

ВЫБОР СПОСОБА МОДУЛЯЦИИ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ**Шарипов Гиёсжон Нуридинович**

Магистрант совместной образовательной программы (НИЯУ МИФИ, ташгту, 1+1)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7063652>

Аннотация. Для надежного функционирования узлов и блоков радионавигационных приборов в их структуре используются цифровые устройства. При этом основное значение приобретает выбор способа модуляции цифровых сигналов, от которого зависит улучшение помехоустойчивости радионавигационного прибора воздушного судна.

Ключевые слова: цифровой сигнал, помехоустойчивость, модуляция, радионавигационный прибор, цифровые устройства.

CHOOSING A DIGITAL SIGNAL MODULATION METHOD

Abstract. Digital devices are used in their structure for the reliable functioning of nodes and blocks of radio navigation devices. At the same time, the main importance is the choice of the method of modulation of digital signals, on which the improvement of the noise immunity of the aircraft's radio navigation device depends.

Keywords: digital signal, noise immunity, modulation, radio navigation device, digital devices.

ВВЕДЕНИЕ

Перспективность цифровых устройств вытекает из того факта, что их использование позволяет значительно повысить помехоустойчивость, увеличить надежность, реализовать конкретные устройства с помощью ограниченного числа типов интегральных микросхем. Это привлекло большой интерес исследователей и привело к появлению большого количества отечественных и зарубежных опубликованных работ, где освещены вопросы теории, построения и методов анализа и синтеза цифровых устройств [1].

В связи с этим, возникла проблема обеспечения безотказной работы радионавигационных приборов с применением цифровых устройств, то есть обеспечить требуемую надежность, от совершенствования которых зависит безопасность полетов и успешное обеспечение управления воздушным движением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Наличие в составе навигационного комплекса ИНС, СНС и цифрового вычислителя полностью обеспечивает решение всех задач RNAV, включая ввод и сохранение маршрута полета, наведение по линии пути [2].

Долгосрочные планы развития автоматизированных систем управления воздушным движением предполагают полёты воздушных судов (ВС) по точным четырёхмерным траекториям с учётом времени полёта. Данная концепция направлена на создание единой общемировой глобальной системы организации воздушного движения (ОрВД) [3].

Цифровой сигнал можно представить в виде последовательности дискретных (цифровых) значений. В настоящее время наиболее распространены двоичные цифровые сигналы в связи с простотой кодирования и использованием в двоичной электронике. Для передачи цифрового сигнала по аналоговым каналам например, электрическим или радиоканалам используются различные виды манипуляции (модуляции) [4].

Одним из важных свойств цифрового сигнала, является его способность к полной регенерации в ретрансляторе (до некоторого порогового отношения сигнал/шум). Когда в ретранслятор приходит сигнал с небольшими помехами, он преобразуется в цифровую форму, и ретранслятор заново формирует сигнал, полностью убирая искажения.

Перейдем к рассмотрению потенциальной помехоустойчивости типов модуляции применяемых на сегодняшний день в системах вторичной радиолокации. Если известна интенсивность помехи N_0 , то потенциальная помехоустойчивость, зависит только от эквивалентной энергии сигналов E_s . Величина $p = 0,5 \cdot [1 - \Phi(\sqrt{E_s/2N_0})]$ достигает минимума для сигналов, эквивалентная энергия которых больше. Так как

$$E_s = \int_0^T [S_2(t) - S_1(t)]^2 dt = E_2 + E_1 - 2 \int_0^T S_1(t)S_2(t)dt = 2E_2 + 2E_1 - 2 \int_0^T [S_2(t) + S_1(t)]^2 dt, \quad (1)$$

Для систем с активной паузой, если $E_1 = E_2 = E$, выигрывать будет система, у которой значение $\int_0^T [S_2(t) + S_1(t)]^2 dt$ минимально. То есть наибольшей помехоустойчивостью обладает система с противоположными сигналами (сигналы с фазовым сдвигом 180° и т.д.). В этом случае $E_s = 4E$. Вероятность ошибки при этом составит

$$p = 0,5 \cdot [1 - \Phi(\sqrt{2E/N_0})], \quad (2)$$

Введем обозначение $h = \sqrt{E/N_0}$, тогда запишем (2) в виде $p = 0,5 \cdot [1 - \Phi(h\sqrt{2})]$

РЕЗУЛЬТАТЫ

В режиме DABS применяется как обычная PSK (phase shift keying) модуляция (обычная дискретная фазовая модуляция), так и DPSK модуляция. DPSK (difference phase shift keying) модуляция, также известна как относительная дискретная фазовая модуляция. Основное отличие данного вида модуляции от обычной фазовой модуляции поясняется на рис.1. Как видно из рисунка фаза сигнала изменяется каждый раз, когда приходит следующая единица. Потенциальная помехоустойчивость сигналов с PSK модуляцией (со сдвигом фаз 180°) согласно [5] максимальна, и вероятность ошибки при данном типе модуляции составит

$$p_{PSK} = 0,5 \cdot [1 - \Phi(h\sqrt{2})]. \quad (3)$$

Однако, при приеме сигналов с PSK модуляцией возникает очень неприятное явление, называемое «обратной работой», которое возникает при ошибочной регистрации принятого символа – это обусловлено сложностью синхронизации фазы опорного генератора с фазой принимаемого сигнала. То есть вместо символа «единица» может быть зарегистрирован символ «ноль», а следующее изменение фазы может быть интерпретировано как приход противоположного символа и т.д.

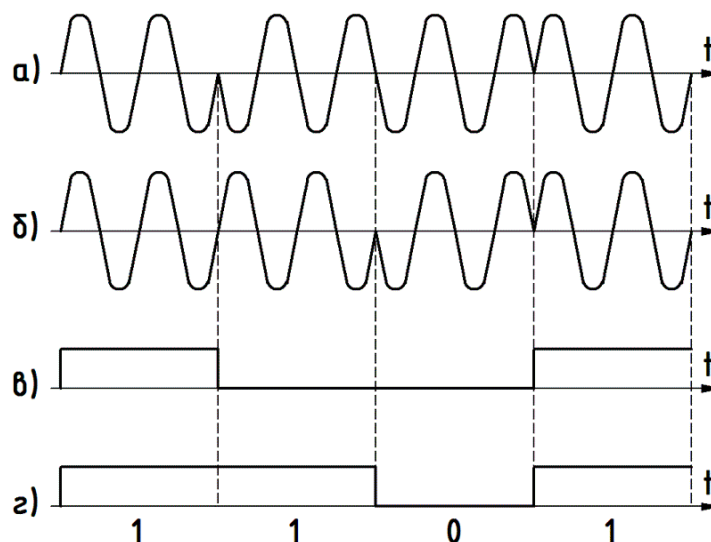


Рис.1. К пояснению различия DPSK от обычной дискретной фазовой модуляции PSK. а) сигнал с DPSK модуляцией; б) сигнал с PSK модуляцией; в) изменения фазы при DPSK модуляции; г) изменения фазы при PSK модуляции.

ОБСУЖДЕНИЕ

Для систем с ортогональными сигналами [6], к которым можно отнести сигналы с дискретной частотной модуляцией (FSK – frequency shift keying) или сигналы с PSK модуляцией со сдвигом фаз 90° (квадратурная модуляция) максимальная эквивалентная энергия $E_s = 2E$. В этом случае вероятность ошибочного приема запишется как

$$P_{FSK} = 0,5 \cdot [1 - \Phi(h)] \quad (4)$$

Проводя сравнение полученных результатов можно прийти к выводу, что наиболее помехоустойчивой системой по типу применяемой модуляции сигналов на сегодняшний день является система DABS. Выигрыш в помехоустойчивости системы вторичной радиолокации, использующей режим S в четыре раза больше, чем у системы работающие в других режимах. Применение DPSK модуляции позволяет, несмотря на снижение устойчивости к воздействию помех, устранить явление «обратной работы» и вследствие этого перспективно ее дальнейшее применение в системах DABS.

ВЫВОДЫ

В связи с этим в радионавигационных приборах, в частности приемниках автоматического радиоконюаса нами применена такая система модуляции DABS, которая дала возможность на порядок повышать помехоустойчивость системы.

REFERENCES

1. Baghdadi Ammar Awni Abbas, Хаханов Владимир Иванович, Литвинова Евгения Ивановна Методы анализа и диагностирования цифровых устройств (аналитический обзор) // АСУ и приборы автоматики. 2014. №166.
2. Эшмурадов, Д. Э. "Зональная навигация в Республике Узбекистан." Монография. Т.: ТГТУ (2016).
3. Эшмурадов Д.Э., Микрюков Н.В., Арипджанов М.К. Полеты воздушных судов по четырёхмерным пространственно-временным траекториям. // Международная научно-практическая конференция «Гражданская авиация: прошлое, настоящее и будущее (Авиатранс-2015)», 15 мая 2015 года, Ростов-на-Дону.
4. Rohde & Schwarz Модуляция и формирование сигналов с помощью генераторов сигналов R&S – 2018 г.
5. Е. В. Волхонская, Е. В. Коротей, К. В. Власова, М. В. Рушко. Модельное исследование помехоустойчивости приема радиосигналов с QPSK, BPSK, 8PSK и DBPSK. Научный журнал «Известия КГТУ», №46, 2017 г.
6. Дворников С.В., Дворников С.С., Манаенко С.С., Пшеничников А.В. Спектрально-эффективные сигналы с ограниченной фазой // ВГТУ. 2016. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spektralno-effektivnye-signalny-s-nepreryvnoy-fazoy> (дата обращения: 04.07.2022).