

Control System Nonlinear Dynamics Switching DC/DC Converters Voltage with Stabilization Current Limit

The article considers the nonlinear dynamics control system of pulsed voltage converter with a nonlinear external characteristic having parts stabilization of voltage and current. The proposed control system is constructed using the target oriented control to effectively control the dynamics of nonlinear discrete systems wide class. Using this approach will help in some cases abandon parametric synthesis for the given nonlinear dynamical properties of voltage converters. Provides maps and charts of dynamical mode voltage ripple in the space of two parameters of the system. The result of this approach is the reduction of non-project areas of dynamic modes of operation of the converter. The data obtained can be used as a stage of technical design and form the basis for further research related to the control of the nonlinear dynamics of switching converters.

Keywords: pulse converter, nonlinear dynamics, bifurcation, control system, buck-converter, the target-oriented control

References

1. Meleshin V. I. Tranzistornaya preobrazovatel'naya tekhnika. M.: Tekhnosfera, 2005. 627 p.
2. Zhusubaliev Zh. T., Kolokolov Yu. V. Bifurkatsii i khaos v releynykh i shirotno-impul'snykh sistemakh avtomaticheskogo upravleniya. M.: Mashinostroenie-1, 2001. 120 p.
3. Poddar G., Chakrabarty K., Banerjee S. Control of chaos in DC-DC converter. *Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*. 1998. V. 45, N. 6. P. 672–676.
4. Poddar G., Chakrabarty K., Banerjee S. Control of chaos in the boost converters. *Electronics Letters*. 1995. V. 31, N. 11. P. 841–842.

5. Batlle C., Fossas E., Olivari G. Stabilization of periodic orbits of the buck converter by time-delayed feedback. *International Journal of Circuit Theory and Applications*. 1999. V. 27, N. 3. P. 617–631.
6. Franco D., Liz E. A two-parameter method for chaos control and targeting in one-dimensional maps. *International Journal of Bifurcation and Chaos*. 2011. V. 23, N. 1. P. 1–11.
7. Andriyanov A. I., Krasnov N. A. Neyrosetevaya sistema upravleniya nelineynoy dinamikoy neposredstvennogo ponizhayushchego preobrazovatelya napryazheniya. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie*. 2013. V. 56, N. 12. P. 33–38.
8. Andriyanov A. I., Krasnov N. A. Nelineynaya dinamika impul'snykh preobrazovateley napryazheniya so stabilizatsiei predel'nogo toka. *Elektrotehnicheskie kompleksy i sistemy upravleniya*. 2014. N. 2. P. 47–54.

УДК 621.396.96

И. Ф. Будагян, д. р физ. мат. наук, проф., budif@yandex.ru,
М. С. Костин, аспирант, mihaikos@mail.ru,

Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики
(МГТУ МИРЭА)

Вибродиагностика кинематических схем устройств точной механики методом радиосенсорной сверхкороткоимпульсной фазовой девиометрии

Освещены вопросы виброметрических исследований кинематических элементов конструкций мехатронных устройств, генерирующих в процессе эксплуатации собственные механические колебания или промодулированных внешними акустическими возмущениями среды, радиоволновыми методами на предмет виброметрологической диагностики. Сформулированы принципы радиосенсорного сверхкороткоимпульсного зондирования. Определены преимущества и особенности рассматриваемого способа. Предложены численные методы цифровой фильтрации сигналов с применением одномерного оконного преобразования Фурье и обработки данных с использованием кепстрального анализа как одного из наиболее эффективных при оценке параметров акустомеханических колебаний. Приведена реализация аналитической модели тестового режима отладки радиосенсорной системы виброметрологического комплекса.

Ключевые слова: диагностика, виброустойчивость, радиоволновая виброметрия, радиосенсорный локатор, сверхкороткий радиоимпульс, аналитическая модель, оконное преобразование Фурье, кепстральный анализ, взаимная корреляция

Введение

Метрологическая диагностика и оценка виброметрических характеристик устройств точной механики требует применения специальных методов, обеспечивающих беспрепятственный дистанционный контроль динамических параметров, описывающих закон колебательного процесса кинематического элемента зондируемой поверхности исследуемой

конструкции. Среди бесконтактных методов съема и регистрации вибрационных параметров (вибоперемещения, виброскорости, виброускорения) классифицируют три основные группы косвенных принципов преобразования акустомеханических колебаний в сигнал: оптический, ультразвуковой и радиоволновый.

Ввиду актуализации развития перспективных направлений в части применения специализирован-

ных средств радиометрологической диагностики особое внимание в этой области сосредоточено на системах радиоволнового мониторинга, построенных по принципу сверхкороткоимпульсных локаторов, действие которых основано на классических законах импульсной радиолокации. С появлением высокоскоростных АЦП параллельного преобразования задача обнаружения, приема и обработки СВЧ сигнала фактически сводится к реализации программных численных методов, что минимизирует функционал аппаратной аналоговой части устройства. При этом разработка и анализ высокочувствительных комплексов бесконтактных радиоизмерений характеристик механических вибраций находится в непрерывном поиске синтеза и выбора наиболее оптимальных технических решений и математических алгоритмов обработки сигналов. Так, решение задачи приема отраженного от цели сигнала обеспечивается классическими методами оптимального обнаружения на основе критерия максимального отношения правдоподобия, в то время как оптимизация обработки принимаемых эхосигналов в модели достигается применением оконного преобразования Фурье и кепстрального анализа.

Реализация предложенных в работе численных методов обработки сигналов описывается тестовой аналитической моделью системы в среде MATLAB с использованием масштабно-дифференциального преобразования во времени для относительно медленно (механические вибрации) и мгновенно (радиоволна) протекающих колебаний, что существенно повышает эффективность и скорость вычислений.

Система радиосенсорной сверхкороткоимпульсной виброметрологической диагностики представляет собой радиоволновый программно-аппаратный комплекс на базе однокристального 256-разрядного приемопередатчика NVA6201 норвежской компании Novelda AS с энергопотреблением не более 120 мВт в корпусе QFN32 [1]. Комплекс предназначен для бесконтактного дистанционного зондирования поверхности динамических и статических элементов функциональных узлов технических устройств точной радио- и микромеханики, генерирующих собственные механические колебания или промодулированных внешними виброакустическими возмущениями среди в целях регистрации динамических характеристик. Приемопередатчик снабжен высокоскоростным АЦП с частотой дискретизации 39 Гвыб/с, что соответствует 39 точкам на 1 нс или периоду дискретизации около 25 пс [1]. Получение абсолютных и статистических информационных данных о вибрационных характеристиках микроэлектромеханических устройств, радиоэлементов функциональных ячеек электрических схем на печатной плате и несущих конструкций также представляет одну из задач испытаний аппаратуры на виброустойчивость и надежность при неразрушающем контроле.

1. Сверхкороткоимпульсная радиоволновая виброметрия

Среди применяемых радиоволновых методов измерения вибраций классифицируют следующие: резонаторные, интерференционные и фазовые. Для перечисленных методов можно определить следующие недостатки в обеспечении генерации зондируемого сигнала и регистрации фиксируемых параметров: необходимость сохранения высокой стабильности частоты зондирующего радиосигнала в целях уменьшения его флуктуации, повышения чувствительности и качества работы системы; увеличение глубины проникающей способности радиоимпульсов при реализации подповерхностной локации и обеспечение достаточно удаленного от цели съема виброакустических параметров с требуемым разрешением [2]. Перечисленные недостатки в работе радиоволновых систем могут компенсироваться за счет применения радиотехнических решений, построенных на принципах сверхкороткоимпульсной радиолокации, что в рамках современной науки способно решить многие радиофизические задачи с перспективой дальнейшей модернизации. Так, с применением радиоимпульсов наносекундной длительности исключается необходимость генерирования СВЧ сигнала заданной частоты, как это принято в локаторах с непрерывным и моноимпульсным действием, что исключает необходимость обеспечения частотной стабилизации в высокочастотной области. Сверхкороткий широкополосный радиоимпульс формируется как результат дифференцирования видеоимпульса наносекундной длительности при его воздействии на широкополосную антенну и не имеет несущей частоты, а характеризуется длительностью, центральной частотой и полосой спектра. Заметим, что обязательным условием в выборе длительности радиоимпульса (следовательно, и приемопередающей антенны) является то, что его фактическая длина волны не должна быть меньше собственной амплитуды виброперемещений зондируемой поверхности исследуемого элемента, иначе это осложняется нелинейными искажениями принимаемого сигнала. Таким образом, остается лишь стабилизировать частоту дискретизации зондирования, которую для регистрации механических колебаний достаточно взять в диапазоне от сотен кГц до десятков МГц, что значительно проще в техническом смысле реализации в сравнении со стабилизацией в СВЧ области. Кроме того, сверхширокополосность радиоимпульса улучшает энергетику сигнала, обеспечивает требуемую проникающую способность и делает систему более помехоустойчивой к воздействию внешних электромагнитных помех. Распределение во временной последовательности выборки радиоимпульсов, отраженных от вибрирующей цели, описывается законом фазовой модуляции, девиация которой отражает характеристику плоскопараллельных колебаний вдоль линии визирования. Импульсное зондирование, построенное на вре-

менном оконном стробировании, позволяет четким образом локализовать координатную привязку к цели, тем самым максимальным образом исключив помехи от пространственно распределенных поверхностей, генерирующих ложные эхосигналы, и восстановить в более явном виде кривую колебательного закона исследуемой поверхности.

2. Аналитическое описание модели системы

Инженерные исследования многопараметрических процессов и сложных систем априори предполагают планирование эксперимента с описанием математической модели системы в целом. Существенным фактором воспроизводимости ожидаемых результатов при радиоизмерениях является качество аналитической модели системы, посредством которой можно с достоверной точностью провести корреляционную оценку измерений при сравнении теоретических расчетов с результатами программного моделирования. Основными требованиями, предъявляемыми к модели системы, являются ее адекватность, однозначность по отношению к регламентируемым условиям эксперимента и минимальность затрат ресурсов вычислительной техники [3].

Прием сигнала радиосенсорным локатором осуществляется с заданной частотой зондирования (стробирования) с задержкой, определяющей расстояние до потенциально расположенной цели (элемента кинематической схемы). Обнаружение отраженных от цели импульсов выполняется по критерию максимального отношения правдоподобия из расчета известной частоты следования радиоимпульсов и времени задержки. Фильтрация принимаемых эхосигналов в устройстве осуществляется программным способом на базе оконного одномерного преобразования Габора путем накопления выборки радиоимпульсов, прошедших предварительное усиление через пороговое устройство и высокоскоростное АЦП. При этом нахождение низкочастотной компоненты механического колебания, содержащегося в фазораспределенной последовательности отраженных радиоимпульсов, выполняется путем кепстрального анализа реперного и преобразованного одиночного эхосигнала, либо очередной соседней парной последовательности аналогично принятых радиоимпульсов [4].

При смежном программном моделировании быстроизменяющихся (сверхкороткий импульс,nano- и пикосекундное колебание) и медленно протекающих (механические вибрации — от миллисекундного до секундного цикла) процессов на одной временной оси возникают вычислительные затруднения, которые фактически сводят в предел оперативные ресурсы микропроцессора. Это обусловлено тем, что шаг дискретизации времени приходится выбирать из расчета минимального, т. е. соответствующего радиоимпульсу, в то время как конечная точка исследуемого процесса будет определяться низкочастотным колебанием. Для решения

подобного рода вычислительных задач существует ряд способов: параллельные вычисления с применением специальных средств суперпроцессорной техники или применение иных аналитических методов и алгоритмов. В данной работе предлагается реализация модели с использованием двух дифференциальных масштабов времени для каждого из колебательных процессов в отдельности относительно оси выборки.

Программный код функциональной модели радиосенсорной системы реализован в среде MATLAB и оформлен в виде *m*-файла, результаты работы которого могут быть наглядно графически представлены как процессы приема и обработки эхосигнала. Аналитическая модель предполагает рассмотрение частного случая радиоимпульсного эхоприема сигнала от поверхности выбириющей цели при наличии гауссовых коррелируемых шумов от подстилающей поверхности и элементов ограниченного пространства [5]. Численный алгоритм приема и обработки данных основан на принципе определения дальности относительно изменения фазы отраженного сигнала [3]:

$$\Delta\phi = \Delta\phi_1 - \Delta\phi_2 = -\frac{4\pi}{c} f(R_1 - R_2) = -\frac{4\pi}{c} f_c v_s T_{\pi}.$$

Здесь $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$ — разности фаз при смещении поверхности объекта с расстояния R_1 до R_2 ; f_c — центральная частота спектра радиоимпульса; c — скорость света; $v_s = v_m \sin(\omega_s t + \phi)$ — выброскорость, где $v_m = 2\pi F A_0$, а F , A_0 — частота и амплитуда вибрации; $T_{\pi} = 1/F_{\pi}$ — период следования зондируемых импульсов; F_{π} — частота зондирования.

При этом закон девиации частоты следования отраженных импульсов имеет следующий вид [3]:

$$F_s = \frac{1}{T_s} = \frac{c}{d - T_{\pi} v_m \sin(\omega_s t)} = \frac{F_{\pi}}{1 - v_m \sin(\omega_s t)/c},$$

где d — пространственное расстояние между импульсами вдоль линии визирования; $\omega_s = 2\pi F$ — угловая частота механических колебаний; c — скорость света.

3. Численные методы цифровой фильтрации сигнала

Задача оптимальной фильтрации сверхкороткоимпульсного радиосигнала, представленного несколькими периодами колебаний с гауссовой огибающей, решается в работе с применением оконного преобразования Фурье, причем результатом этого преобразования является не спектр исходного сигнала, а спектр от произведения сигнала и оконной функции (рис. 1). Идея такого преобразования заключается в том, что весь временной интервал сигнала разделяется на подинтервалы — оконные стробы, и преобразование проводится последовательно для каждого окна в отдельности. Тем самым осуществляется переход к частотно-временному представлению, что позволяет анализировать осо-

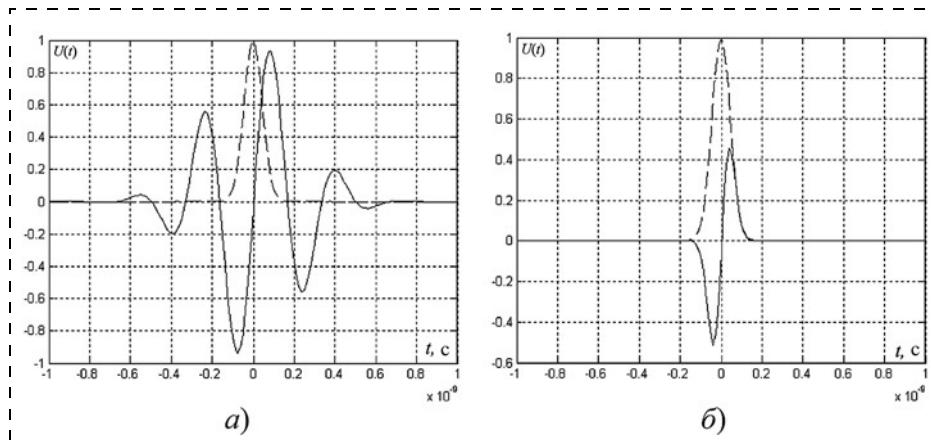


Рис. 1. Графическое представление принципа частотно-временной селекции:
а — нормированный радиоимпульс и строб-импульс окна (штриховая линия); б — нормированный строб-импульс окна и результат преобразования Габора

бенности нестационарных сигналов. В качестве оконного строба выбрана функция Гаусса. Форма такого окна практически исключает эффект Гиббса, поскольку известно, что применение окон, отличных от прямоугольных, уменьшает влияние боковых лепестков в спектре за счет увеличения ширины главного лепестка и определяет данный вид фильтрации как преобразование Габора. Однако спектр, полученный путем оконного преобразования Фурье, является оценкой спектра исходного сигнала и допускает искажения.

Оконное преобразование можно записать следующим образом [6]:

$$S(\omega, b_k) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)\psi(t - b_k)\exp(-j\omega t)dt, \quad (1)$$

где $\psi(t - b_k)$ есть функция окна сдвига преобразования по координате времени t на фиксированные значения параметра b_k . В случае преобразования Габора $\psi(t - b_k)$ описывается кривой Гаусса:

$$\psi(t - b_k) = \frac{A}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t - b_k)^2}{2\sigma^2}\right).$$

Таким образом, оконное преобразование состоит в умножении исследуемого сигнала $s(t)$ на функцию окна $\psi(t - b_k)$, распределенную в окрестности $t = b_k$, и вычислении коэффициентов Фурье подынтегрального произведения (1). Обозначим $\psi_{\omega, b}(t) = \psi(t - b_k)\exp(-j\omega t)$, тогда выражение (1) принимает вид

$$S(\omega, b_k) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)\psi_{\omega, b}(t)dt. \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что фактически оконное преобразование представляет собой взаимную корреляционную функцию двух сигналов. При этом сигнал есть произведение гармонического сигнала и огибающей.

Для каждого состояния окна на временной оси сигнала вычисляется свой комплексный спектр. Однако в данном случае преобразование осуществляется с заданной периодичностью относительно частоты зондирования.

Таким образом, оптимальная длительность окна определяется из расчета максимально выделяемой мощности и определяется выражением [3]

$$\tau_{opt} = T_c \tau \frac{\sqrt{(\pi\tau)^2 - T_c^2}}{T_c^2 - (\pi\tau)^2},$$

где T_c — период заполнения, соответствующий центральной частоте f_c радиоимпульса; τ — длительность принимаемого радиоимпульса.

4. Кепстральный анализ выборочной последовательности импульсов

Кепстральный анализ применяют для сигналов, представляющих собой свертку двух временных функций, причем таких, что после преобразования их в спектр они образуют неперекрывающиеся на оси кепстрального времени q импульсы. Кепстральное преобразование можно представить следующим образом [6]:

$$C_S(q) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \ln[S(\omega)]^2 \exp(j\omega q) d\omega, \quad (3)$$

где $S(\omega)$ — амплитудный спектр континуального сигнала $s(t)$.

Поскольку $S^2(\omega)$ имеет смысл спектральной плотности энергии сигнала $s(t)$, то $C_S(q)$ определяется как энергетический спектр функции $\ln[S(\omega)]^2$, поэтому выражение (3) принято называть кепстром мощности. Очевидно, что аргумент q имеет размерность времени. Также следует отметить, что выражение (3) имеет смысл не для любого сигнала $s(t)$. Действительно, для сигнала с конечной энергией выполняется условие $\int_{-\infty}^{\infty} S^2(\omega) d\omega < \infty$, из которого

следует, что при $|\omega| \rightarrow \infty$ $S^2(\omega) \rightarrow 0$. Но тогда при $|\omega| \rightarrow \infty$ обращается в бесконечность $|\ln S(\omega)|$, и интеграл $\int_{-\infty}^{\infty} \ln S^2(\omega) d\omega$ расходится. Такое противоречие при решении практических задач снимается путем замены пределов интегрирования $\pm\infty$ на граничные частоты $\pm\omega_{rp}$, в пределах которых заключена основная часть энергии сигнала, и значение функции

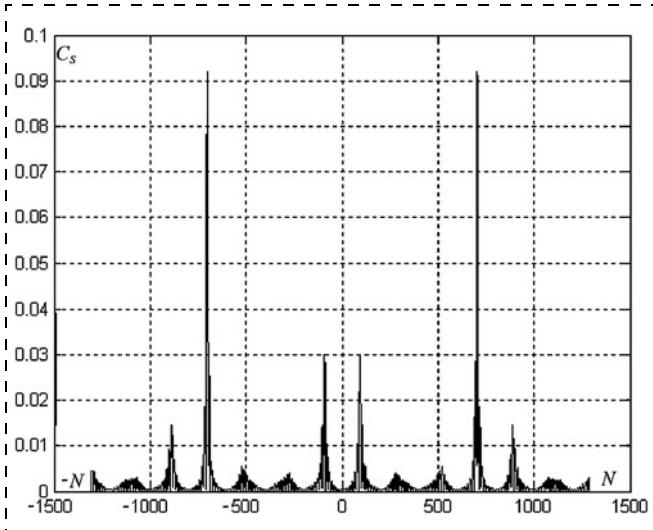


Рис. 2. Графическое представление модуля симметричного кепстера соседней последовательности отраженных радиоимпульсов относительно оси выборки

$\ln S^2(\omega)$ ограничено. Таким образом, определение кепстра мощности свертки сигналов решается для двух соседних отраженных импульсов или опорного и очередного принимаемого эхосигнала (рис. 2). В случае цифровой обработки сигналов свертка заменяется алгоритмом БПФ-ОБПФ. Для надежного определения опережения (запаздывания) эхосигнала, вызванного возвратно-поступательными колебаниями цели (элемента кинематической схемы) вдоль линии визирования, используется первый импульс кепстера.

Координатное положение первого максимума (номер первого максимума выборки вектора) относительно нуля кепстрального времени будет определять мгновенное значение амплитуды колебания, а его амплитуда — коэффициент отражения зондируемой поверхности. Поэтому важно, чтобы кепстр концентрировался вблизи начала отсчета кепстрального времени. Кроме того, амплитудный кепстр должен быть свободен от ложных всплесков, что зависит от структуры спектра $S(\omega)$ исходного сигнала, а следовательно, и предварительной фильтрации.

Достоверность принятого и обработанного эхосигнала в модели определяется коэффициентом корреляции по отношению к заранее известному реперному механическому колебанию, представленным двумя случайными частотными компонентами 0,4 и 1 кГц с амплитудой виброперемещения 0,1...0,5 мм при частоте зондирования 100 кГц и длительности зондируемого радиоимпульса 0,5 нс (рис. 3) [2, 4, 7].

Заключение

Радиосенсорный метод виброметрологической диагностики элементов кинематических схем устройств точной механики способен существенно расширить информативные возможности проведе-

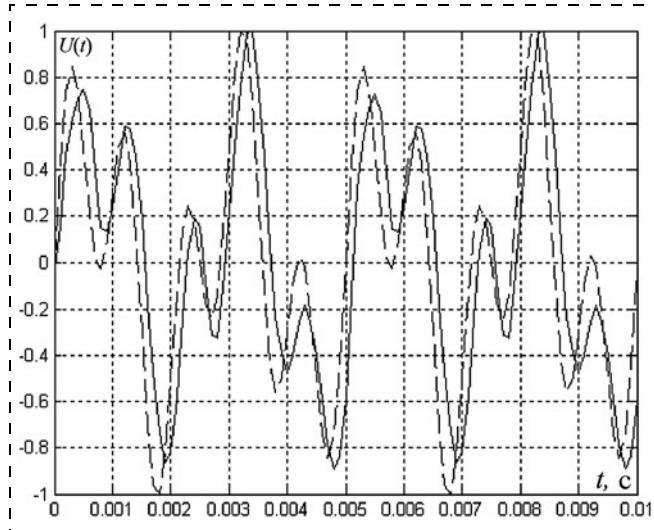


Рис. 3. Графическое представление реализации эхосигнала от заданной цели (штриховой линией указан реперный сигнал механического колебания). Коэффициент корреляции $K_r = 0,905$

ния научных и инженерных как теоретических, так и практических исследований в области бесконтактных радиоволновых измерений вибраакустических колебаний методами сверхкороткоимпульсной эхолокации. Предложенный метод кепstralной обработки сигнала и его масштабно-дифференциального преобразования во времени реализован на базе аналитической модели радиосенсорного радара. Эта модель, представленная системой мгновенно и медленно протекающих процессов, позволяет повысить эффективность программных вычислений, что может быть полезным при отладке и тестировании численных методов обработки сигналов в нелабораторных условиях. В перспективе планируется дальнейшее совершенствование программного численного метода, поиск и оптимизация оконных функций Фурье и алгоритмов обработки сигнала в целях повышения чувствительности системы к механическим колебаниям с амплитудой виброперемещения менее 100 мкм.

Также хотелось бы отметить, что особенный интерес представляет применение виброметрического программно-аппаратного комплекса в робототехнике как системы сенсорного распознавания геометрии движения сложных кинематических схем, а также как одного из эффективных способов дистанционного управления элементами механики по принципу организации радиосенсорных цепей обратной связи в автоматике [8, 9]. Кроме того, по форме отраженного от поверхности объекта сверхкороткого импульса, а точнее, по изображению огибающей импульса за период выборки, можно судить также о структурных и физических свойствах зондируемого объекта. Организация приема обработки такого сигнала может быть решена с применением метода масштабно-временного преобразования (МВП), поскольку данный алгоритм является наи-

более эффективным по широкополосности и чувствительности при исследовании быстропротекающих процессов. При МВП осуществляется считывание мгновенных значений исследуемого эхосигнала с помощью суперкоротких дельта-импульсов относительно сдвигающейся выборки, что обеспечивает масштабируемое (растянутое) представление сигнала во времени и значительно упрощает процедуру приема и обработки. В совокупности по форме огибающей собранного из частей и слаженного радиоимпульса, отраженного от цели, можно судить не только о структуре и материале объекта, но и даже о конкретной ограниченной траектории его движения, имея базу радиообразов, путем сравнения полученного изображения с репером при последующей корреляции.

Список литературы

1. Официальный сайт норвежской компании Novelda AS по разработке радиосенсорных систем управления на базе XeThru технологий. URL: <https://www.xethru.com/> (дата обращения: 10.04.2014).

2. Будагян И. Ф., Костин М. С. Радиосенсорный виброметрический локатор // Materiały IX Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji "Wyksztalcenie i nauka bez granic – 2013". Techniczne nauki. Przemysł.: Nauka i studia, 2013. V. 46. P. 31–35.

3. Mahafza, Bassem R. Radar systems & analysis and design using Matlab. USA.: CHAPMAN & HALL/CRC, 2009. 533 p.

4. Будагян И. Ф., Костин М. С. Масштабно-временное моделирование сверхкороткоимпульсного виброметрического локатора // Materiály X mezinárodní vědecko – praktická konference "Věda a technologie: krok do budoucnosti – 2014". Technické vědy. Praha.: Publishing House "Education and Science", 2014. V. 33. P. 65–70.

5. Костин М. С. Моделирование системы радиолокационной виброметрии. // T-comm. Математическое моделирование систем и средств связи. 2013. № 11. С. 97–101.

6. Дьяконов В. П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. М.: ДМК Пресс, 2011. 975 c.

7. Костин М. С. Моделирование виброметрического СШП радара // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем: Сб. научн. тр. М.: РАДИОИНФОКОМ, 2013. Ч. 1. С. 246–249.

8. Костин М. С. Технологические аспекты радиоволновой виброметрии при неразрушающем контроле несущих конструкций и механизмов радиоэлектронных средств // Сборник трудов 62-й научно-технической конференции МГТУ МИРЭА. М.: МИРЭА, 2013. С. 111–116.

9. Костин М. С. Экспертная система радиосенсорного сбора данных // Труды Международной научно-методической конференции "Информатизация инженерного образования" – ИНФОРИНО–2014. М.: Издательство МЭИ, 2014. С. 369–370.

**I. F. Budagyan, D. of Sci., the professor, budif@yandex.ru,
M. S. Kostin, the postgraduate student, mihailkos@mail.ru,
Moscow State Institute of Radio Engineering, Electronics and Automation (MSTU MIREA)**

Vibrodiagnostics Kinematic Schemes of the Devices Precise Mechanics by Method Radiosensory Ultrashort Pulse Phase Deviametry

In this paper the problem of vibrometric research kinematic elements constructions of mechatronic devices, generating in the process of exploitation own mechanical vibrations or modulated external acoustic perturbations of the environment, radiowave methods on the subject vibrometrical diagnostic is considered. The principles of radiosensory ultrashort pulse radiolocation are formulated. The advantages and peculiarities of the considered method are defined. The numerical methods of digital filtering of signals with application of one-dimensional windowed Fourier transform and process the data using cepstral analysis as one of the most effective when assessing acoustomechanical fluctuations are proposed. The implementation of the analytical model of test debug mode radiosensory system vibrometrical complex is presented.

Keyword: diagnostic, vibration resistance, radiowave vibrometric, radiosensory locator, ultrashort pulse, analytical model, the windowed Fourier transform, cepstral analysis, cross-correlation

References

1. Official'nyj sajt norvezhskoj kompanii Novelda AS po razrabotke radiosensornych sistem upravlenija na baze XeThru tehnologij. URL: <https://www.xethru.com/> (date of handling: 10.04.2014).

2. Budagyan I. F., Kostin M. S. Radiosensornij vibrometricheskij lokator. Materiały IX Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji "Wyksztalcenie i nauka bez granic – 2013". Techniczne nauki. Przemysł.: Nauka i studia, 2013. V. 46. P. 31–35.

3. Mahafza, Bassem R. Radar systems & analysis and design using Matlab. USA.: CHAPMAN & HALL/CRC, 2009. 533 p.

4. Budagyan I. F., Kostin M. S. Masshtabno-vremennoe modelirovaniye sverhkorotkoimpul'snogo vibrometricheskogo lokatora. Materiály X mezinárodní vědecko – praktická konference "Věda a technologie: krok do budoucnosti – 2014". Technické vědy. Praha.: Publishing House "Education and Science", 2014. V. 33. P. 65–70.

5. Kostin M. S. Modelirovanie sistemy radiolokacionnoj vibrometrii. T-comm. Matematicheskoe modelirovaniye sistem i sredstv svyazi. 2013. N. 11. P. 97–101.

6. D'yakonov V. P. MATLAB i SIMULINK dlja radioinzhenerov. M.: DMK Press, 2011. 975 p.

7. Kostin M. S. Modelirovaniye vibrometricheskogo UWB radara. Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya radiotekhnicheskikh i infokommunikacionnyh sistem: Sb. nauchn. tr. M.: RADIOINFOCOM, 2013. Ch. 1. P. 246–249.

8. Kostin M. S. Tehnologicheskie aspekty radiovolnovoj vibrometrii pri nerazrushajushhem kontrole nesushhih konstrukcij i mehanizmov radioelektronnyh sredstv. Sbornik trudov 62-j nauchno-tehnicheskoy konferencii MSTU MIREA. Moscow: MIREA, 2013. P. 111–116.

9. Kostin M. S. Jekspertnaja sistema radiosensornogo sbora dannyh. Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii "Informatizacija inzhenernogo obrazovanija" – INFORINO–2014. M.: Izdatel'stvo MEI, 2014. P. 369–370.