\mu_m}\sin\left(\frac{\mu_m}{b}y_i\right)\right]\sin\left(\frac{\mu_m}{b}\frac{\Delta y_i}{2}\right);$$

α – коэффициент теплоотдачи с поверхностей платы, $\varPhi_{n,m}(\tau)$ – функция, учитывающая изменение температуры $T(x,y,\tau)$ при изменении времени τ.

Стационарное температурное поле платы $T(x,y)$ с установленным на ней источником тепла может быть получено из уравнения (7), если положить $\varPhi_{n,m}(\tau)=1$.

Наиболее влияющими на температуры $T(x,y)$ гиперслучайными величинами будут коэффициент теплоотдачи α, он прямо входит в уравнение (7) и выражения критериев Био; дополнительно еще появляется влияние гиперслучайного коэффициента теплопроводности λ. Последний также определяет критерии Био и корни характеристических уравнений μ_n, μ_m. Тепловая мощность источника Q также гиперслучайная величина.

Поэтому можно принять, что в уравнении (7) гиперслучайными будут пять величин: тепловая мощность Q, коэффициент теплоотдачи α, критерии $Bi,\ Bi_1,\ Bi_2$. Их вероятностные или числовые характеристики должны быть известны, если необходимо рассчитывать температуру $T(x,y)$, как гиперслучайную функцию, однако в действительности таких данных не существует.

При более детальном анализе следует считать гиперслучайными величинами линейные размеры пластины и координаты источника тепла x_i, y_i, хотя в первом приближении их гиперслучайный характер можно не учитывать, т.к. производственные допуски на эти размеры значительно меньше (на несколько порядков) разброса значений остальных параметров, входящих в уравнение (7).

Рассмотренный пример показывает, что любой функциональный показатель РЭС может быть представлен множеством значений, находящихся в границах, определяемых в соответствии с характеристиками гиперслучайных функций, для которых необходимо задать их вероятностные или числовые характеристики. Сложность гиперслучайной математической модели РЭС и возможности получения с ее помощью функциональных его характеристик (решением системы математических уравнений) зависят от степени детализации компонент вектора $\vec{Y}$ и выходных характеристик $\vec{Z}$.

Характеристики векторов $\vec{Y}=\vec{Y}\left(\vec{X},\vec{P},\vec{Q}\right)$ можно определить, если вероятностные характеристики каждого из векторов $\vec{X},\vec{P},\vec{Q}$ известны на основе имеющихся статистических данных или заданы. Выражения существенно упрощаются, если векторы $\vec{X},\vec{P},\vec{Q}$ независимы. Тогда для границ вектора $\vec{Y}$ [3]

$$f_{Sy}(y)=f_{Sx}(x)f_{Sp}(p)f_{Sq}(q),\quad f_{Iy}(y)=f_{Ix}(x)f_{Ip}(p)f_{Iq}(q)\ ;$$

– математические ожидания

$$m_{Sy}=M\left[\vec{Y}\left(\vec{X},\vec{P},\vec{Q}\right)\right]=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\vec{Y}\left(\vec{X},\vec{P},\vec{Q}\right)f_{Sy}(y)dx\,dp\,dq,$$

$$m_{Iy}=M\left[\vec{Y}\left(\vec{X},\vec{P},\vec{Q}\right)\right]=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\vec{Y}\left(\vec{X},\vec{P},\vec{Q}\right)f_{Iy}(y)dx\,dp\,dq;$$

– дисперсии

$$D_S\left(\vec{Y}\right)=D_S\left[\vec{Y}\left(\vec{X},\vec{P},\vec{Q}\right)\right]=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\vec{Y}\left(\vec{X},\vec{P},\vec{Q}\right)-m_{Sy}\right]^2 f_{Sy}(y)\,dx\,dp\,dq,$$

$$D_I\left(\vec{Y}\right)=D_I\left[\vec{Y}\left(\vec{X},\vec{P},\vec{Q}\right)\right]=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\vec{Y}\left(\vec{X},\vec{P},\vec{Q}\right)-m_{Iy}\right]^2 f_{Iy}(y)\,dx\,dp\,dq.$$

Таким же образом можно рассчитать параметры функций $\vec{Z}$, которые будут получены в результате проектирования. Из множества результатов, соответствующих различным конструктивным особенностям, необходимо выбрать вариант РЭС, характеристики которого наилучшим образом соответствуют заданным.

В действительности определение характеристик функциональных показателей проектируемого РЭС может оказаться достаточно сложной задачей по следующим причинам:

– каждый из векторов $\vec{X},\vec{P},\vec{Q}$ может быть гиперслучайной функцией, и поэтому выражения для плотностей распределения станут многомерными функциями;

– функции $\vec{Y}=\vec{Y}\left(\vec{X},\vec{P},\vec{Q}\right)$ могут быть достаточно сложными и также многомерными;

– векторы $\vec{P}$ и $\vec{Q}$ могут быть взаимно зависимыми.

5. Заключение

1. На базе теории гиперслучайных явлений рассмотрены проблемы разработки методики расчета функциональных характеристик и параметров РЭС с учетом статистической неустойчивости параметров радиоэлектронных элементов.
2. Показано, что функциональные характеристики РЭС адекватно могут быть описаны гиперслучайными функциями.
3. Предложена гиперслучайная математическая модель РЭС, описывающая закономерности протекания энергетических процессов, полученная на основании уравнений Лагранжа.
4. Высказано предположение, что нарушение статистической устойчивости параметров элементной базы может заметно изменить границы рассеяния функциональных характеристик всего РЭС, что должно учитываться при проектировании.

5. Показана необходимость создания базы данных для расчета гиперслучайных показателей ЭРЭ, ФУ, конструкционных материалов РЭС для расчета вероятностных характеристик функциональных показателей РЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбань И.И. Нарушение статистической устойчивости физических процессов / И.И. Горбань // Математичні машини і системи. – 2010. – № 1. – С. 171 – 184.
2. Горбань И.И. Статистическая неустойчивость магнитного поля Земли / И.И. Горбань // Зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю "Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика. СППР '2010", (Київ, 7.06. 2010). – Київ, 2010. – С. 189 – 192.
3. Горбань И.И. Теория гиперслучайных явлений / Горбань И.И. – Киев: НАНУ/Институт проблем математических машин и систем, 2007. – 184 с.
4. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: в 10-ти т. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – Т. 1: Механика. – М.: Наука, 1988. – 216 с.
5. Ландау Л.Д. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – [изд. 7-е, испр.]. – М.: Наука, 1988. – 512 с.
6. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника / Тихонов В.И. – М.: Советское радио, 1982. – 624 с.
7. Лыков А.В. Тепломассообмен: справочник / Лыков А.В. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
8. Уваров Б.М. Гіпервипадкові характеристики теплових процесів у пристроях радіоелектронної апаратури / Б.М. Уваров, Ю.Ф. Зіньковський // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". – (Серія "Радіотехніка. Радіоапаратобудування"). – 2010. – Вип. 41. – С. 103 – 108.

Стаття надійшла до редакції 06.07.2010