

УПРАВЛЯЕМЫЕ КОГЕРЕНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПРОЦЕССАХ МОНИТОРИНГА ЖИДКИХ СРЕД

Маклаков В.В.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65

vvmaklakov@mail.ru

Аннотация: В работе рассмотрены управляемые когерентные эффекты, которые реализуются путем модуляции фазы излучения. Показано, что таким образом возможно компенсировать помехи и повысить чувствительность методов.

Ключевые слова: управляемые когерентные эффекты, пассивные и активные помехи, модуляции фазы.

В работе [1] показана возможность создания когерентные помех. Однако в случае управления когерентными эффектами путем модуляции фазы такие помехи могут быть нейтрализованы. В данной работе рассматриваются когерентные эффекты подавления помех. Исследована и установлена закономерность, позволившая разработать новые технические решения для мониторинга процессов в жидких средах.

Цель данной работы – разработка когерентных методов и новых технических решений для мониторинга процессов в жидких средах, а также повышение чувствительности и помехозащищенности систем контроля.

В основе предложенного метода лежат новые радиофизические эффекты. В случае динамики структур любой природы в поле когерентного излучения они одинаково хорошо обнаруживаются путем модуляции фазы когерентных волн. Модуляция фазы осуществляется специально разработанным для этого устройством – триггером фазы. Информация о динамике процессов формируется в величине интенсивности волны суперпозиционного когерентного электромагнитного поля. Данные радиофизические эффекты позволили синтезировать алгоритмы и специальные программные средства подавления помех при мониторинге жидких сред.

Рассеянные когерентные волны смешиваются с опорной когерентной волной, которая модулируется по фазе, что порождает бегущие волны интенсивности – интерференционные поля. Такие когерентные интерференционные поля характеризуются высокой степенью избыточности информации. Они не взаимодействуют с иными внешними электромагнитными полями (нарушается условие когерентности), т. е. с внешними помехами, и, в отличие от эффекта Доплера, содержат информацию о динамике процессов в различных средах [2].

Предложен и реализован способ формирования периодических фазовых структур путем создания устойчивых перевозбужденных состояний и использованием импульсов когерентных электромагнитных полей высоких энергий, что позволит создавать в объеме материалов локальные области с модуляцией $\Delta\xi$, т. е. получать фазовые неоднородности с заданным периодом и высоким разрешением [3].

Суммарное поле интенсивности $J(r)$ найдем, сложив $\psi_1(r, t)$ и $\psi_2(r, t)$ и умножив результат на сопряженную величину.

$$(1) \quad J(r) = a_1^2 + a_2^2 + 2 a_1 a_2 \cos \left[\chi r + \Omega \tau + (\varphi_1 - \varphi_2) - \frac{\pi}{2} \right]$$

где a_1, a_2 – амплитуды когерентных волн; φ_1, φ_2 – их фазы; $\chi = \varphi_1 - \varphi_2$; $\Omega = \omega_2 - \omega_1$; r – размер ячейки, воспринимающей информацию.

Выражение описывает плоскую бегущую когерентную волну интенсивности. Получено математическое выражение, описывающее интенсивность когерентного сигнала J .

$$(2) \quad I_s = \begin{cases} I_b \sin^2 \left[\pi \frac{\Delta n V t}{\lambda} \right], & 0 \leq V t \leq d \\ I_b \left[1 - \frac{d}{V t} \right]^2, & V t \geq d \end{cases}$$

где V – скорость объекта; d – размер объекта; t – время.

Допустим, размеры структур много меньше поля зрения. Пусть на структуры падает сферическая волна, тогда волна на приемнике будет содержать информацию о динамике структур и запишется в следующем виде:

$$(3) \quad F = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{r=0}^R \exp \left(i \frac{\pi}{\lambda l} r^2 \right) \exp(k + ip) r dr d\varphi$$

Поле зрения считается разбитым на N независимых ячеек, излучающих волны $\exp(i\varphi k)$; φ_1 – сдвиг фазы, вносимый объектом; ξ – шум, вызванный нестационарностью структур.

Мощность, падающая на приемник:

$$(4) \quad \begin{aligned} W = FF^* &= \left[\sum_{k=1}^N \exp(-i\varphi_k) - \exp(-i\varphi_1) + \exp(i(\varphi_1 + \Psi_1)) + \xi \right] \times \\ &\times \left[\sum_{k=1}^N \exp(-i\varphi_k) - \exp(-i\varphi_1) + \exp(i(\varphi_1 + \psi_1)) + \xi^* \right] = \\ &= N + \sum_{p \neq q} \exp(i(\varphi_p - \varphi_q)) - \sum_k \exp(i(\varphi_k - \varphi_1)) - \sum_k \exp(-i(\varphi_k - \varphi_1)) + |\xi|^2 - \\ &- 2 \cos(\psi_1) + \sum_k \exp(i(\varphi_k - \varphi_1 - \psi_1)) + \sum_k \exp(-i(\varphi_k - \varphi_1 - \psi_1)) + \\ &+ \xi \left[\sum_k \exp(-i\varphi_k) - \exp(-i\varphi_1) + \exp(-i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] + \\ &+ \xi^* \left[\sum_k \exp(i\varphi_k) - \exp(i\varphi_1) + \exp(i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] \end{aligned}$$

Средняя мощность, падающая на приемник:

$$(5) \quad E(W) = E(FF^*) = N + D(\xi) - 2 \cos(\varphi_1)$$

где $D(\xi)$ – дисперсия шума нестационарного рельефа; W – мощность падающей волны.

При динамике структур мощность, падающая на приемник, начнет изменяться. Это изменение и несет информацию о движении объекта. Оценим средний модуль этого изменения, который соответствует средней энергии информационного сигнала.

В этом случае:

$$(6) \quad W = N + \sum_{p \neq q}^N \exp(i(\varphi_p - \varphi_q)) + 4 \sin\left(\frac{\psi_1}{2}\right) \sum_k^N \cos((\varphi_k - \varphi_1 - \psi_1)) - 2 \cos(\psi_1)$$

Дисперсия этого выражения при движении объекта, а следовательно, ψ_1

$$(7) \quad D = E \left[4 \sin\left(\frac{\psi_1}{2}\right) \sum_k^N \cos(\varphi_k - \varphi_1 - \psi_1) \right]^2 = 16 \sin^2\left(\frac{\psi_1}{2}\right) \frac{1}{2} N$$

Таким образом, информационный сигнал подвижного объекта запишется в следующем виде:

$$(8) \quad I_0 = 2\sqrt{2N} \left| \sin\left(\frac{\psi_1}{2}\right) \right|$$

где I_0 – средняя энергия информационного сигнала объекта N – энергия всего сигнала.

Из этого выражения видно, что переменный во времени сигнал динамических структур усиливается пропорционально корню интенсивности постоянного во времени когерентного излучения. Однако для практических нужд достаточно ограничиться некоторой конечной областью.

Для определения соотношения сигнал/шум оценим колебания энергии на приемном устройстве в случае динамических структур.

$$(9) \quad \begin{aligned} & \xi \left[\sum_k^N \exp(-i\varphi_k) - \exp(-i\varphi_1) + \exp(-i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] + \\ & + \xi^* \left[\sum_k^N \exp(i\varphi_k) - \exp(i\varphi_1) + \exp(i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] + \\ & + \xi \left[\sum_k^N \exp(-i\varphi_k) - \exp(-i\varphi_1) + \exp(-i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] + \\ & + \xi^* \left[\sum_k^N \exp(i\varphi_k) - \exp(i\varphi_1) + \exp(i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] = \\ & = \xi \left[\sum_k^N \exp(-i\varphi_k) - \exp(-i\varphi_1) + \exp(-i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] + \\ & + \xi^* \left[\sum_k^N \exp(i\varphi_k) - \exp(i\varphi_1) + \exp(i(\varphi_1 + \psi_1)) \right]^2 \\ & \left[\xi \left[\sum_k^N \exp(-i\varphi_k) - \exp(-i\varphi_1) + \exp(-i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] + \xi^* \left[\sum_k^N \exp(i\varphi_k) - \exp(i\varphi_1) + \exp(i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] \right] + \\ & \left[\xi \left[\sum_k^N \exp(-i\varphi_k) - \exp(-i\varphi_1) + \exp(-i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] + \xi^* \left[\sum_k^N \exp(i\varphi_k) - \exp(i\varphi_1) + \exp(i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] \right] = \\ & = \left[\xi \left[\sum_k^N \exp(-i\varphi_k) - \exp(-i\varphi_1) + \exp(-i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] + \xi^* \left[\sum_k^N \exp(i\varphi_k) - \exp(i\varphi_1) + \exp(i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] \right]^2 \end{aligned}$$

Математическое ожидание этого выражения равно

$$(10) \quad 2D(\xi)(N - 2 \cos(\psi_1)) = 4ND(N - 2 \cos(\psi_1))$$

где D – дисперсия шума одной элементарной ячейки структур.

Средняя энергия шума:

$$(11) \quad \sqrt{4ND(N - 2 \cos \psi_1)}$$

Пусть за время движения структур через поле зрения фаза элементарной ячейки структур распределена равномерно в интервале $(-1, 1)$.

Из выражения (11) видно, что влияние нестационарности внешней среды на информационный сигнал объекта является незначительным.

В работе показано, что в случае управления когерентными эффектами помехи компенсируются. Управляемые когерентные эффекты открывают возможность создать новый класс методов контроля динамики структур различных сред.

Литература

1. Федосов Е., Горохов В., Зданович И., Слатин В. Когерентные помехи как эффективное средство защиты авиационных комплексов // Радиоэлектронные технологии. 2016, №1
2. Скотт Э. Нелинейная наука. Рождение и развитие когерентных структур. – М.: Физматлит. 2007.
3. Бутковский А.Г. Управление квантово-механическими процессами. – М.: Наука. 1984.