

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Важным фактором, определяющим эффективность производительной деятельности человека, является технология. Технология отвечает на вопрос «как это делается?», определяет последовательность операций, методы и инструменты для достижения желаемого результата при решении сложных производственных задач, обеспечивая при этом использование всех возможностей, повышающих эффективность производства: законов природы, достижений науки, профессионализма специалистов, знаний, умений и опыта всех участников процесса. К сложным относятся процессы, в которых необходимо участие специалистов высокой квалификации разных направлений с широким кругозором и креативным мышлением, применение сложной высокопроизводительной техники, эффективных материалов, специальных условий, высокой степени организации труда. Термин «эффективность» определяет получение максимального результата при минимуме затрат.

Технологии могут относиться к любым конкретным видам деятельности — от производства конкретных товаров или предоставления услуг до хозяйственной деятельности региона или целого государства или группы государств. Примерами таких видов деятельности могут быть лечение больного человека и организация деятельности медицинского учреждения или медицины страны в целом, обучение по конкретной специальности и организация системы образования в целом, изготовление промышленных изделий и организации хозяйственной деятельности государства, управление всей экономикой страны.

В зависимости от области применения различают следующие виды технологий: производственные (машиностроительные, металлургические, электрические, химические, строительные, нанотехнологии, биотехнологии и др.), космические, транспортные, социальные, информационные, коммуникационные и др. В особую группу выделяются высокие технологии, к которым относят микроэлектронику, вычислительную технику, робототехнику, атомную энергетику, самолётостроение, космическую технику, деятельность в сфере микробиологии. Эти технологии относятся к наиболее наукоёмким отраслям промышленности.

Информационные технологии (ИТ, IT) являются наиболее универсальными, они могут быть частью любой другой технологии или применяться отдельно от других. Эти технологии включают в себя программные средства и электронное оборудование, построенное в основном на базе интегральных микросхем (ИМС), а также сигналы (электрические, электромагнитные, оптические), с помощью которых всё это объединяется в единую систему. Применение сигналов для передачи информации в удалённые пункты делает информационную технологию информационно-коммуникационной (ИКТ).

Сигнал — это физический процесс, который заключает в себе информацию и может распространяться в пространстве, перенося информацию между различными точками пространства. В точке приёма информацию воспринимает человек или под действием сигнала должным образом срабатывают исполнительные устройства и системы, обеспечивая достижение цели получения и передачи информации. Сигнал используется во всех процессах, связанных с получением, формированием, записью, передачей, хранением и воспроизведением информации, а также с приведением в действие исполнительного механизма в системах управления. Сигнал как

временная функция может иметь различную форму, однако наибольшей эффективностью обладает цифровой сигнал, представляющий собой равномерную последовательность квантованных отсчётов мгновенных значений в непрерывных потоках информации, к которой применена операция цифрового кодирования. В результате такого формирования получается сигнал в виде непрерывной случайной последовательности различных элементов определённой формы — цифровой сигнал. В этом сигнале каждый элемент служит в качестве цифры, кодовая комбинация определённого количества этих элементов-цифр образует число, а это число отображает значение передаваемой информации в момент отсчёта.

Каждое число представляется в определённой системе счисления в виде последовательности цифр (знаков, символов) этой системы. Число различающихся знаков в системе счисления называется её основанием. Соответственно, получаются двоичные, троичные и т. п. системы счисления. Чем больше основание системы, тем больше в ней используется различающихся цифр, но меньше требуется цифр для отображения заданного числа. Например, в двоичной системе счисления используются только две цифры — 0 и 1 и для записи, например, числа 2021 требуется 11 знаков (11111100101), в восьмеричной системе используются 8 цифр: 0, 1, ..., 7 и для записи того же числа 2021 потребуется всего 4 знака (3745). Чем меньше основание системы счисления, т. е. чем меньше используется различающихся цифр, тем проще и с меньшей вероятностью ошибки они различаются аппаратным методом, что важно в ИТ. Кроме того, чем меньше число различающихся цифр, тем проще их идентифицировать на фоне помех, искажающих сигналы, определяющие каждую из цифр. С другой стороны, чем меньше основание кода, тем больше требуется цифр для отображения заданного числа и тем больше требуется времени для передачи сигнала, определяющего это число, и тем меньше скорость передачи информации. В соответствии с этим выбирается основание системы счисления при формировании сигнала: чем выше уровень помех, воздействующих на сигнал, тем меньше основание кода. В коммуникационных и информационно-коммуникационных технологиях преимущественно используются двоичные сигналы, т. е. числа с основанием 2, а в информационных технологиях используются цифровые сигналы на основе чисел с большим основанием — восьмеричные, шестнадцатеричные и другие. Важным свойством цифровых сигналов, как и любых других сигналов, является их способность распространяться в пространстве и переносить информацию из одного пункта в другой.

*Итак, цифровой сигнал — это физический процесс (электрический, электромагнитный, оптический) в виде последовательности различающихся элементов, каждый из которых соответствует определённой цифре в выбранной системе счисления, причём группы элементов-цифр образуют кодовые комбинации, каждая из которых отображает определённое число, показывающее мгновенное значение передаваемого информационного параметра.*

Цифровые технологии основаны на совместном использовании следующих функциональных частей: цифровых электронных устройств, цифровых сигналов и программного обеспечения. К цифровым электронным устройствам относятся интегральные схемы: большие (ВИС), сверхбольшие (СВИС) и микропроцессоры, а также функциональные узлы и приборы, созданные на базе этих устройств. Микроэлектронные устройства — это основа цифровых технологий. Сигналы — это кровь цифровых технологий. Программные средства — это мозг цифровых технологий.

Быстрое увеличение современных возможностей в реализации этих частей, в том числе с применением наукоёмких математических алгоритмов, даёт возможность использования цифровых технологий во многих областях человеческой деятельности, от малогабаритных робототехнических систем до систем управления

высокоскоростными и многофункциональными наземными, морскими, летательными объектами и социальными объектами по обслуживанию больших масс людей и управлению ими. При этом использование цифровых технологий обеспечивает:

- возможность быстрого (в режиме реального времени) получения и обработки больших объёмов информации;
- возможность использования наукоёмких алгоритмов формирования управляющих воздействий;
- оперативность процессов управления;
- точность управляющих воздействий;
- надёжность работы цифровых технологий, большие возможности для дублирования процессов получения и применения управляющих воздействий;
- адаптивность при работе в быстро меняющихся условиях;
- возможность широкого использования цифровых технологий во всех областях человеческой деятельности и на всех иерархических уровнях, что обеспечивает в конечном счете высокий социальный уровень населения и эффективное противодействие угрозам безопасности страны.

Учитывая важность таких возможностей, в России принята Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (28 июля 2017 г.).

Существует большое разнообразие сигналов, которое обусловлено стремлением использовать сигналы с оптимальными свойствами для конкретных информационных и коммуникационных систем, работающих в разных технологических системах и решающих разные задачи. Наиболее важными при выборе сигнала являются их временные и спектральные представления. Временные представления используются при формировании сигналов, при определении их статистических параметров, а также при оценке таких важных свойств, как помехоустойчивость, отношение сигнал/шум, скорость передачи, мощность и др. Спектральные представления сигналов используются при разработке, анализе свойств и настройке самых разнообразных информационных и телекоммуникационных систем, при решении задач распределения и контроля за использованием частотного спектра, при решении проблем рационального использования радиочастотного ресурса, проблем электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, идентификации радиоизлучений, помехоустойчивости и борьбы с помехами.

Книга содержит общие сведения о детерминированных и случайных процессах, а также теоретический, методический и справочный материал по сигналам, на базе которых функционируют цифровые технологии.

Цифровые сигналы, элементы которых представляют собой видеоимпульсы определённой формы, называются первичными. Такие сигналы формируются из аналоговых континуальных сигналов с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Полученные сигналы являются двоичными и представляют собой последовательности кодовых комбинаций элементов, соответствующих информационным символам 1 и 0. Двоичный сигнал может быть преобразован в троичный или вообще в  $M$ -ичный, элементом может быть придана другая форма, в сигнал могут быть введены структурные изменения, но во всех случаях сигнал по сути своей остаётся первичным в виде последовательности кодовых комбинаций видеоимпульсов определённой длительности и формы. Эти сигналы передаются по проводным (витая пара) и кабельным (коаксиальным и волоконно-оптическим, ВОЛС) линиям связи. Сигналы и линии передачи обеспечивают высокие показатели по скорости передачи информации, а ВОЛС — и по длительности кабельных участков линий. Сведения о таких сигналах изложены в первых трех разделах.

Кроме того, в первых трёх разделах даны основные сведения о детерминированных и случайных процессах, не являющихся сигналами. Дан вывод соотношений,

определяющих спектры детерминированных процессов (18 примеров), и рассмотрены свойства случайных процессов (определения, параметры, характеристики). Рассмотрены свойства первичных цифровых сигналов (131 сигнал).

В четвертом разделе представлены цифровые сигналы другого вида, которые условно называются вторичными. Речь идёт о цифровых сигналах, элементы которых представляют собой отрезки синусоиды или радиоимпульсы. Применение сигналов с элементами в виде отрезков синусоиды обеспечивают:

- перенос информации, заключающейся в кодовых комбинациях видеозаписей, в кодовые комбинации радиоимпульсов, различающихся по амплитуде, частоте или по фазе; эта процедура осуществляется в цифровых модуляторах, сигналы имеют электрическую основу и передаются с помощью физических линий связи;
- возможность преобразования модулированных электрических сигналов в электромагнитные; эта процедура осуществляется с помощью антенн.

Электромагнитные сигналы обладают способностью распространяться в открытом пространстве («эфир») и тем самым значительно расширяют возможности систем передачи информации, поскольку обеспечивают:

- связь с подвижными объектами — наземными, воздушными и морскими;
- возможность обслуживания двухсторонней связью многих абонентов без физических соединительных линий;
- возможность организации спутниковых систем связи.

В четвертом разделе приводятся сведения о модулированных цифровых сигналах с амплитудным, частотным, фазовым и двухпараметрическим различием элементов, входящих в набор различающихся элементов, используемый в конкретном сигнале.

Работа цифровых модуляторов весьма специфична и существенно отличается от работы аналоговых модуляторов. Поэтому процессы формирования модулированных цифровых сигналов рассмотрены подробно применительно к сигналам ЧМ-2 и ЧМ-3. Все результаты анализа имеют математическую основу с использованием компьютерных возможностей.

Изложение основного материала по цифровым сигналам имеет следующие особенности:

- представление сигнала как последовательности детерминированных элементов, обладающей свойствами случайных процессов. Это сочетание в сигналах стохастичности и детерминированности привело к необходимости получения и использования математического аппарата, определяющего вероятностные характеристики цифровых сигналов;
- учёт группирования элементов сигнала при анализе его свойств;
- выделение периодической составляющей из цифрового сигнала со случайной последовательностью детерминированных элементов;
- использование специальной методики вычисления функций корреляции сигналов с элементами в виде кусочно-заданных функций (КЗФ) и применение этой методики при анализе сигналов с псевдослучайными последовательностями;
- составление и применение таблиц, позволяющих быстро определять функции корреляции цифровых сигналов с элементами в виде отрезков меандра или псевдослучайных последовательностей;
- использование специальной методики, позволяющей на основе графического анализа формы сигналов синтезировать структурные схемы формирования цифровых сигналов с заданными свойствами, например сигналов с частотными и фазовыми различиями элементов с заданным индексом частотной модуляции,

с плавным изменением частоты и фазы на границах элементов, с заданным законом изменения частоты и фазы на интервале элемента;

- обеспечение высокой точности вычисления реальной ширины спектра и других параметров цифровых сигналов, а также получение аналитических соотношений с использованием сложных преобразований за счёт использования возможностей компьютера;
- подробное изложение материала, вывод формул с необходимыми пояснениями, применение специальных методик при анализе свойств сигналов — это придало книге свойства методического руководства.

Автор выражает благодарность всем специалистам-профессионалам, ссылки на труды которых имеются в данной книге.

Автор понимает, что большой объём книги является её недостатком. Однако воздействие этого недостатка читатель может легко избежать, если читать только то, что представляет для него интерес; стиль изложения позволяет это.

Автор выражает надежду, что в скором времени процесс цифровизации в стране и в мире достигнет уровня, при котором основным результатом работы цифровых управляющих систем станет выработка управляющих решений, исполнителем которых станут также цифровые системы, оставляя человеку функции создания таких систем, их обслуживания и постоянного совершенствования их теоретических и технологических основ. И микроскопически малую долю в достижение этого уровня вложит сей недостойный труд.