

УДК 621.396.96:621.391.26

МНОГОСИГНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СПИНОВЫМ ЭХО-ПРОЦЕССОРОМ

Е. А. Ильина, М. М. Ковалевский, В. Б. Устинов

Исследована реакция спинового эхо-процессора на пять финитных сигналов. Показано, что некоторые операции над сигналами в эхо-процессорах могут быть осуществлены при увеличении количества управляющих сигналов более простым образом, чем предполагалось ранее. В качестве примера рассмотрена возможность корреляционной обработки сигналов, длительность которых может превышать времена релаксации рабочего вещества процессора.

Известные ранее выводы о возможности использования спиновых эхо-процессоров для обработки радиосигналов были получены из анализа поведения намагниченности рабочего вещества при воздействии двух- или трехимпульсных сигналов с прямоугольной огибающей [1] импульсов с линейной частотной модуляцией [2], двух или трех финитных сигналов с произвольной внутренней структурой [3]. Возможные виды обработки сигналов, описанные в [4, 5], являются следствием результатов, полученных в [3] и позднее при менее жестких предположениях относительно параметров сигналов в [6]. Ряд операций над сигналами (перемножение двух сигналов, например) при использовании двух- или трехимпульсного режима работы эхо-процессора требует построения двух- или даже трехканального процессора [4], причем в каждом канале один или два сигнала являются управляющими. Как будет показано ниже, подобные операции могут быть выполнены в одноканальном процессоре при использовании нескольких управляющих сигналов.

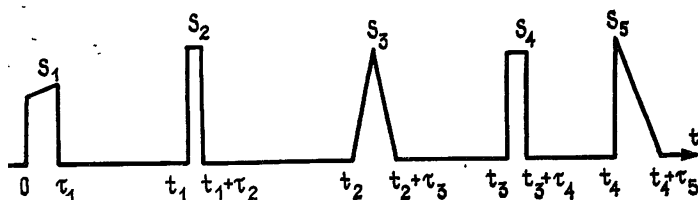


Рис. 1. Расстановка действующих сигналов по времени.

Рассмотрим действие на рабочее вещество процессора пяти произвольных финитных сигналов (рис. 1). Для упрощения расчетов предположим, что длительности сигналов τ_k существенно меньше времен релаксации, $\tau_k \ll T_{1,2}$, а интервалы между сигналами могут быть сравнимы с временами релаксации. Используя решение уравнений движения намагниченности вещества в течение времени действия сигнала и в интервалах между сигналами [3, 6], можно найти выражение для спектра поперечной составляющей намагниченности после последнего (пятого) сигнала, содержащее информацию о 81 эхо-сигнале, возникающем в результате действия пяти импульсов. Некоторые из них виртуальны и в эксперименте не наблюдаются.

Из всего многообразия эхо-сигналов выделим сигнал, спектр которого определяется произведением первых степеней спектров всех действующих сигналов. Такой эхо-сигнал возникает в момент времени $t = t_4 + t_3 - t_2 + t_1$ и описывается выражением

$$m_+(t) = A \exp\left(-\frac{t_4 - t_3 + t_2 - t_1}{T_1}\right) \exp\left(-\frac{t - t_4 + t_3 - t_2 + t_1}{T_2}\right) \times \\ \times \int_{-\infty}^{\infty} g(\omega) S_1^*(\omega) S_2(\omega) S_3^*(\omega) S_4(\omega) S_5(\omega) \times \\ \times \left(\prod_{k=1}^5 \frac{\sin |S_k|}{|S_k|}\right) \exp[j\omega(t - t_4 - t_3 + t_2 - t_1)] d\omega. \quad (1)$$

Здесь $A = \text{const}$, $S_k(\omega)$ — спектральные плотности действующих сигналов, t_k — моменты их действия, $k = 1, 2, 3, 4$, $g(\omega)$ — функция формы линии поглощения, $m_+(t)$ — комплексная поперечная составляющая намагнитченности вещества. Данный сигнал эха возникает при любой временной расстановке подаваемых на рабочее вещество сигналов, удовлетворяющей естественному условию $0 < t_1 < t_2 < t_3 < t_4$. Без учета множителей в (1), учитывающих затухание эхо-сигнала по амплитуде за счет релаксационных процессов, для спектра эхо-сигнала получим

$$S_{\text{эхо}}(\omega) = A g(\omega) S_1^*(\omega) S_2(\omega) S_3^*(\omega) S_4(\omega) S_5(\omega) \prod_{k=1}^5 \frac{\sin |S_k|}{|S_k|},$$

а в приближении слабых сигналов, $|S_k| < \pi/6$, —

$$S_{\text{эхо}}(\omega) \cong A g(\omega) S_1^*(\omega) S_2(\omega) S_3^*(\omega) S_4(\omega) S_5(\omega). \quad (2)$$

Необходимо отметить, что эхо-сигнал, описываемый выражениями (1) и (2), является вторичным эхо. Механизм его возникновения поясняется рис. 2, где обозначены моменты подачи сигналов и возникновения эхо-сигналов и их спектры. Из рисунка видно, что сначала образуется стимулированное (прямое) эхо от третьего, четвертого и пятого сигналов, а эхо-сигнал (1) является прямым эхо от первого, второго сигналов и указанного первичного эха.

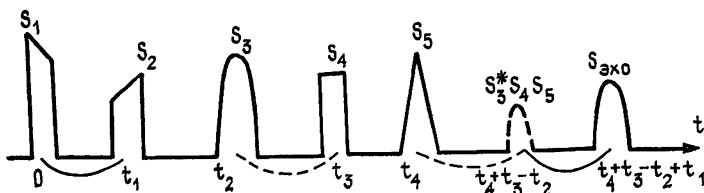


Рис. 2. Схема образования эхо-сигнала (2).

Если первый и третий сигналы сформировать короткими δ -импульсами (при этом $S_{1,2}(\omega) \cong \text{const}$), то спектр эхо-сигнала будет определяться произведением спектров остальных трех сигналов, если их спектры уже линии поглощения:

$$S_{\text{эхо}}(\omega) \sim A' S_2(\omega) S_4(\omega) S_5(\omega),$$

и эхо-сигнал можно рассматривать как свертку второго и четвертого сигналов, например, а пятый сигнал может быть использован для дополнительной весовой обработки свертки.

Если управляющим δ -импульсом является пятый сигнал, то эхо-сигнал является сверткой взаимокорреляционных функций от первой и второй пар сигналов. Действительно, из (2) следует

$$S_{\text{эхо}}(\omega) \sim A'' [S_1^*(\omega) S_2(\omega)] [S_3^*(\omega) S_4(\omega)].$$

Таким образом, увеличение количества действующих на эхо-процессор сигналов позволяет осуществить операции типа многократной свертки в общем случае разных сигналов.

Можно показать, что эхо-сигналы, спектры которых определяются произведениями первых степеней спектров действующих сигналов, возникают при действии на эхо-процессор нечетного числа сигналов (5, 7, ...). По сути дела, эхо-сигналы типа (1) являются обобщением сигналов трехимпульсного стимулированного эха.

Пятиимпульсное воздействие позволяет осуществить в одноканальном эхо-процессоре операцию перемножения двух финитных сигналов. Наиболее наглядно это можно показать, анализируя один из эхо-сигналов, образующийся по двух- и трехимпульсному методам в момент времени

$$t = 2t_4 + t_3 - 4t_2 + t_1. \quad (3)$$

Его спектр в малосигнальном приближении определяется выражением

$$S_{\text{эхо}}(\omega) = Bg(\omega) S_1(\omega) S_2(\omega) S_3^{*4}(\omega) S_4(\omega) S_5^2(\omega). \quad (4)$$

Образуется данный сигнал по следующей схеме (рис. 3): сначала образуется два зеркальных эхо-сигнала по двухимпульсному методу от первого и третьего и второго и третьего сигналов со спектрами:

$$S_{\text{эхо}}^{(1,2)} \sim S_{1,2}^*(\omega) S_3^2(\omega),$$

сигналы возникают в моменты времени $2t_2$ и $(2t_2 - t_1)$ соответственно. Затем эти два эхо-сигнала вместе с четвертым сигналом образуют стимулирование эхо со спектром

$$S_{\text{эхо}}^{(3)} \sim S_4^*(\omega) S_{\text{эхо}}^{(1)}(\omega) S_{\text{эхо}}^{(2)}(\omega) = S_4^*(\omega) S_1^*(\omega) S_3^2(\omega) S_2^*(\omega) S_3^2(\omega)$$

в момент времени $4t_2 - t_3 - t_1$. На последнем этапе образуется двухимпульсное эхо от пятого сигнала и стимулированного эха:

$$S_{\text{эхо}}(\omega) \sim S_{\text{эхо}}^{(3)} S_5^2(\omega) = S_1(\omega) S_2(\omega) S_3^{*4}(\omega) S_4(\omega) S_5^2(\omega).$$

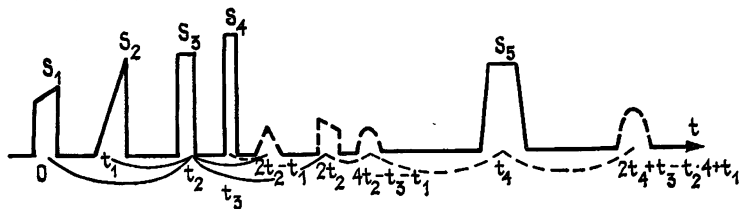


Рис. 3. Схема образования эхо-сигнала (4).

Возможная расстановка перемножаемых и управляющих сигналов для вычисления произведения двух финитных сигналов приведена на рис. 4. Здесь третий, четвертый и пятый сигналы являются управляющими, а первый и второй перемножаемыми, пятый и третий сигналы должны быть импульсами с линейной частотной модуляцией, а четвертый — δ -импульсом. При этом эхо-процессор работает по схеме,

предложенной в [4] для вычисления произведения двух сигналов в трехканальном процессоре. ЛЧМ-сигналы необходимы для осуществления фурье-преобразования предшествующих сигналов по двухимпульсному методу [7].

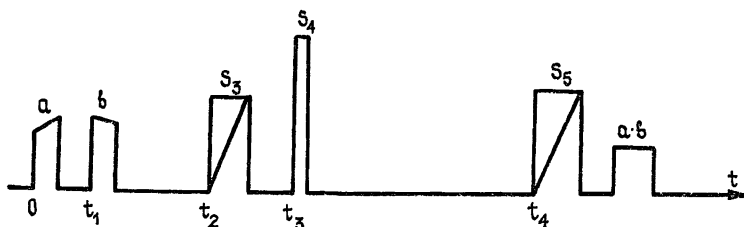


Рис. 4. Схема умножения сигналов a и b .

Из рис. 4 и выражения для момента образования эхо-сигнала (3) видно, что для сокращения времени обработки необходимо по возможности уменьшить интервалы между вторым и третьим и третьим и четвертым сигналами. Тогда из (3) легко получить условие, определяющее временное положение последнего управляющего сигнала: $t_4 \geq 2t_3$.

Реализация операции перемножения двух сигналов в одноканальном эхо-процессоре позволяет упростить решение задачи об обработке сигналов, длительность которых сравнима с временами релаксации рабочего вещества. При обработке длительных сигналов происходит не только затухание эхо-сигнала по амплитуде, но и существенное искажение их формы [8]. В [8] предлагалось для ликвидации таких искажений ввести предискажения обрабатываемых сигналов по закону, который бы позволил компенсировать влияние релаксационных процессов на форму сигналов эха. При этом, однако, сильно усложняется схема управления процессором.

Для упрощения данной процедуры можно использовать описанный выше способ перемножения двух сигналов, если в качестве перемножаемых сигналов подать на рабочее вещество эхо-процессора спектры обрабатываемых сигналов, которые необходимо получить с помощью какого-либо спектроанализирующего устройства, работающего в реальном времени. Такая операция может быть проведена, например, в фильтрах на поверхностно-акустических волнах. После перемножения спектров можно осуществить в этом же эхо-процессоре фурье-преобразование полученного произведения [7] с целью получения свертки сигналов или их корреляционной функции. Влияние релаксационных процессов на форму отклика будет исключено, если временной интервал, занимаемый спектрами обрабатываемых сигналов, существенно меньше времен релаксации вещества.

Предлагаемый метод позволит, по-видимому, расширить класс сигналов, обрабатываемых в спиновых эхо-процессорах.

Большое количество эхо-сигналов, возникающих в эхо-процессоре при увеличении числа управляющих сигналов, существенно не может ограничить применение данного способа, так как все лишние эхо-сигналы могут быть подавлены с помощью сильных «стирающих» импульсов [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Fernbach S, Proctor W G. — J. Appl. Phys., 1955, 26, p. 170.
2. Mims W. B. — Proc. IEEE, 1963, 51, p. 1127.
3. Устинов В. Б., Рассветалов Л. А., Ковалевский М. М. — Изв. Ленинградского электротехнического ин-та, 1974, вып. 135, с. 10

4. Касаткин А. В., Протодьяконов А. М., Рассветалов Л. А., Сааков Э. О., Устинов В. Б. — Техника средства связи. Сер. Техника радиосвязи. 1977, вып. 3, с. 110.
5. Ковалевский М. М., Сааков Э. О., Устинов В. Б. — Изв. вузов — Радиофизика, 1982, 25, с. 708.
6. Ковалевский М. М. Статья депонирована в ВИНТИ, рег. № 3688-82. Деп. от 9 июля 1982 г.
7. Соколов С. Л., Иванов Ю. В. — Радиотехника и электроника, 1979, 24, с. 99.
8. Васильев А. А., Евстигнеев Ю. Ф., Ковалевский М. М. — Техника средств связи. Сер. Техника радиосвязи, 1982, вып. 2, с. 103.
9. Скобляков С. Н., Устинов В. Б. — Изв Ленинградского электротехнического ин-та, 1979, вып. 245, с. 63.

Новгородский политехнический институт

Поступила в редакцию
3 мая 1984 г.

SPIN-ECHO PROCESSOR MULTISIGNAL CONTROL

E. A. Il'ina, M. M. Kovalevskij, V. B. Ustinov

The spin-echo processor response to five finite signals is investigated. It is shown that some operations with the signals can be performed in the echo processors using an increased number of control signals through a simpler technique than it has been presumed earlier. As an example, possibility of correlation processing is considered, where signal duration may exceed the relaxation times of a working substance of the processor.

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, том 61, вып. 2

Артюх В. С. Наблюдения квазаров из парксского обзора на частоте 102 МГц.

На частоте 102 МГц методом мерцаний исследована структура 101 кандидата в квазары из Парксского обзора в области склонений $\pm 4^\circ$. Высокая степень компактности источников указывает на то, что они остаются квазизвездными и в диапазоне метровых волн. Почти все точечные компоненты источников (масштаба $0''$, 1) имеют плоские или инвертированные спектры.

Железняков В. В., Литвинчук А. А. О роли индуцированных процессов при излучении аннигиляционных линий в космических источниках. I.

В этой статье и следующей за ней статье II исследуется вклад индуцированных процессов в создание аннигиляционных линий, а также тесно связанная с ними проблема реализации аннигиляционного гамма-лазера в космических условиях. В статье I записаны общие уравнения динамики двухквантовой аннигиляции электропозитронных пар и получены упрощенные уравнения для потока излучения в линии, аналогичные уравнениям двухуровневой системы с двухквантовыми переходами. Рассмотрена динамика аннигиляции в приближении постоянной во времени концентрации частиц.

Новиков А. Ю., Попов М. В., Согласнов В. А., Брук Ю. М., Устименко Б. Ю. Наблюдения пульсара PSR 0809+74 на частоте 25 МГц с временным разрешением 100 мкс.

Проведены наблюдения радиоизлучения пульсара PSR 0809+74 на радиотелескопе УТР-2 на частоте 25 МГц с временным разрешением 100 мкс. Обнаружена микроструктура индивидуальных импульсов с характерным временным масштабом 2—4 мс. Наблюдается дрейф субимпульсов с периодами $P_3 = 11 P_1$ и $P_2 = 60$ мс. Подтверждается наличие поглощения в среднем профиле.

Петрухин Н. С., Файнштейн С. М. О параметрической генерации альвеновских и звуковых волн в атмосфере Солнца. Однородная среда.

Рассматривается параметрическая генерация альвеновских и звуковых волн в однородном слое плазмы. Выяснены условия возбуждения волн при различном отношении магнитного и газокINETического давления. Найдены коэффициенты нелинейного рассеяния волн в слое солнечной плазмы.