

$$+ \left(\frac{(a_3 a_5 - a_4^2) a_2}{a_5^4} + \frac{(a_2 a_5^2 - 2a_3 a_4 a_5 + a_4^3) a_3}{a_5^5} + \frac{(a_1 a_5^3 - 2a_2 a_4 a_5^2 - a_3^2 a_5^2 + 3a_3 a_4^2 a_5 - a_4^4) a_4}{a_5^6} \right) x^5.$$

Сравнивая выражения (4) и (1), находим

$$x_* \approx \frac{c_3}{c_4} = \frac{(a_2 a_5^2 - 2a_3 a_4 a_5 + a_4^3) a_5}{a_1 a_5^3 - 2a_2 a_4 a_5^2 - a_3^2 a_5^2 + 3a_3 a_4^2 a_5 - a_4^4}; \quad (5)$$

$$x_* \approx \frac{c_4}{c_5} = \frac{(a_1 a_5^3 - 2a_2 a_4 a_5^2 - a_3^2 a_5^2 + 3a_3 a_4^2 a_5 - a_4^4) a_5}{2a_5^3 (a_1 a_4 + a_2 a_3) - 3a_5^2 a_4 (a_2 a_4 + a_3^2) + 4a_3 a_4^3 a_5 - a_4^5 - a_5^4}. \quad (6)$$

Таким образом, формулы (5) и (6) позволяют найти приближенное значение наименьшего корня алгебраического уравнения пятой степени.

Рассмотрим применение данных формул на конкретном числовом примере. Пусть

$$\begin{aligned} f(x) &= x^5 + (-13 - 6i)x^4 + (64 + 78i)x^3 + (-132 - 384i)x^2 + (80 + 792i)x - 480i = \\ &= (x-1)(x-4)(x-6i)(x-4-2i)(x-4+2i). \end{aligned}$$

Тогда подстановка коэффициентов многочлена в формулу (5) дает

$$x_* \approx 0,9891 + 0,0044i,$$

а в формулу (6) –

$$x_* \approx 0,9972 + 0,0012i.$$

Заключение. В ходе выполнения работы предложен прямой алгоритм нахождения корня алгебраического уравнения через его коэффициенты и на конкретных примерах подтверждена его эффективность.

1. Власова, Е.А. Ряды: учеб для вузов / Е.А. Власова; под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – 3-е изд., исправл. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 616 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМБИНИРОВАННОЙ ИМИТИРУЮЩЕЙ МАСКИРУЮЩЕЙ ПОМЕХИ ДЛЯ ИМПУЛЬСНО-ДОПЛЕРОВСКИХ РЛС ТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ

Чигирь И.В., Кузьмичев Н.К.

адъюнкты УО «ВА РБ», г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель – Горшков С.А., канд. техн. наук, доцент

Эффективным способом подавления импульсно-доплеровских РЛС точного измерения координат (ИД РЛС ТИК) является применение комбинированных имитирующих и маскирующих помех (КИМ-помех). Отраженный от цели сигнал маскируется шумовой составляющей такой помехи, мощность же уводящей помехи (УП) по дальности и/или скорости превышает уровень последней [1, 2]. Создание в САП требуемого уровня помехи не позволяет решить задачу обнаружения цели в сторожевых стробах, снижая эффективность защиты следящего измерителя.

Судить об эффективности помех лучше всего по результатам имитационного моделирования, таким путем удастся получить конкретные данные о вероятностях срыва, захвата, переадресации РЛС, функционирующей в конфликте со средствами РЭП [3].

Целью работы является формирование математической модели временной структуры КИМ-помехи в интересах дальнейшего исследования методов защиты от таких помех в РЛС ТИК.

Материал и методы. Анализ [1-5] позволил синтезировать алгоритм формирования модели КИМ-помехи: 1) формирование модели многократной УП по дальности и/или скорости; 2) формирование модели шумовой помехи; 3) формирование аддитивной смеси с необходимым соотношением уводящей и маскирующей помех.

Проведенные исследования позволили сформировать модель многократной УП по дальности и скорости

$$\xi_{\text{уп}}(t) = \sum_{g=1}^G M_{\text{уп}}(t) e^{j \left[(\omega_0 - \Omega_D) t + 2\pi \frac{a_{\text{уп}g}(t-t_0)}{\lambda} t^2 \right]} \times \sum_{k=0}^{L-1} U_{0k} \left[t - kT_{\text{п}} - \left(\frac{2}{c} r_{\text{вц}}(t) - \frac{a_{\text{уп}g}(t-t_0)}{c} t^2 \right) \right]. \quad (1)$$

где $M_{\text{уп}}(t)$ – случайный комплексный множитель, $a_{\text{уп}}$ – навязываемое ускорение, $\omega_0 = 2\pi f_0$ – круговая средняя несущая частота ЗС, $U_0(t)$ – комплексная огибающая закона модуляции ЗС, $T_{\text{п}}$ – период повторения импульсов ЗС, λ – длина волны, $r_{\text{вц}}(t)$ – закон изменения наклонной дальности ВЦ, c – скорость света, G – количество уводящих помех. Индексом k в комплексном ЗМ одиночного сигнала учитывается возможность переменного периода или вида модуляции.

Для подавления ИД РЛС рациональным является применение прерывистых помех, при этом ширина спектра помех имеет тот же порядок величины, что и полоса пропускания приемника, такие шумы называются доплеровскими. Вариант схемы формирования доплеровского шума в канале скорости представлена на рисунке 1. В соответствии этой схемой в модуляторе происходит амплитудная модуляция принятого и усиленного сигнала случайным колебанием – видеозумом $\eta_1(t)$ и фазовая модуляция видеозумом $\eta_2(t)$. Увод по частоте $\Delta f_{\text{п}}(t)$ производится за счет фазовой модуляции по закону $\varphi(t) = kt$, т. е. по пилообразному закону с изменяющейся крутизной $k(t) = 2\pi \Delta f_{\text{п}} t$.

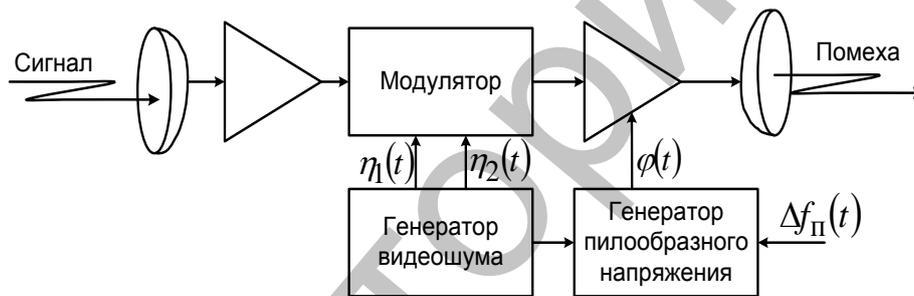


Рисунок 1 – Схема формирования доплеровского шума

Помеховое колебание, таким образом, можно описать следующим выражением

$$\xi_{\text{мп}}(t) = \dot{E}_0(t) [1 + m_a \xi(t)] e^{j \cdot [2\pi [f_0 + \Delta f(t)] t - m_{\phi} \eta(t) - \varphi_0(t)]} \quad (2)$$

где m_a – коэффициент амплитудной модуляции; m_{ϕ} – коэффициент фазовой модуляции.

КИМ-помеха представляет собой аддитивную смесь уводящей (1) и маскирующей помех (2).

$$\xi_{\text{ким}}(t) = \xi_{\text{уп}}(t) + \xi_{\text{мп}}(t) \quad (3)$$

Результаты и их обсуждение. Для проверки адекватности предложенной модели с помощью пакета программ «Моделирование обратного вторичного излучения радиолокационных целей» или «Radar Target Backscattering Simulation» (RTBS) (программы BSS.exe, Target_editor.exe, ProjectModelLA.exe) было проведено математическое моделирование ОС от ВЦ для различных траекторий. При моделировании полагалось: атмосфера влияния не оказывает, воздушная цель – сфера диаметром 1 м, длина волны $\lambda = 3$ см, частота повторения импульсов $F_{\text{п}} = 0.2$ кГц, длительность одиночного импульса – 1 мкс, время когерентного накопления $T_{\text{кн}} = 20$ мс и соответствует 40 импульсам (периодам повторения), общее время наблюдения составляет 5 секунд. В программе ProjectModelLA.exe исследовались восемь траекторий движения ВЦ, в качестве прототипа летательного аппарата выбран истребитель, при этом траекторные флюктуации отсутствуют. Начальные параметры траекторий полагались одинаковыми: наклонная дальность – 30 км, высота – 3 км, азимут 0 град, скорость – 200 м/с, что соответствует частоте вращения вала силовой установки 65%.

Полученные результаты позволяют проанализировать корреляционные свойства помех, характер изменения времени запаздывания, частоты Доплера УП, при этом для ИД РЛС X-диапазона, где разрешающая способность по частоте составляет менее одного килогерца, частотные отличия между УП и ОС можно наблюдать раньше, чем это происходит во временной области.

Заключение. Для анализа эффективности существующих способов защиты следащего измерителя от КИМ-помех разработана ее математическая модель для ИД РЛС ТИК. Данная модель учитывает: временную корреляцию случайных отсчетов; изменение времени запаздывания помехи и угловую модуляцию ретранслируемого сигнала, в отличие от модели, предложенной в [3], учтено действие маскирующих помех (непрерывных, импульсных, прицельных, заградительных). Использование предлагаемой модели КИМ-помехи способствует разработке эффективных способов противодействия уводящим по скорости, дальности и комбинированных помех.

1. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития / под ред. А. И. Канашенкова и В. И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 416 с.

2. Добыкин В. Д., Куприянов А. И., Пономарев В. Г., Шустов Л. Н., Радиоэлектронная борьба. Цифровое запоминание и воспроизведение радиосигналов и электромагнитных волн / В. Д. Добыкин, А. И. Куприянов, В. Г. Пономарев, Л. Н. Шустов; од общ. ред. А. И. Куприянова. – М.: Вузовская книга, 2009. – 360 с.

3. Куприянов А. И., Радиоэлектронная борьба / А. И. Куприянов. – М.: Вузовская книга, 2013. – 360 с.

4. Гейстер С.Р., Адаптивное обнаружение - распознавание с селекцией помех по спектральным портретам – Минск, ВА РБ, 2000 – 172 с.

5. Перунов Ю.М., Фомичев К.И., Юдин Л.М., Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / под ред. Ю.М. Перунова. Изд. 2-е, испр. и дополн. – М.: «Радиотехника», 2008. – 416 с.

О РЕШЕНИИ НЕЛИНЕЙНОГО МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ $X^2 = A$

Якуто К.Л.

*аспирант ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь
Научный руководитель – Трубников Ю.В., доктор физ.-мат. наук, профессор*

Представляет интерес вопрос о наличии положительных решений нелинейного матричного уравнения вида $X^2 = A$, где коэффициентами матрицы A являются положительные числа, и методик, позволяющих находить такого вида корни [1, с. 189].

Цель работы – исследовать метод интерполяционных полиномов для нахождения положительных решений рассматриваемого уравнения.

Материал и методы. В данной работе изучаются возможности использования метода интерполяционных полиномов для решения матричного уравнения $X^2 = A$ для матриц любого порядка, рассматриваются трудности данного метода, предлагаются варианты их разрешения. В процессе проведения исследования использовались пакет символьной математики Maple 18.

Результаты и их обсуждение. Метод интерполяционных полиномов включает в себя три этапа. Первый шаг предусматривает нахождение собственных значений исходной матрицы A . Второй шаг состоит в нахождении интерполяционного полинома, в котором в качестве узлов интерполяции рассматриваются собственные значения. Степень интерполяционного полинома должна быть на единицу меньше, чем размер исходной матрицы. Для нахождения коэффициентов полинома составляются системы уравнений, количество уравнений в которых равно размеру исходной матрицы. В правой части каждого из этих уравнений находится скалярная функция. Подставив в уравнения собственные значения матрицы и решив систему, мы получим коэффициенты полинома. Третий шаг предусматривает представление функции в виде суммы, в которой свободный член из системы уравнений умножается на единичную матрицу того же порядка, что и исходная, коэффициент при λ на исходную матрицу, коэффициент при λ^2 на квадрат исходной матрицы и т. д, где λ – собственные значения матрицы A .

Проиллюстрируем сказанное выше на примере. Постановка задачи: для матрицы X размером 2×2 найти матрицу A , такую что $X^2 = A$ и определить количество матриц, удовлетворяющих поставленному условию. Пусть $A = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 3 \end{pmatrix}$. Собственными значениями для данной матрицы будут иметь вид: $\lambda_1 = \frac{5 + \sqrt{5}}{2}$, $\lambda_2 = \frac{5 - \sqrt{5}}{2}$. Получим четыре системы из двух уравнений с двумя неизвестными: