



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 629.783

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИИ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БРЛС (БОРТОВАЯ РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СТАНЦИЯ)

Урамбеков Э.Б.

ФГАОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ", Санкт-Петербург, Россия (190121, город Санкт-Петербург, Большая Морская ул., д.67 лит. а), e-mail: yra_517@mail.ru

Проведенный анализ эффективности обнаружения позволяет сделать вывод о том, что повышение разрешающей способности и дальности до цели наиболее эффективным является использование внутриимпульсной модуляции. Причем из всех известных методов модуляции самыми эффективными являются фазоманипулированные сигналы (ФМнС).

Ключевые слова: Радиолокационный сигнал, ЭПР, числодискретов, ФМС, точность по дальности, генератор-кода, согласованный фильтр.

DEVELOPMENT OF A PHASE-MANIPULATED SIGNAL FUNCTION MODEL TO IMPROVE RADAR RESOLUTION

Urambekov E.B.

ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF AEROSPACE INSTRUMENTATION, St. Petersburg, Russia (190121, Bolshaya Morskaya str., 67 letter a), e-mail: yra_517@mail.ru

The analysis of the detection efficiency allows us to conclude that increasing the resolution and range to the target is most effective using intra-pulse modulation/ Moreover, of all known modulation methods, phase-manipulated signals (FMNs) are the most effective.

Keywords: Radar signal, EPR, number of samples, FMS, range accuracy, code generator, matched filter.

Радиолокационный фазоманипулированный сигнал (ФМнС) относится к классу дискретно кодированных сигналов (ДКС), в которых кодирование выполняется по фазе (ФДКС), обладающих большой длительностью и широким спектром. Рассматриваемый ФМнС представляет собой импульс с внутриимпульсной фазовой манипуляцией, повторяющийся с некоторым периодом. Манипуляция фазы осуществляется последовательностью примыкающих друг к другу N простых импульсов одинаковой (обычно прямоугольной) формы, начальные фазы высокочастотного заполнения которых принимают

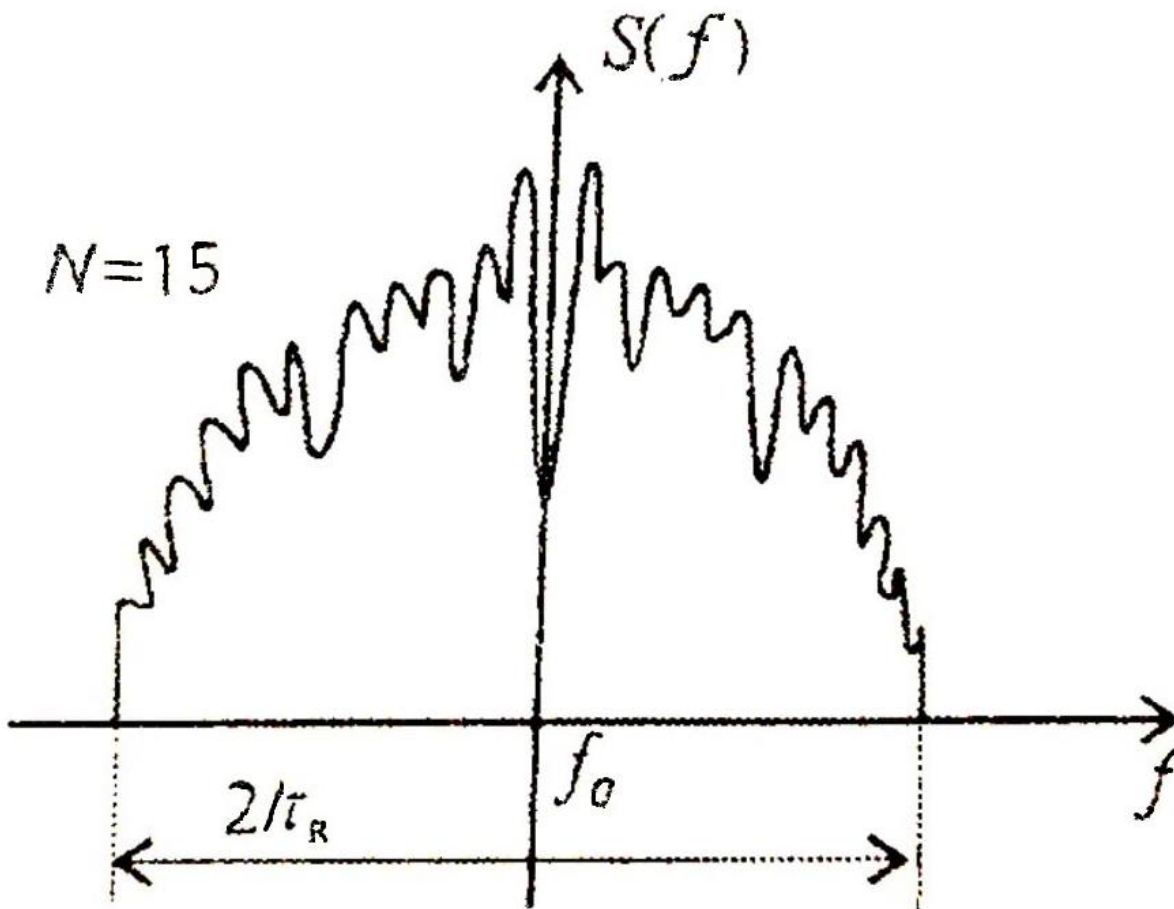


Рисунок 1 – Спектр ФМнС

При оптимальной обработке ФМнС имеется возможность разделения сигналов на выходе, импульсы которых на входе перекрываются. Это позволяет увеличивать длительность импульса τ без ухудшения разрешающей способности по дальности. Функция неопределенности ФМС соответствует характеризует влияние временного τ и частотного F сдвигов принимаемого сигнала по отношению к ожидаемому и может быть представлена моделью, показанной на Рисунке 2[1].

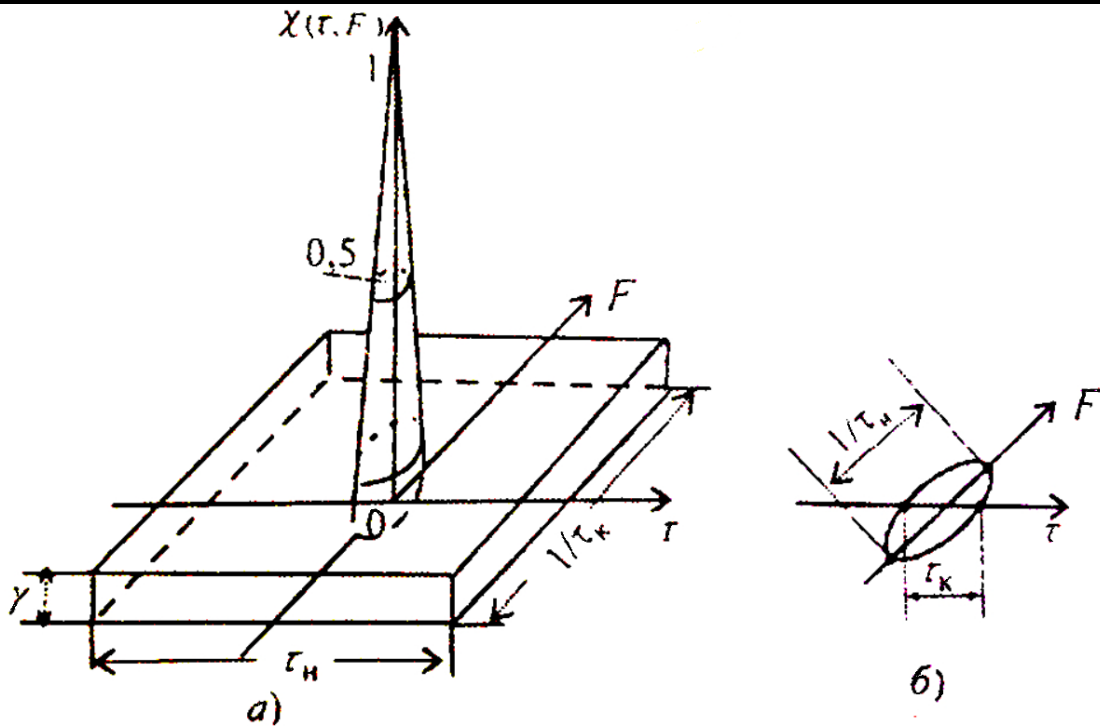


Рисунок 2 – Модель функции (а) и диаграммы неопределенности ФМнС (б)

Ширина спектра сигнала на выходе оптимального приемника по нулевому уровню будет тем меньше, чем больше длительность τ_n импульса ФМнС. Поэтому, чем больше τ_n , тем лучше разрешающая способность радиолокатора ФМнС по скорости.

Корреляционная функция импульса ФМнС имеет боковые лепестки, уровень которых тем меньше, чем больше число дискретов в импульсе ФМС. Эти боковые лепестки могут затруднить обнаружение слабого ФМС если вблизи от обнаруживаемой цели имеется другая цель с большей ЭПР. Из сказанного выше следует, что последовательность (код) надо выбирать таким образом, чтобы получить узкий пик корреляционной функции и малый уровень боковых лепестков последней. Для увеличения коэффициента сжатия, а, следовательно, улучшения разрешающей способности и точности при измерении дальности необходимо использовать импульс ФМнС с большим количеством дискретов N т.е. осуществлять манипуляцию фазы более эффективным кодом, чем код Баркера. С этой целью на практике наиболее часто используют коды на основе M -последовательностей (коды максимальной длины), строящихся как линейные рекуррентные двоичные последовательности [2].

Фазоманипулированные M - последовательностями сигналы по своим свойствам приближаются к «шумоподобным», параметры которых модулируются по случайному закону. Последние близки к идеальному сигналу, имеющему единственный узкий пик тела неопределенности в точке $t = 0, F = 0$ и равномерные остатки над остальной частью плоскости $t \in F$, что обеспечивает высокую разрешающую способность и точность по дальности и скорости.

Структурная схема (Рисунок 3) включает в себя устройство формирования ФМС (ФФМС) состоящее из генератора кода (ГК) и формирователя фазоманипулированного сигнала (ФС). Генератор кода содержит семиразрядный регистр сдвига с обратной связью, вырабатывающий М-последовательность для $N = 127$ с длительностью дискрета 0,4 мкс. Источником несущей частоты служит генератор ФС или генератор стандартных сигналов (ГГС), который используется при снятии графика функции $R(\tau, F)$.

Синхронизатор (Сх) предназначен для получения сетки стабильных во времени частот, обеспечивающих синхронную работу всех функциональных блоков, в частности, последовательности тактовых импульсов для регистра сдвига ГК. Полученный ФМС усиливается в усилителе мощности (УМ) и подается для обработки на согласованный фильтр (СФ) и следующий за ним детектор (Д).

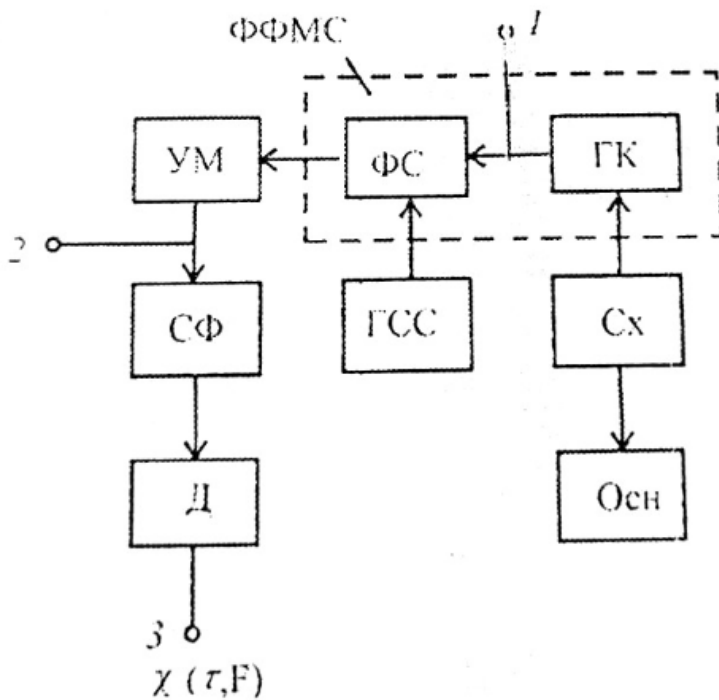


Рисунок 3 – Структурная схема установки для генерации зондирующего фазоманипулированного сигнала

На основе проведенного анализа так же разработана функциональная схема бортового радиолокатора, включающая в себя устройство формирования ФМн-сигнала и устройство обработки на основе согласованного фильтра [3].

Для генерации зондирующего сигнала использованы М-последовательности (коды максимальной длины), строящиеся как линейные рекуррентные двоичные последовательности.

Основными характеристиками М-последовательностей являются:

1. база $V = F \cdot T$, где F - полоса сигнала, $T = M \cdot \tau_0$ - длительность сигнала, состоящего из «М» временных дискретов τ_0 .

Если $F = 1/\tau_0$, то $V = M \gg 1$;

2. М-последовательности формируются с помощью “m”-разрядного регистра сдвига с обратной связью, построенной по правилу $V_{iX} "1" + V_{iX} "m" = V_{XOД} "1"$ (Рисунок 4):

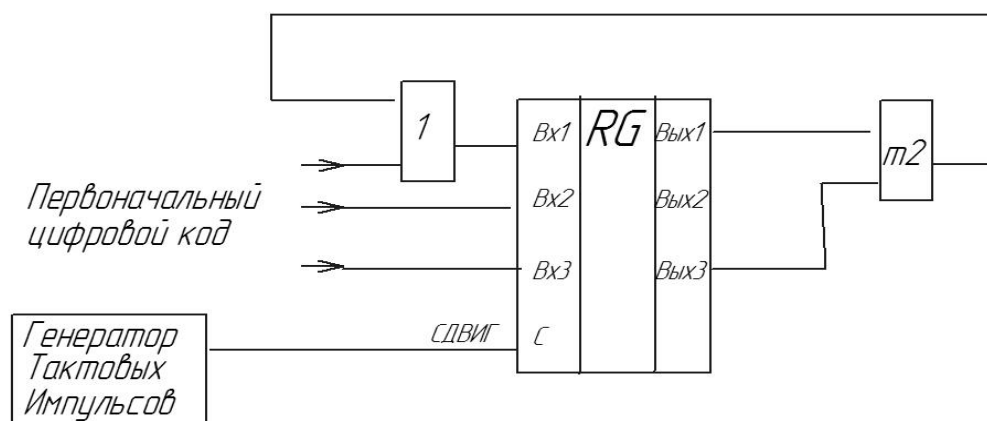


Рисунок 4 – Схема формирования M-последовательности

3. коэффициент взаимной корреляции $R_{ij} = (\text{числу совпадающих символов (дискретов)} - \text{число несовпадающих символов}) / \text{общее число символов} = -1/M$, т.е. сигналы квазиортогональны. Подобные сигналы, имеющие высокий коэффициент автокорреляции и низкий – взаимной корреляции, получили название «псевдошумовые» или «шумободобные», имея ввиду тот факт, что по корреляционным свойствам рассматриваемые сигналы близки к белому шуму;

4. ансамбль M-последовательностей $Q = M$;

5. форма любой M-последовательности отличается от любой другой временным сдвигом на один-два-три- и т.д. дискрета, что подтверждается формулой для периода $T_M = M \cdot \tau_0$, т.е. длительность M-последовательности определяется числом разрядов регистра: $T_M = M \cdot \tau_0 = 2^m - 1 = 7$.

Функциональная схема передающей части устройства представлена на Рисунке 5.

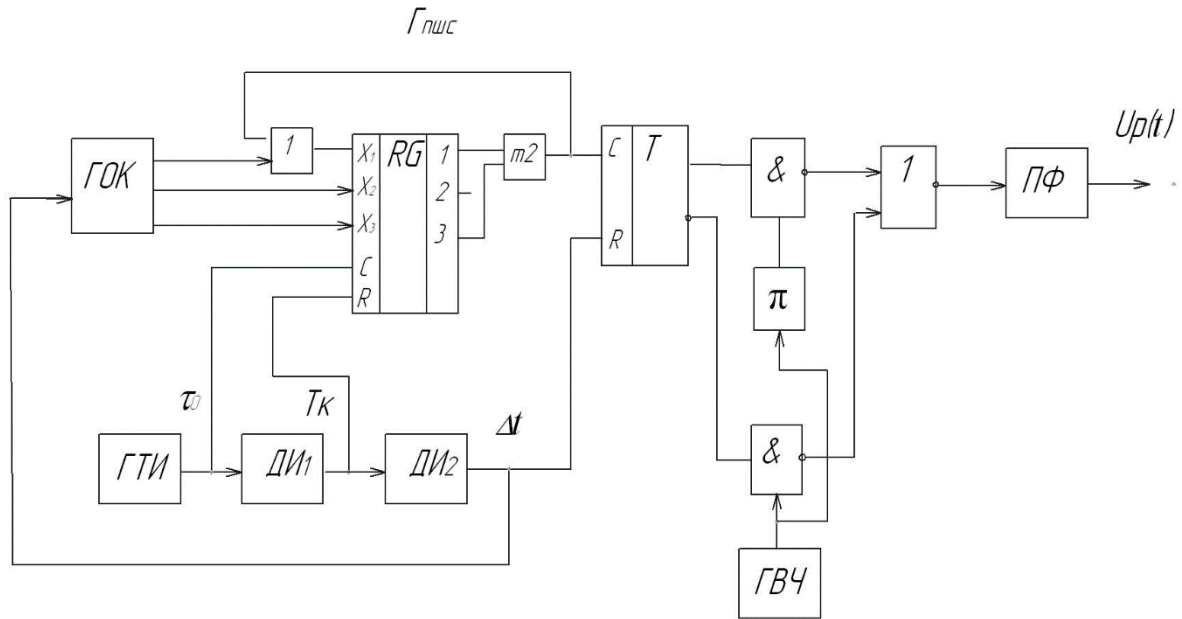


Рисунок 5 – Функциональная схема формирователя ФМн - сигнала

В состав передающей части формирователя входят генератор псевдошумовых ПШС - сигналов $\Gamma_{пшс}$, вырабатывающий одну из M – последовательностей M_1 из ансамбля, равного $M=7$, генераторное оборудование для формирования импульсных последовательностей:

1. с периодом τ_0 тактовой частоты (частота дискретов ПШС),
2. с длительностью T_k (длительность зондирования объекта) и периодом

$\Delta t = T_{изм}$ (период измерения), генератор опорного кода ГОК, управляющий триггер Т и высокочастотный передатчик, состоящий из модулятора М, генератора высокой частоты ГВЧ и полосового фильтра ПФ. В состав модулятора входят две схемы совпадения и фазовращатель на π .

Работу устройства формирования обеспечивает генераторное оборудование, в состав которого входят генератор тактовых импульсов ГТИ и делители импульсов ДИ1 и ДИ2. Сигналы задающего генератора тактовых импульсов ГТИ подаются на делитель частоты ДИ1 с коэффициентом деления, равном базе $M=7$. На выходе ДИ1 образуется сигнал, длительность которого определяется базой ПШС, и равна $7\tau_0$. Второй делитель ДИ2 (Рисунок 5) с коэффициентом деления равном скважности зондирующих импульсов, обеспечивает получение интервала $T_{изм}$, соответствующего дальности однозначного измерения R_{max} .

Генератор M -последовательности собран на 3-х разрядном регистре сдвига RG с обратной связью, объединяющей с помощью сумматора $m2$ два выхода регистра (1-й и 3-й) с входом первого триггера.

Генератор опорного кода ГОК формирует $m = 3$ символа (по числу триггеров регистра),

которые по сигналу $T_{изм}$, образованному на выходе ДИ2, записываются в триггеры регистра T1–T2 – T3, например 101. Далее, через $2^m - 1 = 7$ тактов образуется последовательность вида 1001110, которая и поступает через управляющий триггер на модулятор ФМн.

Генерируемая М-последовательность может сниматься с любого триггера или с любого сумматора по модулю 2. При этом вид ПШС не меняется, а лишь возникает сдвиг между М-последовательностями на целое число тактов τ_0 .

Триггер Т управляет схемами совпадений И2, открывая одну из них и закрывая другую. На одну схему И2 поступает сигнал с генератора высокой частоты ГВЧ непосредственно, на другую – через фазосдвигающую на 180^0 цепь. Выходное (результатирующее) напряжение $U_p(t)$ представляет собой непрерывный фазоманипулированный сигнал высокой частоты.

Для получения импульсов ФМнС необходимо замыкать цепь обратной связи в генераторе $\Gamma_{пшс}$ только на время, соответствующее длительности импульса τ_k .

На выходе высокочастотной части формирователя ставятся полосовой фильтр ПФ и антенна WA (на схеме не показаны).

Заключение.

Оптимальная обработка ФМн – сигналов предусматривает формирование на выходе устройства обработки корреляционного интеграла и может осуществляться фильтровыми или корреляционными схемами. С помощью этих схем производится сжатие импульса ФМнС, т.е. получение корреляционной функции $R(t,f)$ в виде узкого пика в начале координат t,f и минимального уровня боковых лепестков этой функции.

Список литературы

1. Информационные технологии в радиотехнических системах/В.А.Васин, И.Б.Власов, Ю.М.Егоров и др. МГТУ им.Баумана, 2004.
2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М., Радио и связь, 1985.
3. Анализ функционирования бортовых радиолокационных комплексов мониторинга наземной обстановки в интересах поиско-спасательных служб./ Урамбеков Э.Б., Филиппов А.А., Сазанов И.Н. Инновации.Наука.Образование. 2020.№12. С. 510-520.

References

1. Information technologies in radio engineering systems/V.A.Vasin, I.B.Vlasov, Yu.M.Egorov and others.Bauman, 2004.
 2. Varakin L.E. Communication systems with noise-like signals. M., Radio and Communications, 1985.
 3. Analysis of the functioning of airborne radar systems for monitoring the ground situation in the interests of search and rescue services./ Urambekov E.B., Filippov A.A., Sazanov I.N. Innovations.Science.Education. 2020.No.12. pp. 510-520.
-