

*Р. И. Чембарисова**

студент

*В. А. Ненашев**

кандидат технических наук, доцент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

В современных системах мониторинга стоит задача точного и надежного получения информации о состоянии объекта. Прямые измерения часто невозможны из-за труднодоступности или агрессивности среды. В данной статье рассматривается применение модулированных сигналов в качестве решения этой проблемы. Анализируются преимущества модуляции перед немодулированными сигналами, описываются искажения, возникающие при распространении сигналов в различных средах, и приводятся практические примеры их использования.

Ключевые слова: модуляция сигнала, искажение сигнала, распространение сигнала, среда распространения.

*R. I. Chembarisova**

Student

*V. A. Nenashev**

PhD, Tech., Associate Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

APPLICATION OF MODULATED SIGNALS IN MONITORING SYSTEMS

Modern monitoring systems require accurate and reliable information about an object's condition. Direct measurements are often impossible due to difficult access or harsh environments. This article examines the use of modulated signals as a solution to this problem. It analyzes the advantages of modulation over unmodulated signals, describes the distortions that occur during signal propagation in various environments, and provides practical examples of their use.

Keywords: signal modulation, signal distortion, signal propagation, propagation medium.

Современный мир невозможно представить без различных систем мониторинга [1, 2], которые непрерывно следят за состоянием окружающей среды, технологических процессов и даже человеческого организма. Многие объекты наблюдения являются либо недоступными для прямого контакта (глубины океана, недра земли), либо слишком хрупкими для внедрения датчиков (биологические ткани), либо их состояние необходимо контролировать дистанционно в реальном времени. В таких условиях на первый план выходят методы, основанные на зондировании объекта с помощью различных видов излучения: электромагнитного, ультразвукового и т. д.

Однако простой сигнал (например, импульс постоянной амплитуды на одной частоте) легко заглушается шумами [3], плохо поддается идентификации в сложных условиях и несет мало информации. Решением этих проблем является модуляция – процесс изменения одного или нескольких параметров несущего колебания (амплитуды, частоты, фазы) по закону информационного сигнала. Использование модулированных сигналов открывает новые горизонты в создании точных, помехоустойчивых и информативных систем дистанционного мониторинга.

Модулированные сигналы обладают определенными преимуществами для мониторинга. Они обеспечивают помехоустойчивость за счет концентрации сигнала в узкой полосе частот, что позволяет эффективно фильтровать шумы. С помощью импульсной модуляции достигается лучшее энергораспределение, повышая проникающую способность. Также модуляция позволяет организовать многоканальность за счет частотного или кодового разделения. Наконец, анализ изменений параметров модулированного сигнала (задержки, фазового сдвига) после взаимодействия с объектом дает важную информацию о его свойствах – плотности, наличии дефектов, скорости движения и других характеристиках.

Любой сигнал, распространяясь в физической среде, испытывает ее влияние, что приводит к искажениям и потерям. Понимание этих процессов важно для выбора правильного типа модуляции и несущей частоты. В табл. 1 представлены основные виды искажений.

Таблица 1

Основные виды искажений сигналов

Искажение	Описание
Затухание	Уменьшение амплитуды сигнала с расстоянием. Вызвано поглощением и рассеянием энергии средой. Затухание обычно экспоненциально растет с увеличением частоты
Дисперсия	Зависимость скорости распространения сигнала от его частоты. Это приводит к «размыванию» формы импульсных сигналов, так как разные спектральные компоненты приходят в разное время
Многочуевое распространение	Сигнал может достигать приемника по нескольким путям (например, прямой луч и луч, отраженный от границы раздела сред)
Преломление	Изменение направления распространения сигнала на границе сред с разными свойствами, что затрудняет точное определение местоположения объекта

На высоких частотах значительное затухание сигнала вносят атмосферные осадки, газы и аэрозоли. Ультразвук в воздухе также сильно затухает, особенно на высоких частотах, что ограничивает его применение короткими дистанциями.

Вода является практически непроницаемой для большинства диапазонов электромагнитных волн, за исключением крайне низких частот, использование которых требует громоздкого оборудования. Звуковые и ультразвуковые волны распространяются в воде на километры. Однако и здесь присутствуют дисперсия, затухание и влияние слоев с разной температурой, которые искривляют звуковые лучи.

Электромагнитные волны сильно поглощаются проводящими материалами (металлами) и затухают в грунте. Для контроля таких объектов широко применяются ультразвуковые методы. Ультразвук хорошо распространяется в упругих средах, но его скорость и затухание сильно зависят от плотности, однородности и структуры материала. Наличие дефектов (трещин, полостей) меняет эти параметры, что и фиксируется системой мониторинга.

Одной из актуальных задач дистанционного мониторинга является измерение толщины ледяного покрова на водоемах [4] для обеспечения экологической и транспортной безопасности. Эффективным решением здесь становится применение сложных сверхширокополосных сигналов, модулированных по амплитуде специальными кодовыми последовательностями.

Принцип действия основан на зондировании ледяной поверхности сигналом и анализе отражений от границ раздела сред «воздух-лед» и «лед-вода». Модуляция позволяет повысить помехоустойчивость и точность измерения времени задержки между этими отражениями.

Ключевым параметром является время прохождения сигнала до каждой границы. Толщину льда H можно рассчитать по формуле:

$$H = \frac{v \cdot (t_2 - t_1)}{2},$$

где t_1 – время задержки сигнала, отраженного от верхней поверхности льда, t_2 – время задержки от границы «лед-вода», v – скорость распространения волны во льду, которая зависит от его диэлектрической проницаемости.

Использование не простого импульса, а сигнала, модулированного кодом, позволяет однозначно идентифицировать каждый из пришедших откликов на фоне шумов и многолучевых помех.

Применение модулированных сигналов является основой для создания современных высокоэффективных систем мониторинга. Перенос информационного сигнала в область более высоких частот и придание ему специальной, легко идентифицируемой формы позволяет преодолеть фундаментальные ограничения, накладываемые физическими средами. Будь то ультразвуковой контроль гигантской турбины, радиолокационное зондирование марсианского грунта или ультразвуковое исследование человеческого сердца, везде используется тот или иной вид модуляции. Дальнейшее развитие методов модуляции, включая использование сложных шумоподобных сигналов и адаптивных алгоритмов, будет и впредь повышать точность, надежность и глубину проникновения систем дистанционного контроля, открывая новые возможности для науки и техники.

Финансовая поддержка

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-79-10259).

Библиографический список

1. *Благовещенский, И. Г., Благовещенский, В. Г., Савостин, С. Д., Кучумов, А. В.* Интеллектуальная система мониторинга технологических процессов производства продуктов на пищевых предприятиях // Информатизация и автоматизация в пищевой промышленности: Сборник научных докладов Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 18 мая 2022 года. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2022. С. 119–126.
2. *Васильев Ю. А., Владимирский А. В., Омелянская О. В., Арзамасов К. М., Четвериков С. Ф., Румянцев Д. А., Зеленова М. А.* Методология тестирования и мониторинга программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта для медицинской диагностики // Digital Diagnostics. 2023. Т. 4, № 3. С. 252–267.
3. *Чембарисова, Р. И., Ненашев, В. А.* Контроль аномалий в структуре кодов на основе анализа выражений лепестков автокорреляционной функции // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18, № 12. С. 4–11.
4. *Ненашев, С. А., Бестугин, А. Р., Чембарисова, Р. И., Киришина, И. А., Ненашев, В. А.* Контроль толщины льда на основе применения сверхширокополосных сигнально-кодовых конструкций // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2024. Т. 22, № 6. С. 13–22.