

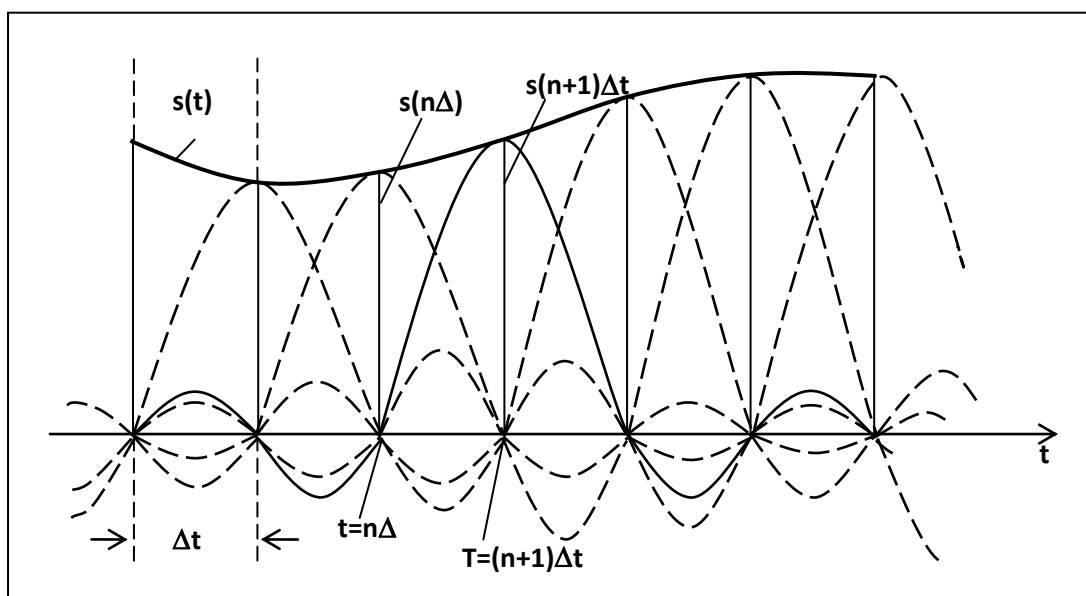
Министерство образования и науки Российской Федерации

Вологодский государственный университет

Кафедра физики

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Методические указания для студентов технических специальностей



Вологда
2014

Физические основы аналого-цифрового преобразования в теории электромагнитных колебаний: методические указания для студентов технических специальностей. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 39 с.

Методические указания разработаны в соответствии с Государственным образовательным стандартом по программе дисциплины «физика» для технических специальностей всех направлений подготовки бакалавров.

Авторами рассмотрена проблема преодоления когнитивного барьера, возникающего на стыке естественнонаучных и инженерно-технических дисциплин. Материал учебного пособия объединяет известные, но не связанные в одну цепь, теоретические положения физики-математики-информатики, основанные на работах Ж. Фурье, К. Шеннона, В. Котельникова.

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Составители: А.Д. Платонов, канд. техн. наук, доцент

И.А. Плотникова, канд. экон. Наук, доцент

Рецензент А.Н. Наимов, д-р. физ-мат. наук, профессор кафедры
информационных систем и технологий

ВВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМУ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Курс физики высшей школы содержит обязательный раздел "Колебания и волны", однако его содержание ограничено только гармоническими колебаниями, что совершенно недостаточно при широком внедрении цифровой техники.

В жизнь основательно вошла цифровая обработка информации. Она объединяет обширный комплекс знаний науки и техники, связанный с проблемами преобразования информации, с особенностями оптимального кодирования сообщений, сопряжения параметров каналов передачи информации с параметрами сигналов, с принципами построения измерительной техники и приборов.

Лишь опираясь на осмысленные физикой математические основы цифрового преобразования, можно получить систематические знания по специальностям. Ежегодно по различным направлениям естественнонаучных дисциплин, изучаемых студентами на младших курсах высшего учебного заведения (в том числе по дисциплинам "Физика"), появляются новые и новые издания, повторяющие известные из средней школы разделы физики, основополагающие физические законы и никак не связанные с реальными достижениями науки и техники сегодняшнего дня.

Уровень изложения материала разнообразен, но эти издания объединяет одно – отсутствие связи с основами высокотехнологичных производств.

В учебниках физики ни слова не встретить о цифровой обработке информации, о новых методах и направлениях в области нанотехнологий, быстроразвивающейся радиоэлектроники, квантовой физики, оптоэлектроники, акустоэлектроники и т.д. Перечисленные выше области знаний не известны студенту первых-вторых курсов и являются причиной формирования своеобразного отставания, потери интереса к освоению учебного материала.

Суть излагаемой проблемы и её решение заключается в том, что она находится на стыке учебных дисциплин естественно-научного и инженерно-технического цикла: "математика-физика-информатика" и объединяет известные, но не связанные в одну цепь положения.

В подтверждение этого вывода авторами приводится один из примеров преобразования физических параметров электрических колебаний, основанный на работах Ж.Фурье, К.Шеннона, В.Котельникова.

Это преобразование логически вписывается в раздел физики "Колебания и волны", но отсутствует в современных учебниках высшей школы.

Основоположником сравнительно новой, но уже известной и перспективной науки "Теория информации" является К.Шеннон с его работами 1948-49 гг. "Математическая теория связи" и "Связь в присутствии шума".

Именно его идея, что любое сообщение можно свести к передаче чисел, а количество информации в сообщении описать логарифмической функцией и вероятностными характеристиками, легла в основу дискретной обработки сигналов. Это положение легко перекладывается на язык физического представления "плитки" информации в координатах: длительность, полоса частот, амплитуда сигнала (динамический диапазон как отношение сигнал/шум). Чем больше объем «плитки», тем больше информации можно вложить в этот объем.

Из работ К.Шеннона следует, что информацию удобно представлять в цифровой форме и при равновероятном приеме символов легко выразить двоичным кодом, как бит информации. Основным преимуществом является возможность деформировать объем «плитки» в интересах технической реализации структуры канала приема-передачи. Импульсный сигнал, как носитель информации, полностью удовлетворяет этим условиям и описывается функцией Уолша, принимающей два значения: либо «0», либо «1» (либо «-1» и «+1»).

Вторым положением теории колебаний является известная теорема французского математика Ж.Фурье, которая лежит в основе спектрального анализа. Представление периодического колебания суммой простейших синусоидальных колебаний с кратными частотами приводит к физическому пониманию спектра (набора гармоник) исходного сложного регулярного колебания импульсной формы.

Чем короче импульс, тем шире его спектр. Разложение колебаний в спектр известно в курсе физики, однако самым простым линейчатым спектром обладают синусоидальные колебания. Студенты легко усваивают его графическое представление в координатах амплитуда – частота.

Главным достоинством синусоидальной гармоник является тот факт, что такое колебание меньше всего подвержено искажениям при передаче.

Таким образом, основываясь на математической теории спектрального анализа Ж.Фурье и физическом представлении параметров линейчатого спектра, можно восстановить форму исходного импульсного регулярного колебания на временной оси, реализуя один из основных принципов обучения – наглядность процесса.

Формирование цифрового сигнала завершается выбором интервала дискретизации (интервал Найквиста). Временной шаг дискретизации легко воспринимается через теорему В.А.Котельникова, советского академика, основателя теории потенциальной помехоустойчивости. Например, речевой спектр укладывается в известную всем полосу частот 300-3400 Гц, что приводит к значению шага дискретизации $\left(\frac{1}{2F_m}\right)$, то есть 6800 отсчетов в секунду. Далее аналоговая величина подвергается процессу квантования по амплитуде, где каждый амплитудный отсчет переводится в цифровой код.

Практика проведения занятий показывает наглядность графического представления и простоту понимания этого процесса, что приводит к высокому уровню усвоения учебного материала студентами с довольно средним уровнем подготовки.

Приведенный пример показывает, что для реализации когнитивного навыка достаточно дополнить раздел «Колебания и волны», который входит во все учебники физики высшей школы, темой: «Спектры гармонических и периодических импульсных колебаний», что значительно повысит понимание студентами основ аналого-цифрового преобразования и преимуществ перехода к цифровой обработке информации.

Более того, это положительно скажется на понимании основ построения средств измерений. В физическом эксперименте, реализуемом как лабораторные занятия, лучшие магнитоэлектрические приборы с зеркальной шкалой обеспечивают точность отсчета не более 0,2%, что составляет величину $2 \cdot 10^{-3}$.

Внедрение цифровых измерительных приборов с дискретной шкалой (на 5-6 разрядов) обеспечивает точность измерений на 2-3 порядка (в 100-1000 раз) выше. Так как и те, и другие приборы ещё используются в лабораториях, этот факт повысит уровень понимания преимуществ цифровой обработки.

Поскольку физика, как естественнонаучная дисциплина, является основой для повышения уровня инженерно-технической подготовки, то несомненным достоинством перехода к цифровому представлению информации (начиная с курса физики) является наглядность и простота оценки потока информации. Например, скорость передачи информации, измеряемую в битах в секунду, легко связать с занимаемой сигналом полосой частот.

Изложенные идеи послужат потенциальным прорывом к корректировке имеющихся материалов в учебниках курса физики для высшей школы, с целью адаптации их к современному пониманию цифровых технологий.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ К. ШЕННОНА: ЛЮБОЕ СООБЩЕНИЕ МОЖНО СВЕСТИ К ПЕРЕДАЧЕ ЧИСЕЛ

Для строгой постановки этой задачи необходимо, прежде всего, ввести количественную меру информации, содержащейся в сообщении, позволяющую объективно оценить тот минимум символов, который необходим для передачи этого сообщения без избыточности, и определить его избыточность. Такой аппарат дает теория информации, основоположником которой является Клод Шеннон. В работах К.Шеннона изложена идея, что любое сообщение можно свести к передаче чисел, а количество информации в сообщении можно описать логарифмической функцией, используя математический аппарат теории вероятности.

Во время второй мировой войны К.Шеннон служил шифровальщиком при одном из штабов американских войск в Европе. Стремление к передаче большего количества информации при минимальном использовании количества символов (букв) привело его к пониманию важности этого процесса. Упорство в достижении поставленной цели, трудолюбие, самообразование принесли успех. После войны Клод Шеннон защитил докторскую диссертацию и стал основоположником новой, современной науки – теории информации.

Для дальнейшего изложения материала введем определения и характеристики.

Сообщение – совокупность символов, несущих информацию о каком-либо событии или состоянии системы. Это может быть буква алфавита, цифра, символ (знак).

Сигнал – физический процесс, отображающий сообщение. Это может быть материальный носитель (бумага, магнитная лента), либо колебания тока, звуковые колебания, электромагнитные волны. Сигнал обязательно является функцией времени, т.е. передача знаков происходит последовательно один за

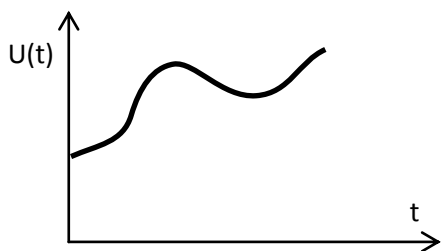


Рис. 1. Графическое представление аналоговой величины

другим. Обратите внимание, как вы последовательно читаете текст: слева направо и сверху вниз.

По форме представления зависимости сигнала от времени все сигналы можно подразделить на непрерывные (аналоговые), дискретные и цифровые.

Непрерывными называются сигнала-

лы, заданные во всех точках временной оси или некоторого её отрезка. Их реализация является непрерывной функцией времени. Примером могут служить гармонические колебания (рис.1).

Дискретными называются сигналы, заданные на дискретном множестве точек временной оси (чаще всего, в точках, следующих равномерно через фиксированный интервал Δt). Примером может служить импульсный сигнал (рис.2).

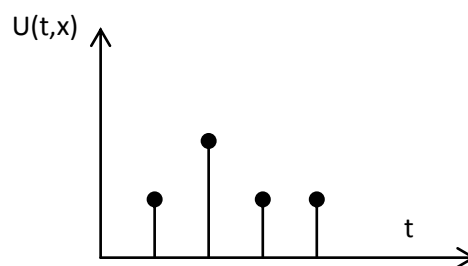


Рис.2. Графическое представление дискретной величины

Цифровые сигналы – это частный случай дискретных сигналов. Они могут принимать одно из фиксированных дискретных значений, определяемых числами с ограниченным количеством разрядов. Примером может служить импульсный сигнал, несущий логическую функцию «0» или «1» (рис.3).

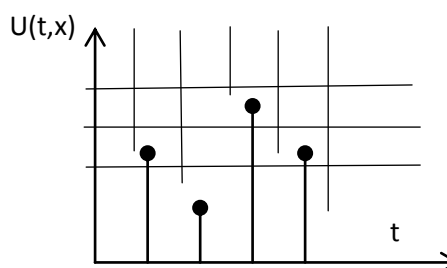


Рис.3. Графическое представление дискретной величины в цифровом виде

Сигнал как физический носитель сообщения представленный электромагнитным колебанием, имеет физические параметры: амплитуду, длительность, частоту, фазу. Параметры сигнала изменяются по закону, отображающему сообщение.

Вероятностные характеристики:

$P(a)$ – вероятность появления данного (дискретного) сообщения (a);

a – данное (дискретное) сообщение (логическое «да» или «нет»);

$i(a)$ – количество информации в сообщении (a).

Понятие суммы и произведения вероятностей употребляются здесь не в арифметическом смысле, а обозначают логические операции.

Выбор одного из двух сообщений («да» или «нет», «1» или «0») принимают за единицу информации. Лишь при равновероятных значениях появления «1» или «0» в сообщении (a) получим количество информации, равное единице.

Общая формула для подсчета количества информации в сообщении (a) выражается логарифмической функцией:

$$i(a) = \log \frac{1}{P(a)}$$

Вероятность того, что источник пошлет оба этих сообщения одно за другим равна произведению вероятностей:

$$P(a_1 a_2) = P(a_1) * P(a_2)$$

При умножении вероятностей их логарифмы складываются, поэтому количество информации наиболее просто может быть выражено логарифмической функцией:

$$i(a_1 a_2) = i(a_1) + i(a_2)$$

Это математическое соотношение означает, что информация, содержащаяся в двух независимых сообщениях a_1 и a_2 , должна быть равна сумме информации, содержащейся в каждом из сообщений.

Двоичные сигналы исторически широко применяются в технике передачи сообщений, поэтому целесообразно использовать логарифмы по основанию два. Тогда количество информации при использовании в вычислительной технике оказывается выраженным в битах. Если вероятность сообщения «да» и «нет» одинакова, и, следовательно, составляет 0,5, то количество информации в одном ответе составляет 1 бит.

Используя теоремы сложения и умножения вероятностей, можно определить условные вероятности, характеризующие вероятность той или иной гипотезы наблюдаемого явления. Таким образом, передачу дискретных сообщений всегда можно свести к передаче соответствующих чисел.

В случае, когда информация, содержащаяся в сообщении, дает количественную характеристику, то она, естественно, выражается числом.

Если же информация отражает качественно разные состояния (явления и т.п.) то пронумеровав их, можно свести передачу сообщений к передаче чисел, определяющих порядковый номер каждого состояния. Например, при передаче текста можно пронумеровать буквы алфавита и передавать их порядковый номер.

Таким образом, идея К.Шеннона, что любое сообщение можно свести к передаче чисел, а количество информации в сообщении описать логарифмической функцией и вероятностным характеристиками, легла в основу обработки дискретных сигналов. Импульсный цифровой сигнал, как носитель информации, полностью удовлетворяет всем этим условиям и описывается

функцией Уолша, принимающей только два значения: либо «0», «1» (либо «-1» и «+1»).

2. КОДИРОВАНИЕ СООБЩЕНИЙ

Процесс преобразования сообщений в сигналы называется *кодированием*.

При передаче осмысленного текста всегда имеется избыточность символов. Например, при чтении поздравительной телеграммы всегда можно восстановить текст, в котором есть пропуски букв: «Поздравля- — днем рождени-». В первом, втором и четвертом словах телеграммы пропуск букв всегда можно восстановить со стопроцентной уверенностью. Но на передачу этих букв было потрачено определенное количество символов (бит информации) и определенное количество времени. Значит действительное количество информации в сообщении является случайной величиной. Как и для любой случайной величины, можно определить среднее количество информации на символ (букву).

Первую попытку уменьшить количество информации, повысив эффективность кодирования, предпринял Самуил Морзе, изобретатель телеграфной азбуки. Он составил статистические данные частоты появления букв в тексте, не вдаваясь в смысл прочитанного. В результате была найдена относительная вероятность появления той или иной буквы. Чаше других встречалась буква «е» и ей присвоена самая короткая кодовая комбинация — одна точка (« · »). Следующей по частоте появления оказалась буква «t», и она была обозначена одним тире (« - »). Реже всех появлялись буквы «j», «u», «q». Они были обозначены самыми длинными кодовыми комбинациями. В прилагаемой таблице 1 приведены комбинации кода С. Морзе.

Основание кода составляют два знака: точка и тире. Алфавит кода при пяти элементах содержит $2^5 = 32$ буквы, что вполне удовлетворяет объему русского и английского текстов. Код С. Морзе — неравномерный, он неудобен для использования автоматически регистрирующих устройств, что является его основным недостатком. В автоматических аппаратах целесообразно использовать равномерные коды. Поэтому был осуществлен переход на телеграфные равномерные коды, где каждому символу — букве отводится строго определенное количество дискретных двоичных разрядов. В качестве примера равномерного кода является наиболее распространенный международный код пяти элементов.

Таблица 1

Кодовые комбинации С. Морзе

Знаки	Кодовые комбинации	Знаки	Кодовые комбинации	Знаки	Кодовые комбинации
А	· –	П	· – – ·	Я	· – · –
Б	– · · ·	Р	· – ·	1	· – – – –
В	· – –	С	· · ·	2	· · – – –
Г	– – ·	Т	–	3	· · · – –
Д	– · ·	У	· · –	4	· · · · –
Е	·	Ф	· · · ·	5	· · · · ·
Ж	· · · –	Х	· · · ·	6	– · · · ·
З	– – · ·	Ц	– · · ·	7	– – · · ·
И	· ·	Ч	– – – ·	8	– – – · ·
Й	· – – –	Ш	– – – –	9	– – – – ·
К	– · –	Щ	– – – –	0	– – – – –
Л	· – · ·	Ъ, Ь	– · · –	Точка	· · · · ·
М	– –	Ы	– · – –	?	· · – – ·
Н	– ·	Э	· · – · ·	№	– · · · ·
О	– – –	Ю	· · – –	!	– – · · – –

Международный код №2 (табл. 2) является равномерным двоичным пятиэлементным кодом.

Цифрой «1» обозначен токовый сигнал, а цифрой «0» – бестоковый. Двоичный равномерный код строится следующим образом: для передачи букв русского алфавита их порядковые номера выражаются цифрами в двоичной системе счисления и передаются с помощью кодовых комбинаций. При двоичной системе счисления любое число можно выразить комбинацией из двух цифр – «0» и «1», а если бы применялась десятичная система счисления, то каждое число надо было бы выражать комбинацией цифр из десяти цифр – 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9. Двоичные коды позволяют использовать в устройствах связи наиболее простые двоичные элементы – реле, триггеры и т.д., поэтому наибольшее применение в 60^х-70^х годах получили именно двоичные коды.

Выбор кода, состоящего из пяти единичных элементов, объясняется следующим образом. Каждый передаваемый сигнал тока может занимать два определенных положения – токовое и бестоковое или положительное и отрицательное. Поэтому при пятиэлементном коде число возможных комбинаций единичных элементов $K=2^5=32$. Такое количество комбинаций достаточно для передачи всех букв алфавита.

Для передачи информации телеграфные аппараты имеют несколько регистров: зарубежные аппараты – два (буквенный и цифровой), а русские – три регистра (добавляется третий регистр для латинских букв). Для управления регистрами имеются специальные служебные комбинации.

Таблица 2

Международный код №2

№ п.п.	Кодовые комбинации	Лат	Рус	№ п.п.	Кодовые комбинации	Лат	Рус
1	11000	A	А	17	11101	Q	Я
2	10011	B	Б	18	01010	R	Р
3	01110	C	Ц	19	10100	S	С
4	10010	D	Д	20	00001	T	Т
5	10000	E	Е	21	11100	U	У
6	10110	F	Ф	22	01111	V	Ж
7	01011	G	Г	23	11001	W	В
8	00101	H	Х	24	10111	X	Ь
9	01100	I	И	25	10101	Y	Ы
10	11010	J	Й	26	10001	Z	З
11	11110	K	К	27	00010		Возвр.кар<
12	01001	L	Л	28	01000		Перев.стр
13	00111	M	М	29	11111		ЛАТ
14	00110	N	Н	30	11011		ЦИФ
15	00011	O	О	31	00100		Пробел
16	01101	P	П	32	00000		РУС

При передаче для перевода телеграфного аппарата с одного регистра на другой нужно нажать на клавишу данного регистра, например, для передачи цифр на клавишу «ЦИФ». Под действием этой комбинации (в линию посылаются сигналы 11011) срабатывает регистровый механизм, обеспечивая отпечатывание цифровых знаков.

Равномерный двоичный код №2 является более экономичным и удобным, чем код Морзе. Все знаки кода №2 содержат одинаковое число единичных элементов – 5.

Широкое внедрение вычислительной техники на основе развивающейся высокоскоростной электроники привело к революционному прорыву в области передачи сообщений и кодированию сообщений двоичным кодом.

Приведенные примеры способов кодирования позволяют сделать вывод, что при передаче любых сообщений на любом языке в приемном устройстве происходит выбор одной буквы из алфавита, который чаще всего содержит 32 знака.

Если вероятность появления каждого из знаков одинакова и, следовательно, составляет $1/32$, то при передаче одного знака сообщается $\log_2^{32}=5$ бит информации. Для передачи любого из 32 чисел двоичным кодом нужно пять разрядов, а любого из N чисел – $\log_2 N$.

Получим простую форму структуры двоичного числа:

$$N=x_1*2^0+x_2*2^1+x_3*2^2+.....$$

Для передачи любого числа от 0 до 31 необходимо пять двоичных разрядов, или 5 бит информации (табл.3).

Спереди обычно добавляют несколько разрядов служебной информации – адрес, знак начала сообщения и т.д. Последовательность кодов и число разрядов каждого кода должны быть и у отправителя, и у получателя сообщения, чтобы они имели возможность закодировать и декодировать сообщение. В канале связи эти операции автоматизированы с помощью технических устройств: кодеров и декодеров.

Современный переход к бинарному кодированию обусловлен тем, что любые цифровые дискретные сигналы можно регенерировать, т.е. восстанавливать на приемной стороне, воссоздать форму, искаженную помехами, применять способы повышения помехоустойчивости.

Другое достоинство двоичных цифровых сигналов заключается в том, что они требуют минимального отношения $\left(\frac{P_{max}}{P_{min}}\right)$ мощности сигнала к мощности помехи, что является их основным преимуществом.

Таблица 3

Цифровое кодирование

Десятичное число	Двоичное число	Десятичное число	Двоичное число
0	00000	16	10000
1	00001	17	10001
2	00010	18	10010
3	00011	19	10011
4	00100	20	10100
5	00101	21	10101
6	00110	22	10110
7	00111	23	10111
8	01000	24	11000
9	01001	25	11001
10	01010	26	11010
11	01011	27	11011
12	01100	28	11100
13	01101	29	11101
14	01110	30	11110
15	01111	31	11111

В следующем разделе рассмотрим виды параметров электромагнитных колебаний, представляющих сигнал как физический процесс, отображающий сообщение.

3. ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ФОРМА ЗАПИСИ И ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ

Аналитическое выражение гармонического колебания представляет собой функцию времени при условии, что начальная фаза колебания равна нулю:

$$U(t) = U_m \sin \omega t,$$

где $U(t)$ – мгновенное значение функции (моментальное значение амплитуды в момент t); U_m – амплитудное значение функции; ω – циклическая частота колебания в единицах радиан в секунду; t – текущее время (в секундах); ωt – текущий угол колебания в радианах.

Следует напомнить, что шкалы измерительных приборов градуируются в действующих значениях измерительных величин. Действующее значение величины напряжения связано с амплитудным значением известным соотношением:

$$U_m = U * \sqrt{2},$$

где U – действующее значение переменного напряжения, измеренное прибором. В технической литературе букву (д) – «действующее» не ставят.

Отсюда:

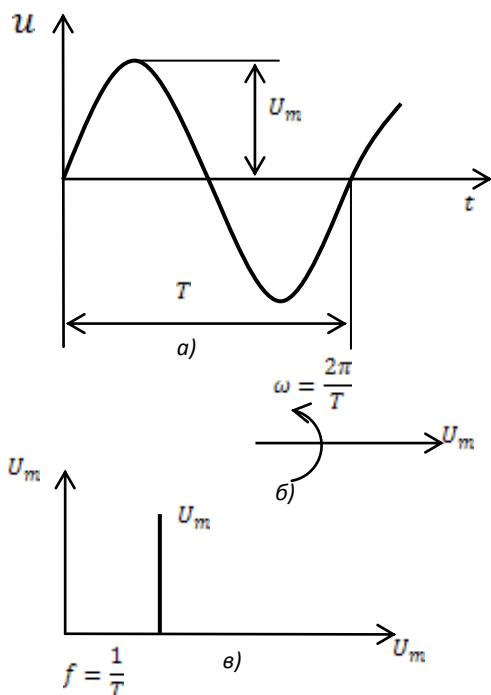
$$U = U_m * \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m$$

Приведем примеры графического изображения функции $U(t)$ в различных формах (рис. 4).

На рисунке 4 в) представлен спектр колебания, который ограничен только одной частотной составляющей, т.е. частотой $f = 1/T$, которая определяется периодом функции на оси времени. На спектральной диаграмме гармоническое колебание представлено одной вертикальной линией в координатах «частота – амплитуда». Длина линии пропорциональна амплитуде колебания.

Поскольку далее рассмотрим колебание сложной формы, которое содержит несколько частотных составляющих (гармоник), то предварительно

приведем наглядный пример частотной диаграммы. Чем медленнее происходит колебание, тем больше его временной период.



а) - временная диаграмма гармонического колебания

б) - векторная диаграмма гармонического колебания

в) - спектральная (частотная) диаграмма гармонического колебания

Рис.4. Графическое представление гармонического колебания

Ухо человека воспринимает звуковое колебание по высоте тона. Можно легко отличить звучание комариного писка от звучания шмеля или мухи. Приведем пример распределения известных звуков на оси частот, чтобы окончательно сформировать понятие спектра (рис.5).

На приведенных рисунках амплитуда колебаний для спектральных составляющих не указана. Распределение частотных гармоник по амплитуде всегда случайно. Именно поэтому мы отличаем каждого человека по его голосу, так как набор частотных составляющих голоса строго индивидуален (как индивидуален отпечаток пальцев или рисунок сетчатки глаза).

Из приведенных рассуждений следует простой, но крайне важный для практического применения вывод: если известен частотный спектр сложного колебания, то всегда можно восстановить набор гармонических колебаний на временной оси и составить их строгое математическое описание.

Приведем пример спектрального представления сложного колебания. Пусть на рисунке 6 дан спектр сложного колебания. Во-первых, пользуясь

данными этого рисунка, можно написать уравнение колебаний, из которых составлено сложное колебание. Во-вторых, начертить графики этих колебаний. Пусть разность фаз между этими колебаниями в момент t равна нулю ($t=0$). Решение такой задачи несложно.

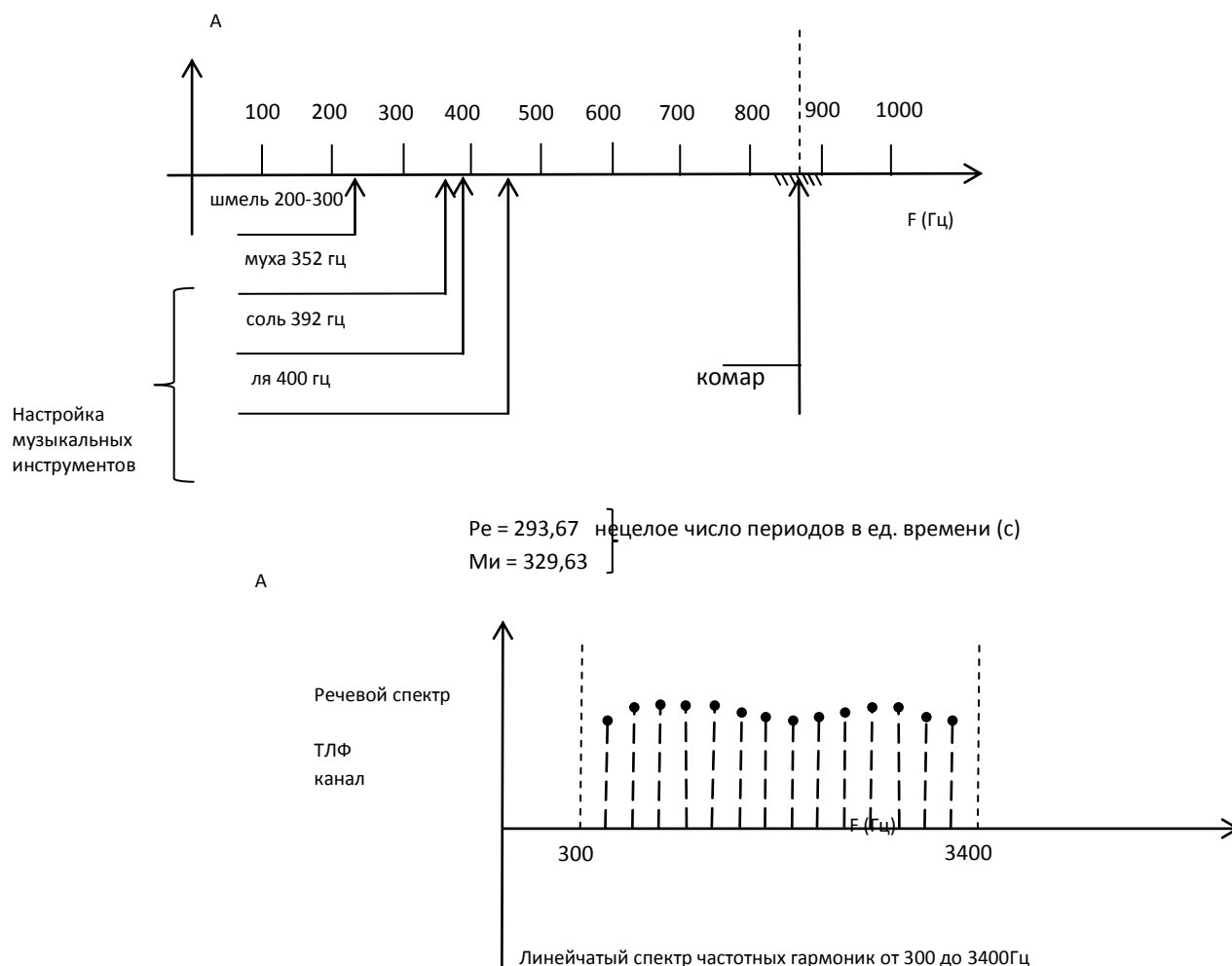


Рис.5. Представление частотных составляющих известных сигналов

Из спектра сложного колебания видно, что первое колебание имеет амплитуду: $A_1 = 0,03$ м и частоту $f_1 = 0,2$ с⁻¹, второе: $A_2 = 0,02$ м и $f_2 = 0,5$ с⁻¹ и третье: $A_3 = 0,01$ м и $f_3 = 1$ с⁻¹. Таким образом, уравнения этих колебаний будут следующие:

$$x_1 = 0,03 \cos 0,4\pi t, \text{ м}$$

$$x_2 = 0,02 \cos \pi t, \text{ м}$$

$$x_3 = 0,01 \cos 2\pi t, \text{ м}$$

На рисунке 7 представлены временные графики колебаний с периодами:
 $T_1 = 5\text{с}$, $T_2 = 2\text{с}$, $T_3 = 1\text{с}$.

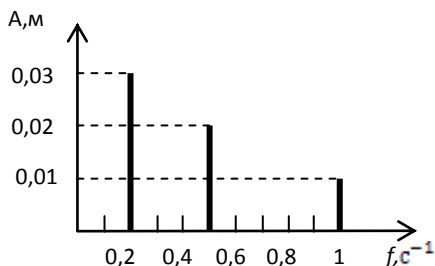


Рис. 6. Спектр сложного колебания трех гармоник

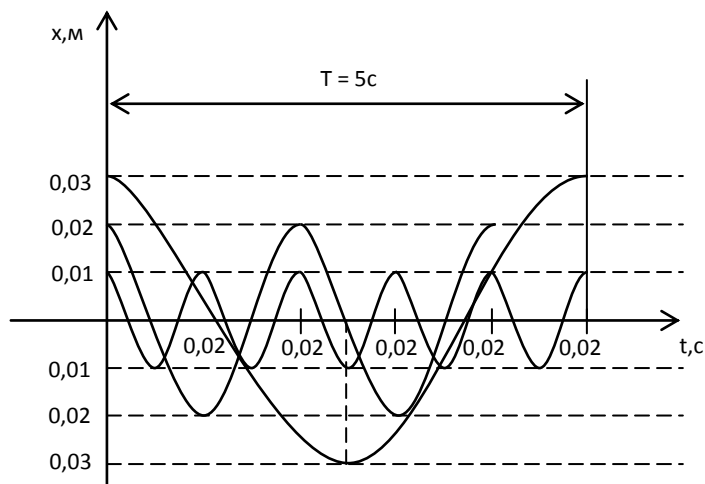


Рис. 7. Временные графики колебаний

Этот простой пример показывает, что переход от временной формы к спектральному представлению колебания и наоборот не представляет сложного математического преобразования. Слово «спектр» знакомо каждому из школьного курса волновой оптики. Спектр радуги определяется мнемоническим правилом: «Каждый охотник желает знать, где сидит фазан». Каждому цвету радуги соответствует своя частотная составляющая: красный, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. Белый свет как сумма гармоник имеет сложный спектр.

Сложный спектр белого света является сплошным, так как переход от цвета к цвету, например, от красного насыщенного к оранжевому, имеет плавный характер. Длины волн приведены в справочной литературе по оптике (от $0,4 \cdot 10^{-6}\text{м}$ до $0,76 \cdot 10^{-6}\text{м}$).

Для нашего случая решения задачи спектр имеет линейчатый вид.

Рассмотрим спектральное представление регулярного колебания в виде периодической импульсной последовательности. **Периодические процессы регулярно повторяющиеся во времени, обладают линейчатым спектром.**

К сожалению, до сегодняшнего дня, когда издается это учебное пособие, ни в одном учебнике физики высшей школы периодические дискретные колебания и их параметры не представлены широкому кругу обучаемых. Рассмотрим их более подробно.

4. ИМПУЛЬСНЫЕ СИГНАЛЫ И ИХ СПЕКТРЫ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ФУРЬЕ ДЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Приведем более простую и подробную, но строгую в математическом описании классификацию импульсных колебаний.

Под *электрическим импульсом* понимается отклонение напряжения или тока от некоторого постоянного уровня (в частности от нулевого), наблюдаемое в течение времени меньшего длительности переходных процессов в схеме.

Существуют два вида импульсов: *видеоимпульсы* и *радиоимпульсы*. Видеоимпульсы получили свое название в связи с развитием телевидения, где они широко используются.

Видеоимпульсы получают при коммутации цепи постоянного тока. Наиболее часто используют видеоимпульсы прямоугольной (рис. 8а), трапецевидной (рис. 8б), экспоненциальной (остроконечной) (рис. 8в), пилообразной (рис. 8г) и треугольной (рис. 8д) форм.

Различают видеоимпульсы положительной (рис. 8а,б,г,д) и отрицательной (рис. 8в) полярности, а также двусторонние – разнополярные – импульсы (рис. 8е). Следует иметь в виду, что реальные импульсы не имеют формы, строго соответствующей названию.

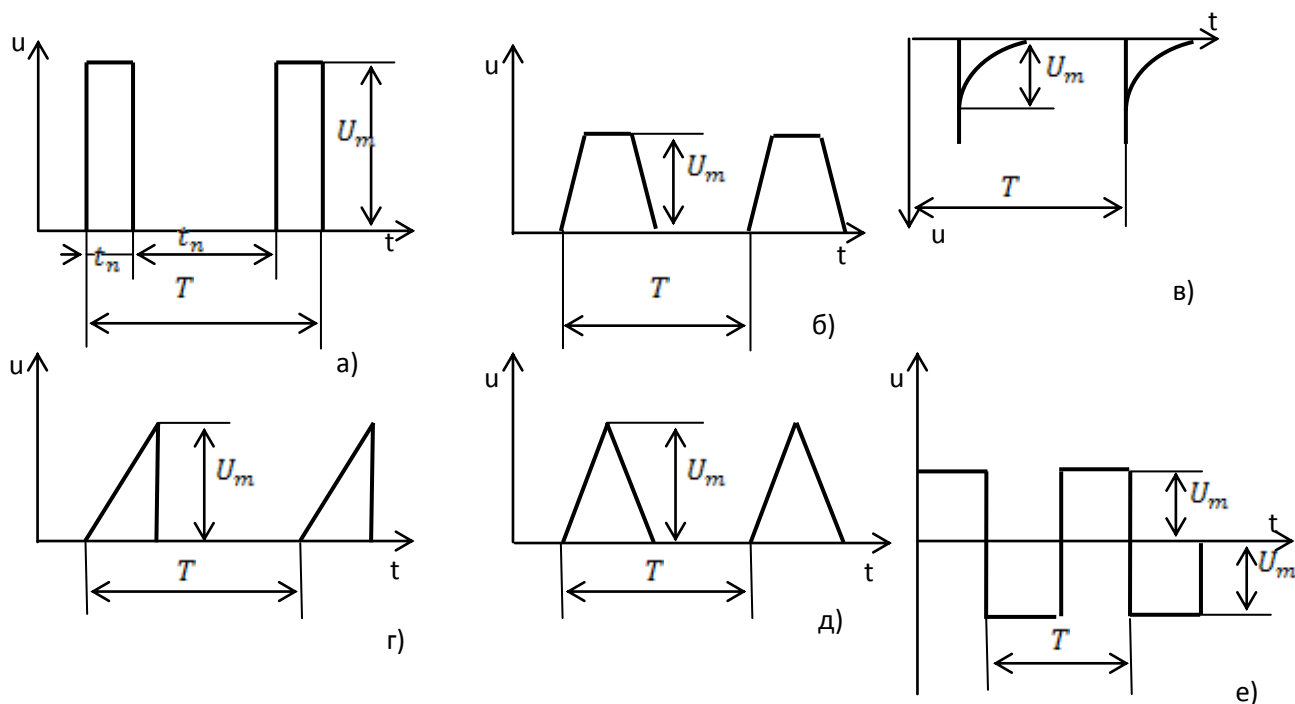


Рис. 8. Видеоимпульсы

Радиоимпульсы (рис. 9) представляют собой кратковременные посылки синусоидального напряжения или тока. Они снимаются с выхода высокочастотного генератора, который управляется (модулируется) видеоимпульсами. Поэтому форма огибающей радиоимпульсов соответствует форме модулирующих видеоимпульсов.

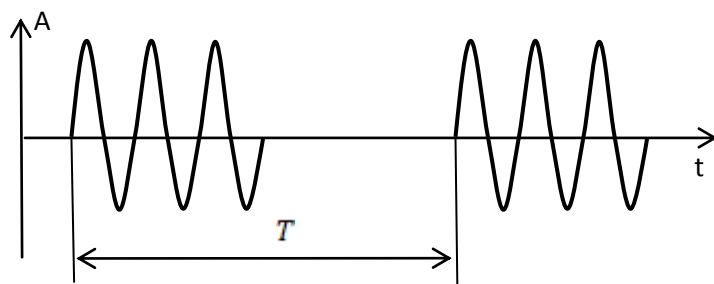


Рис. 9. Радиоимпульсы

Радиоимпульсы – результат модуляции амплитуды высокочастотного колебания прямоугольными видеоимпульсами.

Из приведенных примеров периодических процессов наибольший интерес представляет последовательность рисунка 8е) и её использование в системах цифровой связи.

5. СПЕКТР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Известно, что периодическое несинусоидальное колебание можно представить бесконечным тригонометрическим рядом Фурье, который в общем случае содержит постоянную и гармонические составляющие.

Результат воздействия на схему каждой составляющей определяется сравнительно просто. Пользуясь принципом наложения, можно действие импульса на линейную цепь заменить суммарным действием всех его составляющих.

Часто используется следующая форма математической записи ряда Фурье:

$$f(t) = A_0 + A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos 2\omega_1 t + \dots + A_n \cos n\omega_1 t + \dots + B_1 \sin \omega_1 t + B_2 \sin 2\omega_1 t + \dots + B_n \sin n\omega_1 t + \dots$$

Где $f(t)$ – функция, раскладываемая в ряд; A_0 – постоянная составляющая; $\omega_1 = 2\pi f_1$, $f_1 = 1/T_1$ – частота следования импульсов.

Коэффициенты ряда определяют следующими выражениями:

$$\frac{A_0}{2} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt.$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega_1 t dt;$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega_1 t dt,$$

где $n = 1, 2, \dots$

В некоторых случаях разложение в ряд Фурье упрощается. Так, если кривая *симметрична относительно оси ординат*, т. е. если $f(t) = f(-t)$ (рис. 10а), то в разложении будут отсутствовать синусоидальные составляющие.

Для доказательства этого на рисунке 10б показано суммирование косинусоидальной и синусоидальной составляющих. Как видно, наличие второй из них нарушает указанную симметрию.

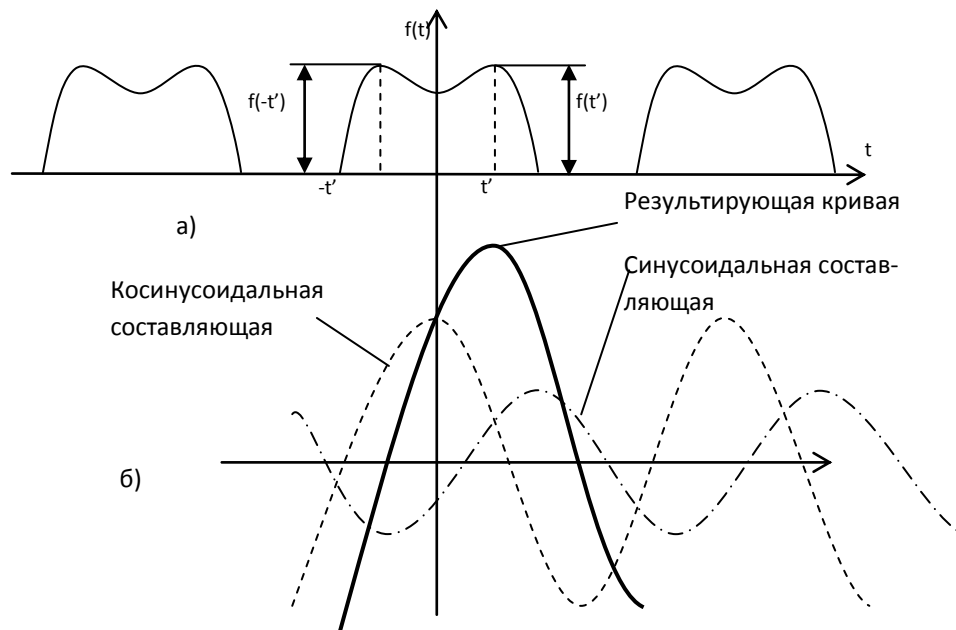


Рис. 10. Колебание симметрично относительно оси ординат

Если кривая *симметрична относительно начала координат* (примером является синусоида), то в разложении отсутствуют косинусоидальные гармоники и постоянная составляющая. Действительно, при наличии в разложении косинусоидальных составляющих кривая перестанет быть симметричной относительно начала координат (рис. 11б).

Аналогичным образом можно убедиться, что в разложении кривой (рис. 11 а) отсутствует постоянная составляющая.

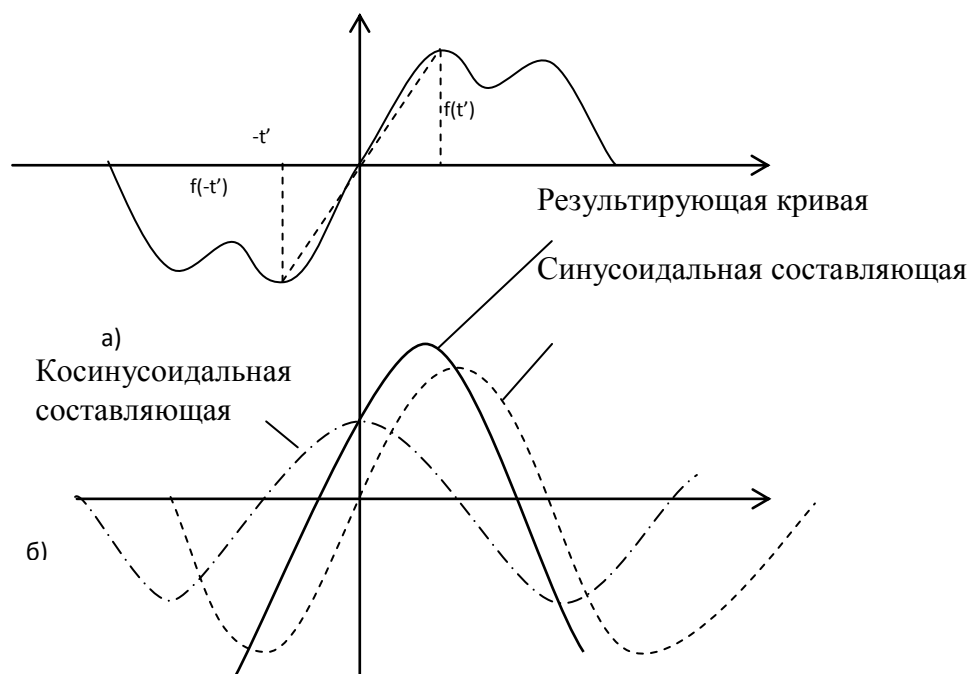


Рис. 11. Колебание симметрично относительно начала координат

Наконец, если кривая симметрична относительно оси абсцисс (рис. 12 а), т.е. если $f(t) = f(t + \frac{T}{2})$, то в разложении отсутствуют постоянная составляющая и гармоники четных номеров. О последнем свидетельствует результирующая кривая на рисунке 12 б), являющаяся суммой первой и второй гармоник. Аналогичным образом можно убедиться, что в разложении отсутствует постоянная составляющая.

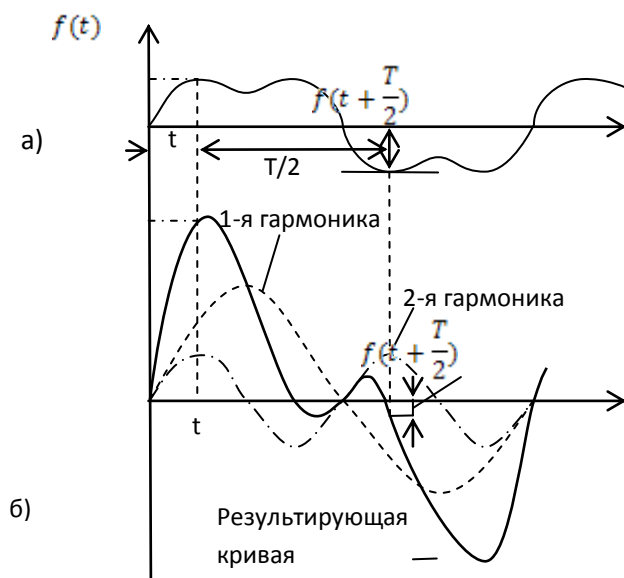


Рис. 12. Колебание симметрично относительно оси абсцисс

6. ВРЕМЕННАЯ ДИАГРАММА РАЗНОПОЛЯРНОГО ИМПУЛЬСНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Симметрия его относительно начала координат приводит к тому, что в разложении не будет косинусоидальных гармоник и постоянной составляющей, а симметрия относительно оси абсцисс обуславливает отсутствие гармоник четных номеров. Поэтому разложение будет содержать только синусоидальные составляющие нечетных номеров.

Амплитуды этих гармоник равны:

$$U_{mn} = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \sin n\omega_1 t dt$$

В пределах одного периода:

$$u(t) = U_m \text{ при } 0 \leq t \leq T/2$$

$$u(t) = -U_m \text{ при } T/2 \leq t \leq T$$

Поэтому:

$$U_{mn} = \frac{2}{T} \left[\int_0^{T/2} U_m \sin n\omega_1 t dt - \int_{T/2}^T U_m \sin n\omega_1 t dt \right] = \frac{2}{T} \left[-\frac{U_m}{n\omega_1} \cos n\omega_1 t \Big|_0^{T/2} + \frac{U_m}{n\omega_1} \cos n\omega_1 t \Big|_{T/2}^T \right]$$

Заменяв ω_1 на $2\pi/T$ и подставив пределы, получим:

$$U_{mn} = \frac{2U_m}{n\pi} (1 - \cos n\pi)$$

Очевидно, что при $n=1,3,5\dots$ $\cos n\pi=-1$, $U_{mn} = \frac{4U_m}{n\pi}$, а при $n=2,4,6\dots$ $\cos n\pi=1$, $U_{mn} = 0$, т.е гармоник четных номеров отсутствуют.

Таким образом, в спектре рассматриваемой последовательности импульсов, симметричной относительно оси абсцисс, содержится бесконечное количество нечетных синусоидальных гармоник, амплитуды которых обратно пропорциональны номеру гармоники. С увеличением номера гармоники его они уменьшаются по гиперболическому закону, что и отражено на спектральной диаграмме (рис. 13б).

Гармоники разных частот по-разному влияют на форму импульсов. Низкочастотные составляющие, имея пологие склоны и тупую вершину, в основном участвуют в образовании плоской вершины импульса.

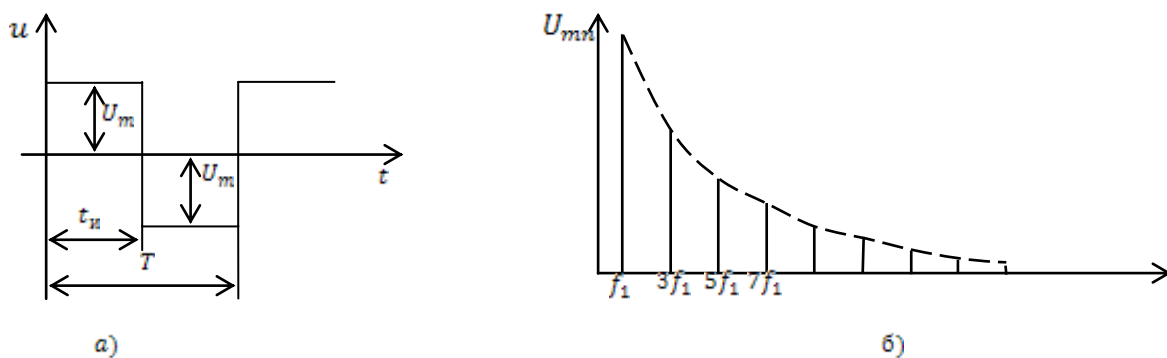


Рис. 13. Временная диаграмма разнополярного импульсного колебания и его частотное представление

Склоны кривых высокочастотных гармоник имеют большую крутизну и преимущественно определяют форму импульса. Поэтому если радиотехническое устройство плохо пропускает низкочастотные составляющие, то это выражается в искажении плоской вершины на выходе; искажение фронтов связано с ограниченным прохождением через устройство высокочастотных составляющих.

Чтобы избежать больших искажений формы импульсов, устройства для их

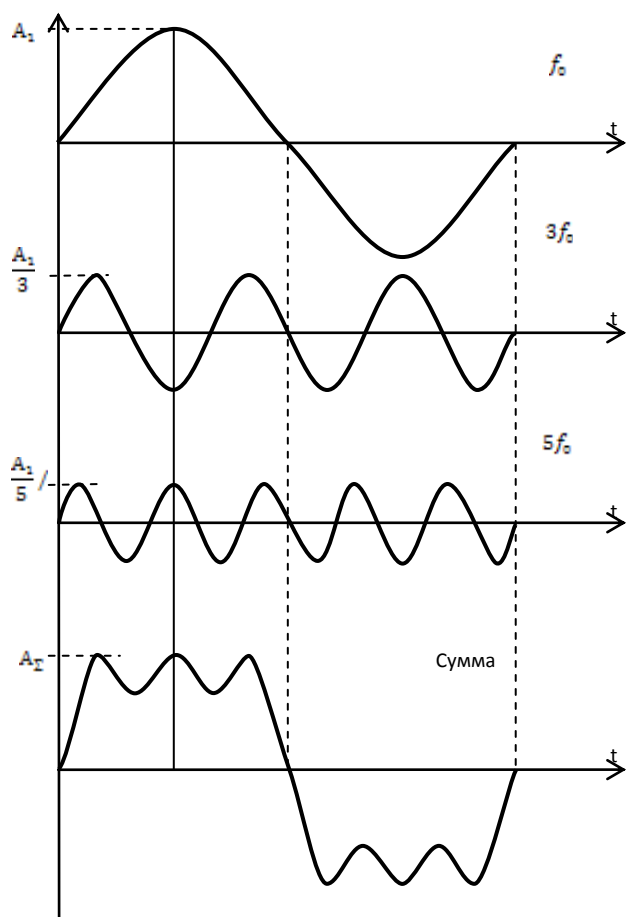


Рис. 14. Форма результирующего колебания при сложении нечетных гармоник

усиления, передачи или трансформации следует выполнять широкополосными. В подтверждение этого вывода и наглядности результатов рассмотрим сложение амплитуд первых трех нечетных гармоник: f_0 , $3f_0$, $5f_0$ при их графическом изображении на оси времени. Сложение амплитуд первых трех нечетных гармоник наглядно показывает форму результирующего колебания (рис. 14).

Идеальный вид результирующего колебания при сложении всех нечетных гармоник (рис. 15).

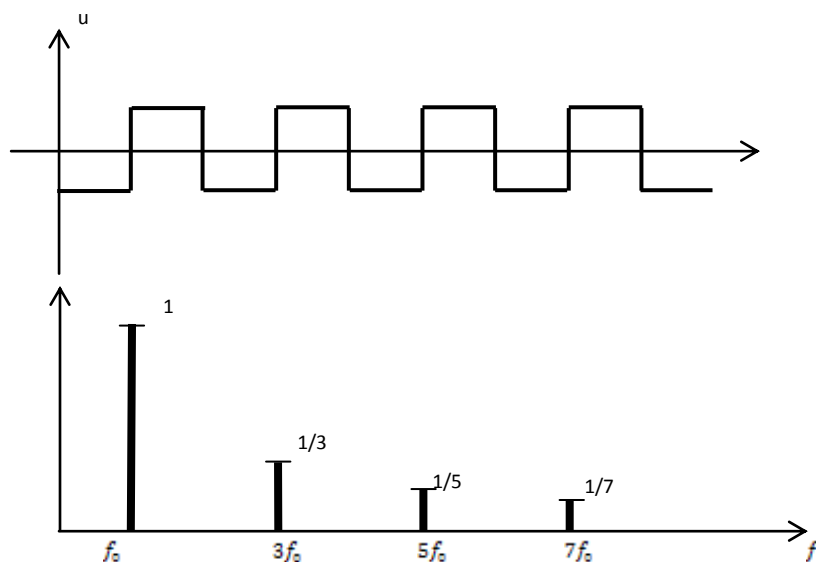


Рис. 15. Идеальный вид результирующего колебания при сложении всех нечетных гармоник

7. ФИЗИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОЛЕБАНИЯ. ПЛИТКА ИНФОРМАЦИИ

Сигналы, представленные в электрической форме, характеризуются определёнными параметрами. К ним относится длительность сигнала T_c , определяющая время, нужное для его передачи. Другой параметр – динамический диапазон – равен отношению наибольшей мгновенной мощности сигнала $P_{\max}$ к наименьшей мощности, которую надо регистрировать при заданном качестве приема, $P_{\min}$:

$$D_c = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}}, \text{ дБ.}$$

Динамический диапазон спокойной человеческой речи, как уже упоминалось, 30...35 дБ, а симфонического оркестра – 70...80 дБ.

Третьим параметром сигнала является ширина его спектра F . Звуковой спектр лежит в пределах 16...20000 Гц. Но передавать весь этот спектр необходимо, лишь когда требуется обеспечить исключительно высокое качество звуковоспроизведения. При телефонной же связи требуется, чтобы речь была разборчивой, и собеседники узнали друг друга по голосу. В этих условиях достаточна полоса частот от 300 до 3400 Гц, которая и принята в качестве стандартной в телефонной связи.

Ширина спектра обратно пропорциональна скорости изменения сигнала во времени – чем быстрее изменяется сигнал, тем шире спектр. Телевизионный сигнал занимает очень широкую полосу частот около 6 МГц.

Произведение трех основных параметров сигнала определяет его объем (рис.16.):

$$V_c = T_c D_c F_c \cdot$$

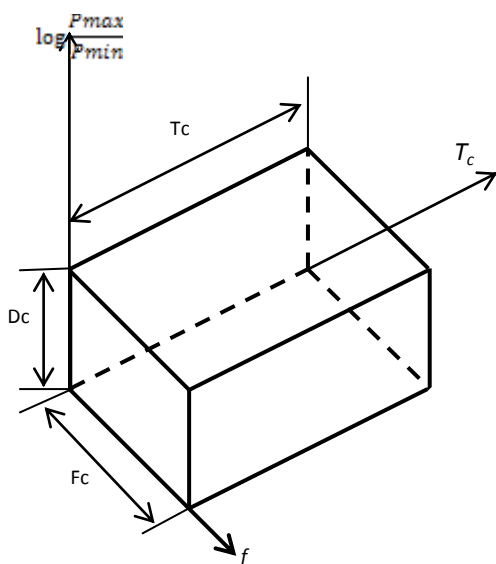


Рис. 16. Графическое представление «плитки» информации

Объем сигнала можно выразить в битах, если скорость передачи умножить на время передачи сигнала:

$$V_c = CT_c \cdot$$

Чем больше объем сигнала, тем больше информации можно вложить в тот объем. Это наглядно иллюстрируется изображением «плитки» информации. Ведь объем параллелепипеда равен произведению его длины, ширины и высоты. Примем длину «плитки» пропорциональной длительности сигнала, ширину – полосе частот, а высоту – логарифму отношения максимальной и минимальной

мощностей сигнала. Тогда объем «плитки» окажется равным объему сигнала.

Теперь в каждом конкретном случае можно оценить, что и сколько надо передавать. А передача осуществляется средствами радиотехники. Совокупность технических устройств, обеспечивающих передачу сигнала из пункта А в пункт В, называется *каналом связи*.

Это может быть проводная, кабельная, радиорелейная, оптическая, коротковолновая или спутниковая линия связи с необходимой приемопередающей аппаратурой. Канал связи имеет свои собственные параметры, а они чаще всего не совпадают с параметрами сигнала.

Пусть, например, автоматическая станция получила телевизионное изображение далекой планеты. Линия радиосвязи со станцией может пропустить лишь ограниченную полосу сигнала и передать весь телевизионный спектр шириной 6 МГц нет никакой возможности. Кроме того, сигнал, прошедший по каналу связи, искажается шумом и помехами. В результате его динамический

диапазон оказывается ограничен сверху максимальной возможностью передатчика, а снизу – уровнем шумов и помех в канале связи.

Другой пример: с автоматической метеостанции, плавающей в открытом море, надо снять информацию, накопленную за сутки или даже за неделю. Сессия связи может длиться всего несколько минут, ведь корабль, самолет или спутник, как правило, не может долго находиться в зоне действия передатчика станции. Значит, «плитку» информации, подлежащей передаче, надо «деформировать», преобразовать так, чтобы её объём не изменился, а параметры были согласованы с параметрами канала связи.

Так и делают. Телевизионное изображение далекой планеты передают долго, существенно увеличивая T_c , сжав одновременно динамический диапазон сигнала D_c и его полосу частот F_c . А метеоданные, накопленные сутками, передают за минуты, значительно увеличивая скорость передачи $C = V_c/T_c$, равную произведению динамического диапазона и полосы сигнала $C = D_c F_c$.

Соотношение между динамическим диапазоном и полосой сигнала так же выбирают исходя из параметров канала связи. При одной и той же скорости передачи можно сформировать широкополосный сигнал с малым динамическим диапазоном (что обычно выгоднее), либо узкополосный с большим динамическим диапазоном.

Все эти вопросы относятся к очень серьёзной, но к сожалению, малоизвестной широкому кругу читателей науке теория передачи информации, или теории передачи сообщений. Известны и другие ее названия: теория связи, математическая (статистическая) теория связи. Эта наука возникла на стыке математических и технических дисциплин, она связана с кибернетикой, теорией вероятностей, математической статистикой, теорией случайных процессов, статической радиотехникой.

8. СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА С ПАРАМЕТРАМИ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ

На рисунке 17 приведена схема передачи сообщений по каналу связи. Передаваемое сообщение (человеческая речь, музыка, текст телепрограммы, изображение и т.п.) следует предварительно преобразовать в электрические сигналы, удобные для передачи по линии. Это превращение происходит в передатчике, включающем в себя тот ли иной преобразователь сообщения в электронный сигнал (микрофон, телеграфный ключ, передающую телевизионную трубку) и, если необходимо, генератор высокой частоты, модулятор, усилитель и др. Из передатчика сигнал поступает в линию (провод, кабель, радиопередачу) и

распространяется по ней до приемника, в котором происходит обратное преобразование сигнала в сообщение, поступающее к получателю.

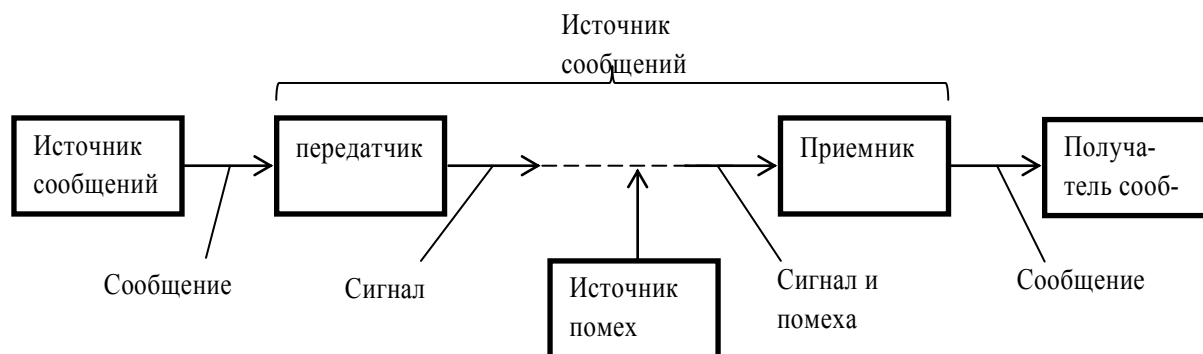


Рис. 17. Структура канала передачи информации

Передатчик, линия связи и приемник образуют канал связи. При передаче по каналу связи сигнал поглощается (затухает) и искажается; кроме того, к нему примешиваются помехи, препятствующие правильному воспроизведению сообщения на приемном конце. Важнейшей проблемой является — наиболее эффективное использование канала связи, т. е. способность системы связи донести сообщение к получателю с минимальными потерями и искажениями.

Объем сигнала является произведением трех компонент:

$$V_c = D_c F_c T_c .$$

Аналогичными параметрами характеризуются и каналы связи. Емкостью канала V_k называют произведение:

$$V_k = D_k F_k T_k ,$$

где D_k — допустимый диапазон изменений мощности в канале; F_k — ширина спектра частот, пропускаемых каналом; T_k — время использования канала.

Условием неискаженной передачи сигнала является соблюдение условия $V_k \geq V_c$. Хотя емкость действующих каналов обычно и превышает объем сигнала, для повышения эффективности использования каналов необходимо, применяя те или иные способы преобразования сигнала, добиваться возможно большего приближения к равенству $V_k = V_c$. Для этого служит описанная ранее процедура кодирования и применение новых способов модуляции колебаний.

Эта задача успешно решена для дискретного вида сигналов. Однако значительно чаще требуется передача непрерывной информации, например, при обработке аналоговых сигналов.

9. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ. ТЕОРЕМА КОТЕЛЬНИКОВА. ИНФОРМАЦИОННАЯ ЕМКОСТЬ НЕПРЕРЫВНОГО СИГНАЛА

Пусть сигнал $s(t)$ представляет собой непрерывную функцию времени, действующую в интервале $0, T$ (рис. 18). Разбив сигнал на сколь угодно короткие импульсы, можно трактовать его как совокупность неограниченного большого числа дискретных сигналов (импульсов), обладающих различными уровнями.

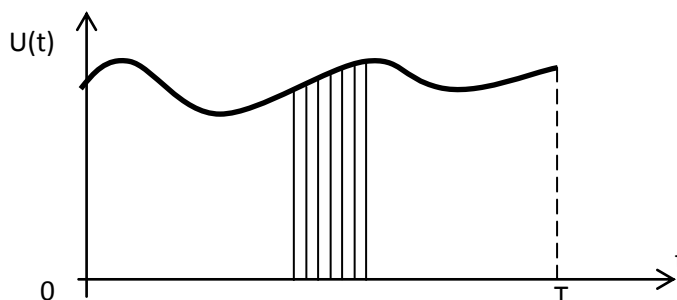


Рис. 18. Временная дискретизация аналоговой функции

Рассматривая каждый уровень как определенное сообщение и учитывая, что как число уровней в одном импульсе, так и число импульсов может быть бесконечно большим, приходим к противоречащему здравому смыслу выводу, что в непрерывном сигнале конечной длительности может содержаться бесконечно большое количество информации.

Ошибочность подобного рассуждения заключается в следующем.

Во-первых, бесполезно производить отсчеты сигнала $s(t)$ слишком часто. Для каждого непрерывного сигнала имеется вполне определенный интервал между соседними «выборками», сокращение которого не дает дополнительных сведений о сигнале. Иными словами, вся содержащаяся в непрерывном сигнале информация может быть определена совокупностью выборок, взятых из сигнала в дискретные, равноотстоящие моменты времени.

Величина интервала Δt между соседними выборками зависит от наивысшей частоты в спектре сигнала: чем больше эта частота, тем меньше должен быть интервал. Если наивысшая частота в спектре меньше, чем F_m , то интервал между выборками не должен превышать величину $1/2 F_m$. Это важное положение основывается на теореме Котельникова («Теорема отсчетов»).

При полной длительности сигнала T число выборок равно:

$$N = \frac{T}{\Delta t} + 1 = 2F_m T + 1$$

Так как обычно:

$$2F_m T \gg 1, \text{ то } N \approx 2F_m T$$

Во-вторых, бесполезно пытаться измерить сколько угодно малое изменение величины выборки, так как помехи, всегда присутствующие в реальной

системе, ограничивают точность измерения. Минимальное изменение сигнала, обнаружимое измерительным устройством, может быть в первом приближении приравнено уровню шумов (канала связи, самого измерителя). Таким образом, при эффективном напряжении помехи σ (нормальный случайный процесс) и эффективном напряжении случайного сигнала u_c эфф, число различных уровней смеси сигнал + шум может быть представлено в виде отношения:

$$L = \frac{\sqrt{u_c^2 \text{эфф} + \sigma^2}}{\sigma} = \frac{\sqrt{P_c + P_n}}{P_n},$$

где $P_c = u_c^2 \text{эфф}$ – средняя мощность сигнала; $P_n = \sigma^2$ – средняя мощность помехи (при сопротивлении цепи 1 ом).

Процедура замены непрерывного сигнала совокупностью выборок называется *дискретизацией сигнала* во времени. Разбиение же сигнала на дискретные уровни часто называют *квантованием сигнала*.

Итак, по своей информационной емкости непрерывный сигнал может быть приравнен к дискретной во времени последовательности выборок, каждая из которых может принимать одно из конечного числа дискретных значений.

10. ДИСКРЕТИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОГО СИГНАЛА

Замена непрерывного сигнала совокупностью выборок (без потери информации) основана на следующей теореме отсчетов (теорема Котельникова): если наивысшая частота в спектре функции $s(t)$ (рис. 19) меньше, чем F_m , то функция $s(t)$ полностью определяется последовательностью своих значений в моменты, отстоящие друг от друга не более чем на $1/2F_m$ с.

В соответствии с этой теоремой сигнал $s(t)$, ограниченный по спектру наивысшей частотой $\Omega_m = 2\pi F_m$, может быть представлен рядом:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s\left(\frac{n}{2F_m}\right) \frac{\sin \Omega_m\left(t - \frac{n}{2F_m}\right)}{\Omega_m\left(t - \frac{n}{2F_m}\right)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(n \Delta t) \varphi_n(t).$$

В этом выражении $1/2 F_m = \Delta t$ обозначает интервал между двумя отсчетными точками на оси времени, а $s(n/2 F_m) = s(n\Delta t)$ – выборки функции $s(t)$ в моменты времени $t = n\Delta t$.

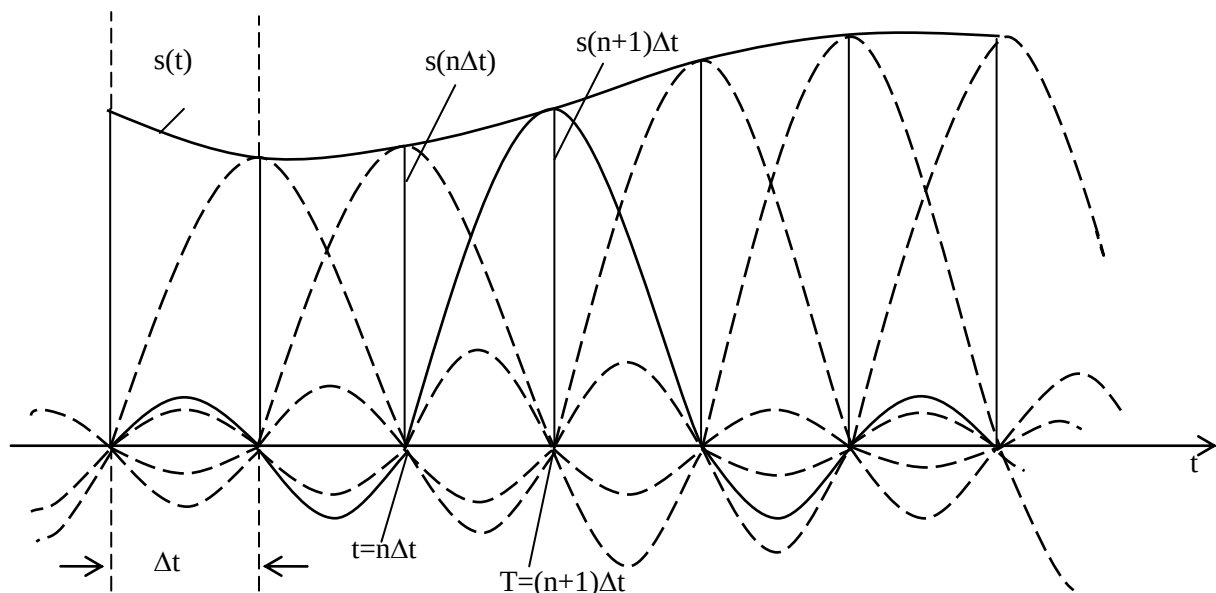


Рис. 19. Формирование дискретных отсчетов

Представление заданной функции $s(t)$ рядом иллюстрируется рисунком 19. Функция вида:

$$\varphi_n(t) = \frac{\sin \Omega_m(t - n \Delta t)}{\Omega_m(t - n \Delta t)}$$

обладает следующими свойствами:

а) в точке $t = n \Delta t$ $\varphi_n(n \Delta t) = 1$, а в точках $t = k \Delta t$,

где k – любое целое, положительное или отрицательное число, отличное от n , $\varphi_n(k \Delta t) = 0$.

б) спектральная плотность функции $\varphi_0(t)$ равномерна в полосе частот $|\Omega| < \Omega_m$ и равна $1/2 F_m = \pi / \Omega_m$. Так как функция $\varphi_n(t)$ отличается от $\varphi_0(t)$ только сдвигом на оси времени на величину $n \Delta t$, то спектральная плотность функции $\varphi_n(t)$:

$$\Phi_n(\Omega) = \begin{cases} \frac{1}{2 F_m} e^{-in\Delta t \Omega} = \Delta t e^{-in\Delta t \Omega} & \text{при } -\Omega_m < \Omega < \Omega_m \\ 0 & \text{при } \Omega \leq -\Omega_m \text{ и } \Omega \geq \Omega_m \end{cases}$$

Модуль этой функции изображен на нижней части рисунка 20 (сплошной линией).

Заданный сигнал $s(t)$ определен в точках отсчета, не требует дополнительных доказательств, поскольку коэффициентами ряда являются сами выборки из функции, т.е. величины $s(n\Delta t)$.

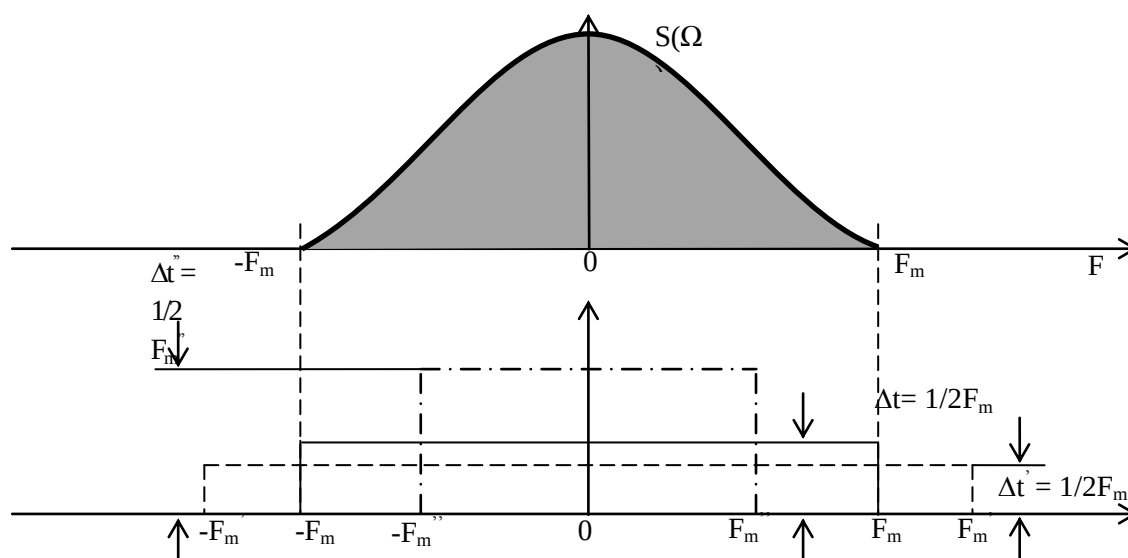


Рис. 20. Спектральная плотность, равномерно распределенная в полосе частот

Для цифровой оценки отсчетов нужен следующий процесс – дискретизация по уровню. Каждый отсчет можно представить числом, соответствующим значению отсчета звукового напряжения. Например, если звуковое напряжение измерять в милливольт, то число целых милливольт и будет отсчетом, а один милливольт – шагом дискретизации по уровню (рис. 21).

Ошибка квантования по уровню в данном случае не превзойдет половины шага квантования, т.е. 0,5 мВ. Отношение максимальной амплитуды звукового напряжения к шагу квантования дает максимальное число, которое можно получить при отсчетах. Оно определяет динамический диапазон передаваемого сигнала. Для передачи телефонной речи с удовлетворительным качеством достаточен динамический диапазон (отношение максимального уровня сигнала к минимальному) 30...35 дБ, что соответствует числу шагов квантования при отсчетах 30. Для передачи одного отсчета двоичным кодом в этом случае достаточно $\ln 230 \approx 5$ разрядов. Для хорошей передачи музыки это число, число шагов квантования по уровню, должно быть не менее 10000, что соответствует динамическому диапазону 80 дБ. В этом случае для передачи одного отсчета потребуется $\log_2 10000 \approx 14$ разрядов.

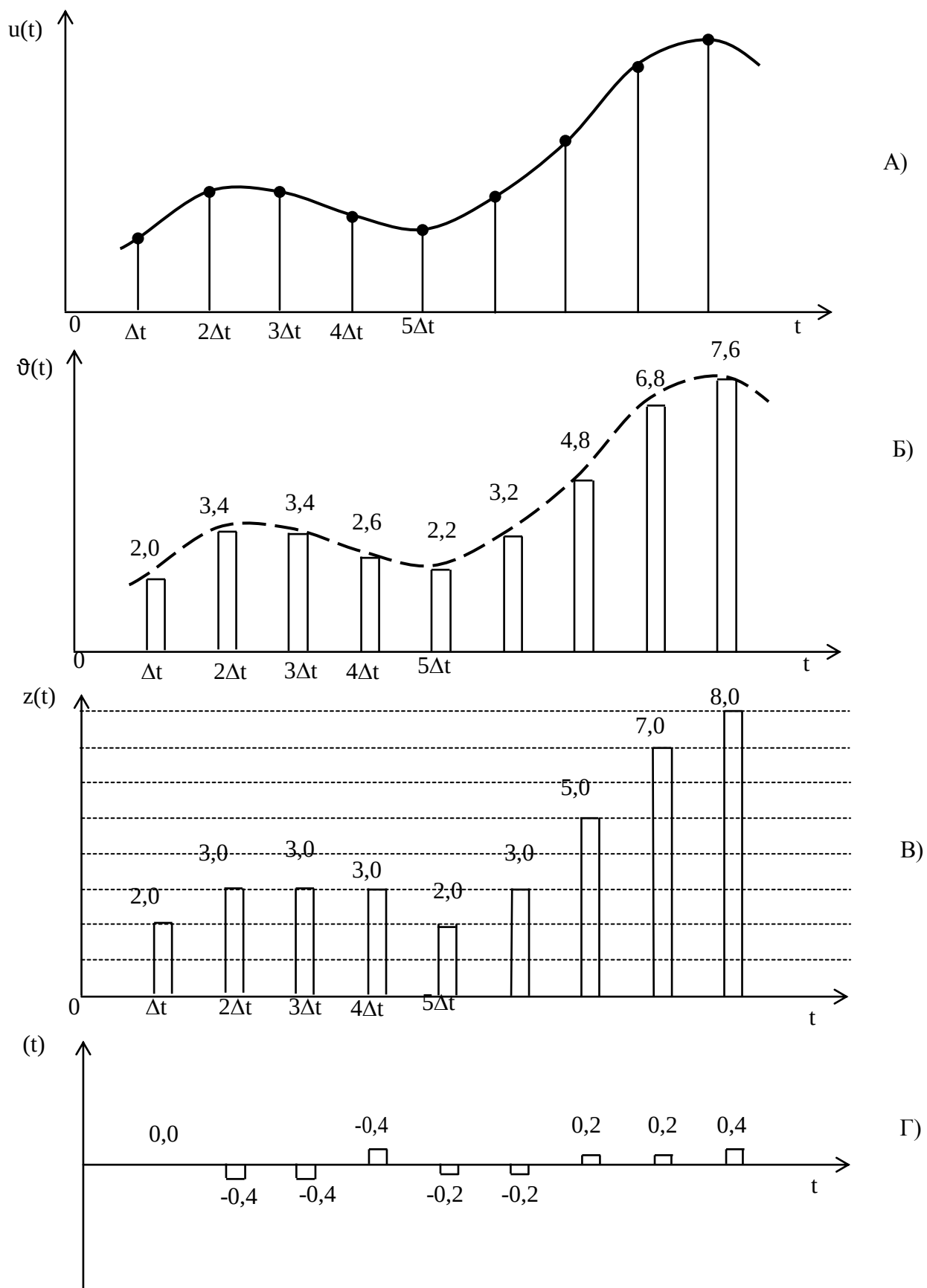


Рис. 21. Дискретизация и квантование непрерывного сигнала:
 А) непрерывный сигнал; Б) импульсный сигнал;
 В) дискретный сигнал; Г) ошибка квантования.

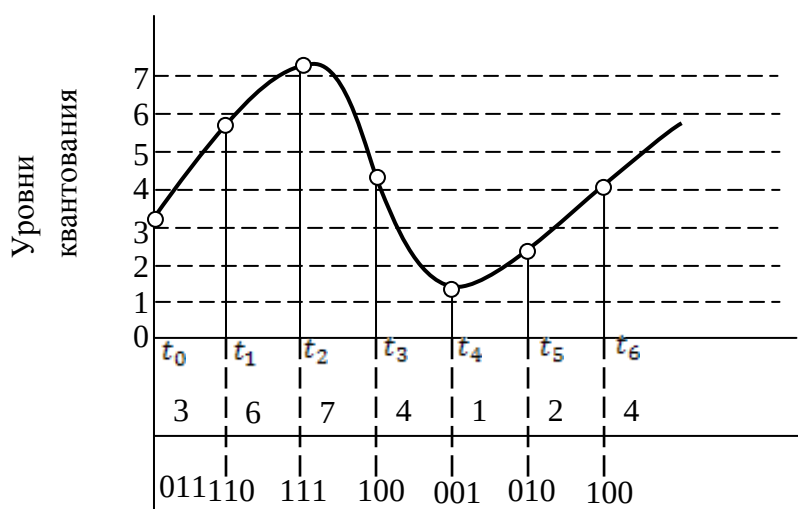


Рис. 22. Упрощенный процесс формирования цифрового потока в канале связи

На рисунке 22 представлен упрощенный процесс дискретизации непрерывной функции по времени и квантования по амплитудному уровню.

Наконец мы можем оценить поток информации при телефонном разговоре. Полагая полосу звуковых частот равной 3,4 Гц и частоту взятия отсчетов 6,8 Гц, получаем количество отсчетов в секунду 6800.

При 30 шагах квантования по уровню каждый отсчет занимает 5 разрядов. Следовательно, в секунду передается 34000 двоичных разрядов, или бит информации. Скорость передачи информации, измеренную в битах в секунду, можно выразить формулой:

$$C = 2F \log_2 N,$$

где F – наивысшая частота звукового спектра; N – число уровней квантования.

Перейдя на цифровую передачу, мы существенно улучшили качество связи. Но не даром же это досталось! Чтобы передать цифровой сигнал со скоростью 34 кбит/с, нужна полоса частот, пропускаемых каналом связи, не менее 34 кГц. А теперь вспомним, что для передачи обычного аналогового телефонного сигнала требуется полоса частот всего 3,4 кГц. Таким образом, цифровые системы связи оказываются широкополосными. Происходит как бы обмен полосы частот на отношение сигнал-шум, но обмен достаточно выгодный. Расширяя полосу частот в десять раз при переходе к цифровой передаче, мы намного снижаем допустимое отношение сигнал-шум, или сигнал-помеха, в канале связи, и это при общем существенном улучшении качества.

Скорость передачи 34 кбит/с достаточно большая, но надо учесть, что при телефонном разговоре с речью как таковой передаются и интонация голоса, и эмоциональная окраска, что хорошо знают все, кто разговаривал друг с другом по телефону, да и не только по телефону. Телеграф, к сожалению, таких нюансов передать не может. Оценим, каков будет поток информации, если телефонный разговор заменить телеграфной передачей того же текста. При

среднем темпе речи человек произносит $1 \dots 1,5$ слова в секунду. Каждое слово состоит в среднем из пяти букв. А для передачи телеграфом одной буквы требуется 5 бит (считаем, алфавит содержит 32 знака). Перемножив все эти числа, получим скорость передачи телеграфной информации, соответствующей тексту телефонного разговора в реальном масштабе времени $C \approx 30 \dots 40$ бит/с.

Это почти в тысячу раз меньше. В такую цену обходятся эмоции и интонации в телефонных переговорах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИКТ

Современный этап развития человеческой цивилизации в лице последних достижений научно-технического прогресса и новейшей информационной революции отличается стремлением развитого индустриального общества к совершенствованию своих социальных структур и институтов.

Ключевыми социотехническими условиями, формирующими и направляющими процессы постиндустриального развития, являются сознательное и целенаправленное использование в экономике и социальной практике систем искусственного интеллекта и, в частности, компьютерных информационно-коммуникативных технологий, телекоммуникаций и сети Интернет, модемной и факсимильной связи, электронной почты, новых технологий телевизионного вещания.

Ведущей и во многом знаковой особенностью современного мира становится формирование глобальной информационной индустрии, развитие которой трансформирует роль информации и знаний в социально-экономическом развитии и влияет на сознание и самосознание человека. Положение и место человека в современном мире стремительно изменяется. Конкретной формой самоорганизации жизнедеятельности человека в мире современных технологий выступает информационное общество. Информационное общество в целом можно представить, как модель развития социальных связей и отношений, формирование которой происходит за счет достижений "электронной революции", а также благодаря быстрому развитию вычислительной техники и информационно-коммуникативных технологий.

Технократический подход к пониманию основных моментов социального движения информации и знаний становится также определяющим условием формирования государственной политики наиболее развитых стран мира в

области информатизации и компьютеризации основных сфер жизнедеятельности, во многом предопределяя направленность и содержание основных процессов глобализации мировой экономики.

В изданиях института ЮНЕСКО по информационным технологиям в образовании [1] обоснованы основные проблемы на пути реализации обучения с использованием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ).

Последовательное решение проблем требует приоритетного развития технических инноваций, внедрение их в социальную практику, а также активное освоение всего комплекса социально-политических возможностей и экономических выгод, вытекающих из их научно-технического потенциала.

Одна из наиболее важных проблем обусловлена доступностью ИКТ, которую в ряде случаев называют «цифровым барьером» между теми, кто способен извлечь преимущества из возможностей, предлагаемых средствами ИКТ, и теми, у кого эти возможности ограничены. Это неравенство существует на уровне стран и внутри самих стран. Увеличение этого разрыва обусловлено рядом причин:

- в условиях глобальной экономики высококвалифицированные работники могут свободно перемещаться. Следовательно, возникнет глобальное разделение труда. Квалифицированные работники, свободно пересекая границы, обеспечивают циркуляцию технологий, в том числе рост высокотехнологичных отраслей промышленности, и содействуют созданию глобального рынка труда;

- большинство пользователей сети Интернет, более 80%, проживают в промышленно развитых странах, но они составляют примерно менее десяти процентов населения планеты. Кроме того, в каждой отдельно взятой стране доступ к Интернету зависит от уровня дохода, образования, размеров компании или сообщества пользователей. Следует иметь в виду и языковую принадлежность, так как большинство сайтов в Интернете существует на английском языке;

- компании и страны различны по уровню и скорости распространения новых технологий, и такое разделение на пользу лишь тем, кто способен адаптироваться и изменяться быстро, то есть самым богатым и самым образованным. Значит, «цифровая пропасть» обостряет социальное и экономическое неравенство между народами. Современный мир оказался разделен не только идеологически, но и технологически.

Таким образом, насыщенность территории государства элементами и узлами связей информационно-коммуникационной инфраструктуры, уровень

доступности и частота использования основных элементов ИКТ населением и различными организациями, - все это свидетельствует о переходе общества в информационное состояние. Соответственно, возникновение и развитие информационного общества понимается как прямое и объективное социальное следствие научно-технического прогресса и оценивается как ступень в развитии современной цивилизации.

Первой и постоянной задачей является подъем уровня базового образования и когнитивных навыков населения страны, то есть формирование стратегий и систем для профессионального обучения работников в течение всей трудовой жизни.

Важной проблемой является осуществление равноправного доступа к возможностям получения образования и обучение целых групп населения современным профессиям. Это позволит не исключать трудовые ресурсы из производственно-экономических процессов.

Наличие большого числа незанятых людей в экономике конкретной страны приведет к тому, что слишком высокой окажется величина стоимости упущенных возможностей образования. В современных условиях это можно наблюдать как обострение социальной напряженности в ряде стран. В наши дни иметь равные возможности образования означает нечто большее, чем просто получить доступ к образованию и обучению. Даже при условии, что доступ к образованию имеется, многие студенты учебных заведений не обладают нужными когнитивными навыками, чтобы завершить образование и успешно вписаться в рынок труда. Навыки побуждения к познавательной деятельности в освоении профессии следует формировать еще на младших курсах обучения. Только такие технологии образования, нацеленные на преодоление когнитивного барьера, приведут к повышению уровня образования.

Инвестиции в трудовые ресурсы являются важнейшей частью дальнейшего роста экономики любой страны. Оптимизация навыков обучения студентов требует создания учебных материалов на основе знаний, где когнитивная и аффективная области обучения приобретают все большее значение по сравнению с психомоторными навыками. Когнитивная область обучения, как один из уровней интеллектуального развития, занимается использованием навыков интеллекта и повышает способности обучаемых обращаться к уже имеющимся знаниям. На основе приобретаемых знаний развиваются навыки осмысления целей, обучения познавательной способности, навыки анализа и синтеза учебной информации.

Этот метод разработан и описан в 1956 году под руководством Бенджамина Блума в его работе «Taxonomy of Education Objectives, The Classification of Educational Goals, Handbook 1: Cognitive Domain», Benjamin Bloom, ed., 1956 («Таксономия образовательных целей. Справочник 1 по классификации образовательных целей: Когнитивная область», Бенджамин Блум, 1956). Цель метода – оптимизация обмена идеями и материалами в рамках исследований в образовании и разработки программ обучения, учебных материалов по направлениям профессиональной подготовки обучаемых.

Цель обучения должна быть направлена на преодоление «когнитивного барьера», то есть нарушения познавательного стремления обучаемых. В когнитивном обучении используются навыки интеллекта и способность обучаемых обращаться к уже имеющемуся знанию, навыки осмысления, анализа и синтеза новой информации и идей. Наиболее трудоемким процессом является способность студента осознавать значение сообщаемой информации, оценивать ее для построения выводов и умозаключений, для разложения на компоненты и синтеза новых знаний.

Создание учебных материалов для развития мыслительной деятельности обучаемых в большинстве случаев опирается на блочный метод, основанный на компетенциях. Обязанность в разработке карты компетенций ложится на преподавателя, как специалиста в области анализа учебной программы, подготовки студента к выполнению функциональных задач в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта.

Реализация компетентного подхода для когнитивной области обучения включает несколько уровней компетенций: знание, понимание, применение усвоенной информации, анализ, синтез новых знаний, моделей или структур. Следует отметить важный факт, влияющий на формирование блока компетенций: комбинирование и интеграция имеющихся знаний. Как правило, эта область деятельности находится на стыке учебных дисциплин.

Авторами в качестве примера приведена проблема изучения физико-математических основ аналого-цифрового преобразования параметров электромагнитных колебаний.

На стыке дисциплин математика-информатика-физика возникает своеобразный «когнитивный барьер». Он обусловлен переходом к спектральному анализу периодических функций, сопряжением физических параметров сигнала с параметрами канала, способами представления аналоговых функций в дискретный вид, способами повышения скорости передачи цифровой информации и т.д.

Взаимосвязь основных положений теории информации и кодирования К. Шеннона, теории спектрального анализа Ж. Фурье, теории потенциальной помехоустойчивости В. Котельникова можно перевести на язык практического представления физических параметров [2].

Физика как естественнонаучная дисциплина является основой для повышения уровня инженерно-технической подготовки, поэтому несомненным достоинством перехода к цифровому представлению информации (начиная с курса физики) является наглядность и простота оценки потока информации. Например, скорость передачи информации, измеряемую в битах в секунду, легко связать с занимаемой сигналом полосой частот.

Основное назначение систематизации образовательных целей заключается в обеспечении коммуникативности, то есть во взаимосвязи естественнонаучных и инженерно-технических дисциплин. Требование коммуникативности приводит к поиску средств и форм обмена идеями и учебными материалами. Такими формами могут являться дистанционные образовательные сообщества.

С переходом на программы бакалавриата возникла проблема подготовки специалистов, обладающих достаточными компетенциями при сокращении сроков обучения. При подготовке по программам бакалавриата сокращение срока составляет один учебный год, а с учетом подготовки студентов на основе среднего образования еще более.

Следует учесть, что поток доступной информации, благодаря средствам ИКТ, возрос в геометрической прогрессии. Кроме того, разработка и издание учебной литературы (учебников) для высшей школы, как обычно, отстает от требований программ подготовки специалистов для высокотехнологичных производств. Все перечисленные условия ставят процесс обучения студента в условия интенсификации познавательной деятельности.

Изложенные особенности современного образовательного процесса свидетельствуют о необходимости разработки стратегии по созданию интегрированных по направлениям подготовки дистанционных образовательных сообществ и регламентации их деятельности в масштабах регионов, организации дистанционных методических объединений. Дистанционные образовательные сообщества должны создавать для обучаемых платформу для быстрого и эффективного обмена знаниями, учебными материалами, опытом подготовки к любым видам учебной и профессиональной деятельности, с учетом защиты авторских идей. Форма дистанционного образовательного сообщества должна подпитывать интерес к нему и позволила бы студенту почувствовать собственную вовлеченность, в отличие от простого использования готовых программ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чиниен, Крис. Использование информационных и коммуникационных технологий в профессионально-техническом образовании: специализированный учебный курс / Крис Чиниен; пер. с английского. – М.: Изд. Дом «Обучение-Сервис», 2006. – 304 с.

2. Платонов, А.Д. Когнитивный барьер аналого-цифрового преобразования в теории электрических колебаний /А.Д. Платонов, И.А. Плотникова, Л.А. Кузина // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД. САПР. АСНИ и систем искусственного интеллекта: материалы 7-ой межд. научно-техн. конф. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – С. 143-146.

Содержание

Введение в проблему аналого-цифрового преобразования информации.....	3
1. Основные положения теории информации К. Шеннона: любое сообщение можно свести к передаче чисел	6
2. Кодирование сообщений	9
3. Гармонические колебания. Аналитическая форма записи и графическое представление.....	13
4. Импульсные сигналы и их спектры. Математическое представление Фурье для периодической импульсной последовательности.....	17
5. Спектр периодической импульсной последовательности	18
6. Временная диаграмма разнополярного импульсного напряжения прямоугольной формы.....	21
7. Физическое представление параметров электромагнитного колебания. Плитка информации.....	23
8. Связь параметров сигнала с параметрами канала передачи	25
9. Преобразование аналоговых сигналов. Теорема Котельникова. Информационная емкость непрерывного сигнала	27
10. Дискретизация непрерывного сигнала	28
Заключение. Социально-экономические особенности внедрения ИКТ	33
Библиографический список.....	38

Подписано в печать 15.05.2014. Усл. печ. л. . Тираж .
Печать офсетная. Бумага офисная. Заказ № _____

Отпечатано: РИО ВоГУ, г. Вологда, ул. Ленина, 15