

ТЕМА 3.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ.

ЛЕКЦИЯ 11. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СРЕДСТВАХ ИЗМЕРЕНИЙ

Средства измерений - это технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические характеристики. От средств измерений зависит правильное определение значения измеряемой величины. Поэтому в рамках темы 3 будут рассмотрены классификация средств измерений, применяемых в области электротехники, основные метрологические характеристики, принцип построения и работы измерительных приборов.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Многообразие средств приводит к многоступенчатой классификации (рис. 11.1). На первой ступени все средства разделяются на два класса: по функциональному назначению и по выполняемым метрологическим функциям.

По выполняемым метрологическим функциям все средства делятся на *эталонные, образцовые и рабочие средства. Эталонные – это средства измерений, предназначенные для хранения, воспроизведения и передачи размеров единиц физических величин рабочим средствам.* Различают первичные эта-

лоны, эталоны-копии, эталоны сравнения и рабочие эталоны.

Первичные эталоны воспроизводят размеры единиц физических величин с наивысшей точностью, достижимой в данной области измерений. Первичные эталоны, принятые в стране в качестве исходных, называются *государственными эталонами*.

Эталон - копии предназначены для передачи размера единиц физических величин рабочим эталонам, которые служат для поверки и калибровки образцовых и наиболее точных рабочих средств измерений.

Эталон сравнения предназначен для взаимного сличения.

Деление средств по функциональному назначению – это вторая ступень классификации. На этой ступени все средства делятся по пяти признакам: *меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и измерительно-вычислительные средства.*

По количеству воспроизводимых значений единиц физических величин меры разделяют *однозначные* и *многозначные*. К однозначным мерам относят измерительные катушки сопротивлений, катушки индуктивностей, измерительные конденсаторы постоянной емкости, нормальные элементы и стабилизированные источники питания. К многозначным мерам относят измерительные генераторы, калибраторы напряжения, тока и фазового сдвига, измерительные конденсаторы переменной емкости, вариометры, магазины сопротивлений, индуктивностей, емкостей.

Деление измерительных преобразователей приведено на рис. 11.1. *Первичными преобразователями* называются датчики электрических сигналов. Они преобразуют значение физической величины (температуры, давления, размера и т. п.) в пропорциональное изменение параметра электрического сигнала (напряжения, тока, фазы). Такие преобразования значительно расширяют область применения электроизмерительных приборов, делая их

универсальными средствами измерений

Масштабным называют измерительный преобразователь, предназначенный для изменения измеряемой величины в заданное число раз. К ним относят шунты, делители напряжения, измерительные усилители и измерительные трансформаторы.

Аналоговые преобразователи применяют для преобразования одной величины (например, мощности или напряжения) в другую (например, в частоту), более удобную для измерения. *Аналого-цифровые (АЦП)* и *цифро-аналоговые (ЦАП)* преобразователи широко применяются в устройствах и системах цифровой обработки сигналов.

Измерительной установкой называют совокупность функционально и конструктивно объединенных средств измерений и вспомогательных средств для рациональной организации измерений.

Измерительно-вычислительные (процессорные) *средства* включают в свой состав:

измерительно-информационные системы (ИИС) – совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и вспомогательных средств для получения измерительной информации;

измерительно-вычислительные комплексы (ИВК) – совокупность автоматизированных средств измерений и свободно программируемой ЭВМ, которая обрабатывает результаты измерений, управляет процессом измерения и воздействует на объект.

Многообразие измерительных приборов требует ввести третью ступень классификации. Все измерительные приборы делят по пяти признакам:

- по виду сигнала измерительной информации,
- по способу представления информации,
- по измеряемой величине,

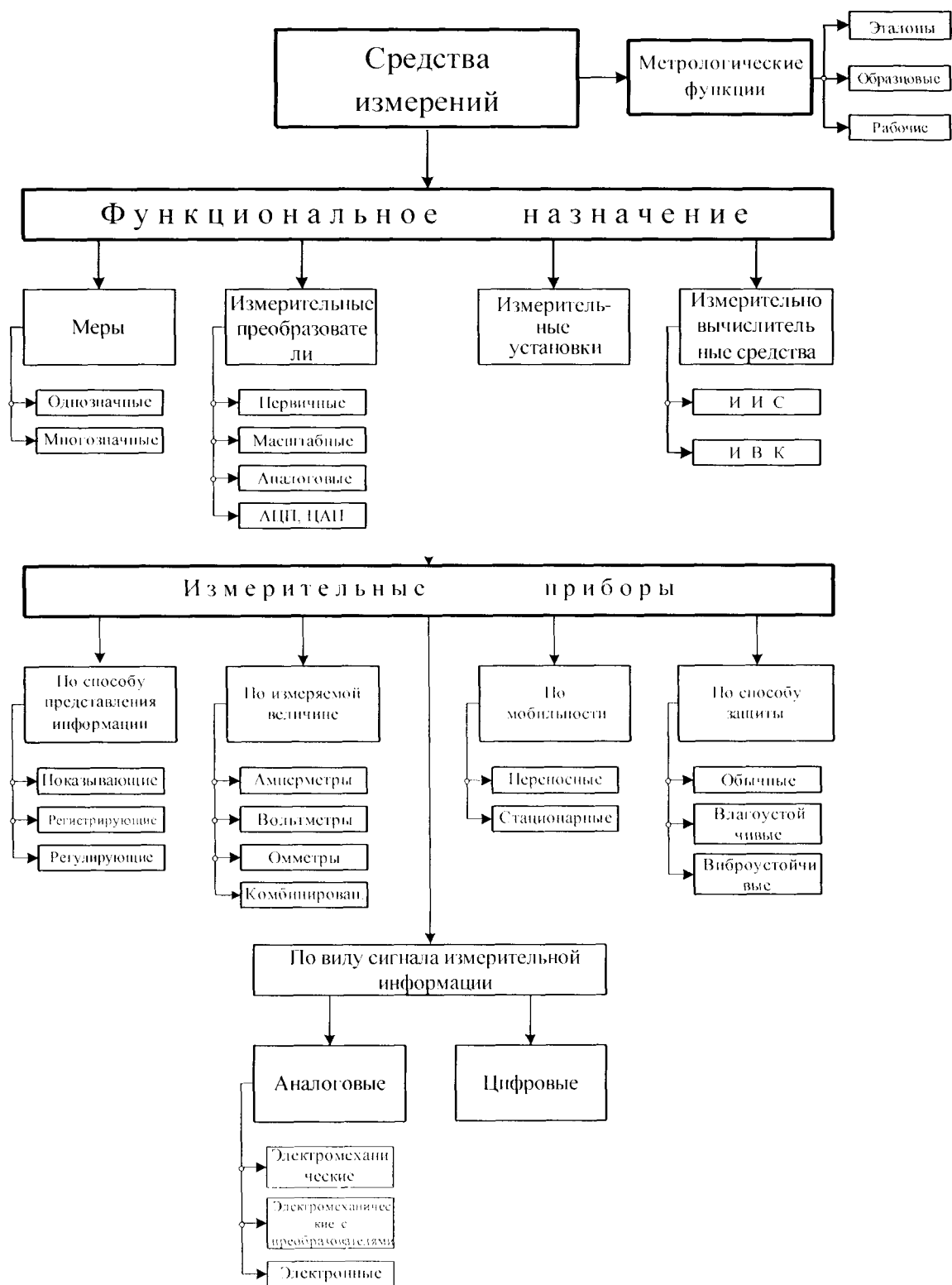


Рис. 11.1. Классификация средств измерений

- по мобильности,
- по способу защиты.

Состав групп приборов, выделенных по каждому из перечисленных признаков, приведен на рис. 11.1 и не требует дополнительных пояснений. Однако необходимо отметить, что многообразие используемых в измерительных приборах сигналов измерительной информации стало причиной еще одной, четвертой ступени классификации. На этой ступени все приборы разделяют на аналоговые и цифровые. Следует отметить, что класс цифровых измерительных приборов достаточно широк и включает средства измерения практически всех физических величин.

2. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

На циферблаты, щитки и корпуса измерительных приборов наносятся обозначения, определяющие назначение прибора, тип измерительного механизма, род тока, класс точности, рабочее положение и др. Рассмотрим каждую из групп условных обозначений.

Условные обозначения, определяющие назначение приборов, сведены в таблицу 11.1. Таблица представляет три признака обозначения:

- род измеряемой величины,
- наименование прибора,
- условное обозначение.

Необходимо понимать, что в одной таблице невозможно даже перечислить все существующие в настоящее время измерительные приборы, поэтому в ней представлены только наиболее распространенные.

Таблица 11.1

Род измеряемой величины	Наименование прибора	Условное обозначение
Сила тока	Амперметр	A
Напряжение	Вольтметр	V
Мощность	Ваттметр	W
Энергия	Счетчик киловатт-часов	KWh
Количество электрич.	Счетчик ампер-часов	Ah
Сдвиг фаз	Фазометр	φ
Частота	Частотомер	Hz
Сопротивление	Омметр	Ω
Индуктивность	Генриметр	H
Емкость	Фарадометр	F

В таблице 11.2 приведены условные обозначения класса точности, рабочего положения и внешних электрических контактов. Предварительно уточним, что класс точности измерительного прибора – это обобщенная характеристика, определяемая пределами основных допускаемых погрешностей.

Предел основной допускаемой погрешности обычно выражается:

– в единицах измеряемой величины, одним числом

$$\Delta_{n,пред} = \pm a,$$

где $\Delta_{n,пред}$ – предел допускаемой абсолютной погрешности,

– в относительной величине (относительная погрешность),

$$\delta_{n,пред} = \pm \frac{\Delta_{n,пред}}{A_n} \cdot 100 = \pm h,$$

где A_n – показания прибора,

– в приведенной величине (приведенная погрешность)

$$\gamma_{п.прво} = \pm \frac{\Delta_{п.прво}}{L} \cdot 100,$$

где L – нормирующая величина.






Величина L равна:

– конечному значению рабочей части шкалы прибора, если нулевая отметка находится на краю шкалы,

– арифметической сумме конечных значений шкалы, если нулевая отметка находится внутри рабочей части шкалы,

– всей длине логарифмической или гиперболической шкалы.

Таблица 11.2



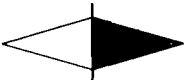

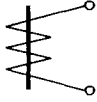
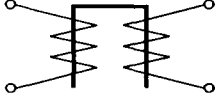




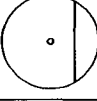
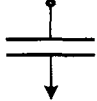
Обозначаемая величина	Условное обозначение
Класс точности, определяемый пределом приведенной максимально допустимой погрешности в единицах измеряемой величины	1,5
Класс точности, определяемый пределом приведенной максимально допустимой погрешности при нормированной длине шкалы	$\underbrace{1,5}$
Класс точности, определяемый пределом относительной максимально допустимой погрешности	$\textcircled{1,5}$
Горизонтальное положение прибора	
Вертикальное положение прибора	
Наклонное положение прибора	
Зажим, соединенный с корпусом прибора	
Зажим для заземления прибора	

Условные обозначения типов измерительных механизмов приведены в

таблице 11.3.

Условные обозначения измерительных механизмов

Таблица 11.3

Тип измерительного механизма	Буквенный индекс	Графическое обозначение	
		С механическим противодействующим моментом	С логометрическим противодействующим моментом
Магнитоэлектрический с неподвижным магнитом	М		
Магнитоэлектрический с подвижным магнитом	М		
Электромагнитный	Э		
Электродинамический	Д		
Ферродинамический	Д		
Индукционный	И		
Электростатический	С		

Рассмотренные условные обозначения дают достаточно полное представление об измерительном приборе. Кроме них на шкалу прибора наносится заводское обозначение. Оно включает:

- буквенное обозначение типа измерительного механизма;
- обозначение завода изготовителя (одной или двумя цифрами);
- номер конструкторской разработки – цифрой.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Несмотря на разнообразие, средства измерений имеют некоторые общие свойства. Это позволяет сопоставлять их между собой. Свойства средств измерений описывают комплексом метрологических характеристик. В лекции рассмотрим основные характеристики.

Функция преобразования (статическая характеристика прибора). Она устанавливает функциональную зависимость между информативными параметрами входного и выходного сигналов средства измерений.

Чувствительность средства измерений – отношение приращения выходного сигнала Δ_y к приращению входного сигнала Δ_x

$$S = \lim \frac{\Delta_y}{\Delta_x} = \frac{dy}{dx}. \quad (11.1)$$

Если статическая характеристика преобразования нелинейная, то чувствительность зависит от x . Если статическая характеристика линейная, то чувствительность постоянна. У измерительных приборов с постоянной чувствительностью шкала равномерная, т.е. длина всех делений шкалы одинакова.

Величина, обратная чувствительности, называется *постоянной прибора* – C , причем

$$C = 1/S. \quad (11.2)$$

Порог чувствительности – наименьшее изменение входной величины, обнаруживаемое данным средством измерений.

Диапазон измерений – область значений измеряемой величины, для которой погрешность измерений не превышает установленных норм. Диапазон измерений может быть разбит на поддиапазоны.

Диапазон показаний – область значений шкалы, ограниченная началь-

ной и конечной отметкой.

Цена деления шкалы – величина, определяемая разностью значений двух соседних отметок шкалы. Для цифровых измерительных приборов указывают цену единицы младшего разряда.

Полное входное сопротивление $Z_{вх}$ – определяет мощность, потребляемую средством измерения от объекта.

Полное выходное сопротивление $Z_{вых}$ средства измерения характеризует допустимую нагрузку на измерительный прибор.

Погрешности средств измерений. Совокупность погрешностей средств разделяют на приведенные и абсолютные; основные и дополнительные; систематические и случайные; аддитивные и мультипликативные; погрешности типа и экземпляра измерительного средства.

Динамическая характеристика – определяет инерционные свойства прибора.

Сведения о метрологических характеристиках приводятся в технической документации на средства измерения. Наиболее важные характеристики указывают на самих приборах.

Установление номинальных значений и границ допустимых отклонений реальных метрологических характеристик средств от их номинальных значений называется *нормированием метрологических характеристик*.

4. СИГНАЛЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В средствах измерений передача, хранение и отображение информации о значениях измеряемых величин осуществляется посредством сигналов. Их принято называть сигналами измерительной информации. Любой сигнал определяется рядом параметров. Один из параметров сигнала измерительной информации функционально связан с измеряемой

величиной. Такой параметр называют *информативным*. Рассмотрим основные виды сигналов, используемых в средствах измерений (рис. 11.2).

На рис.11.2, *а* пунктирной линией показан график изменения во времени измеряемой величины A . Сплошными линиями показан закон изменения сигналов измерительной информации. На остальных графиках пунктирная линия показывает закон изменения первичного электрического сигнала.

1. *Сигналы, непрерывные (аналоговые) по информативному параметру и во времени.* К таким сигналам относятся постоянные (рис. 11.2, *а*) или гармонические (рис.11.2, *б, в, г*) токи и напряжения.

Для постоянных токов и напряжений информативными параметрами являются их мгновенные значения $I(t)$, $U(t)$, функционально связанные с измеряемой величиной A зависимостью $I(t) = K_I A(t)$ или $U(t) = K_U A(t)$, где K_I , K_U – коэффициенты преобразования (рис. 11.2, *а*).

В гармонических сигналах информативными параметрами могут быть максимальная амплитуда U_m (амплитудное значение), угловая частота ω или начальная фаза φ . Изменение информативного параметра в соответствии с измеряемой величиной называют модуляцией сигнала. Соответственно информативным параметрам, различают амплитудную, частотную или фазовую модуляции (рис. 11.2, *б, в, г*).

2. *Сигналы непрерывные по информативному параметру и дискретные во времени* (рис. 11.2, *д*). Такие сигналы представляют последовательность значений информативного параметра, определяемых в моменты t_j .

В реальных средствах это периодическая последовательность импульсов, у которых информативным параметром может быть амплитуда (рис. 11.2, *е*), частота (рис. 11.2, *ж*) или длительность (рис. 11.2, *з*) импульсов. В соответствии с этим различают амплитудно-импульсную (АИМ), частотно-

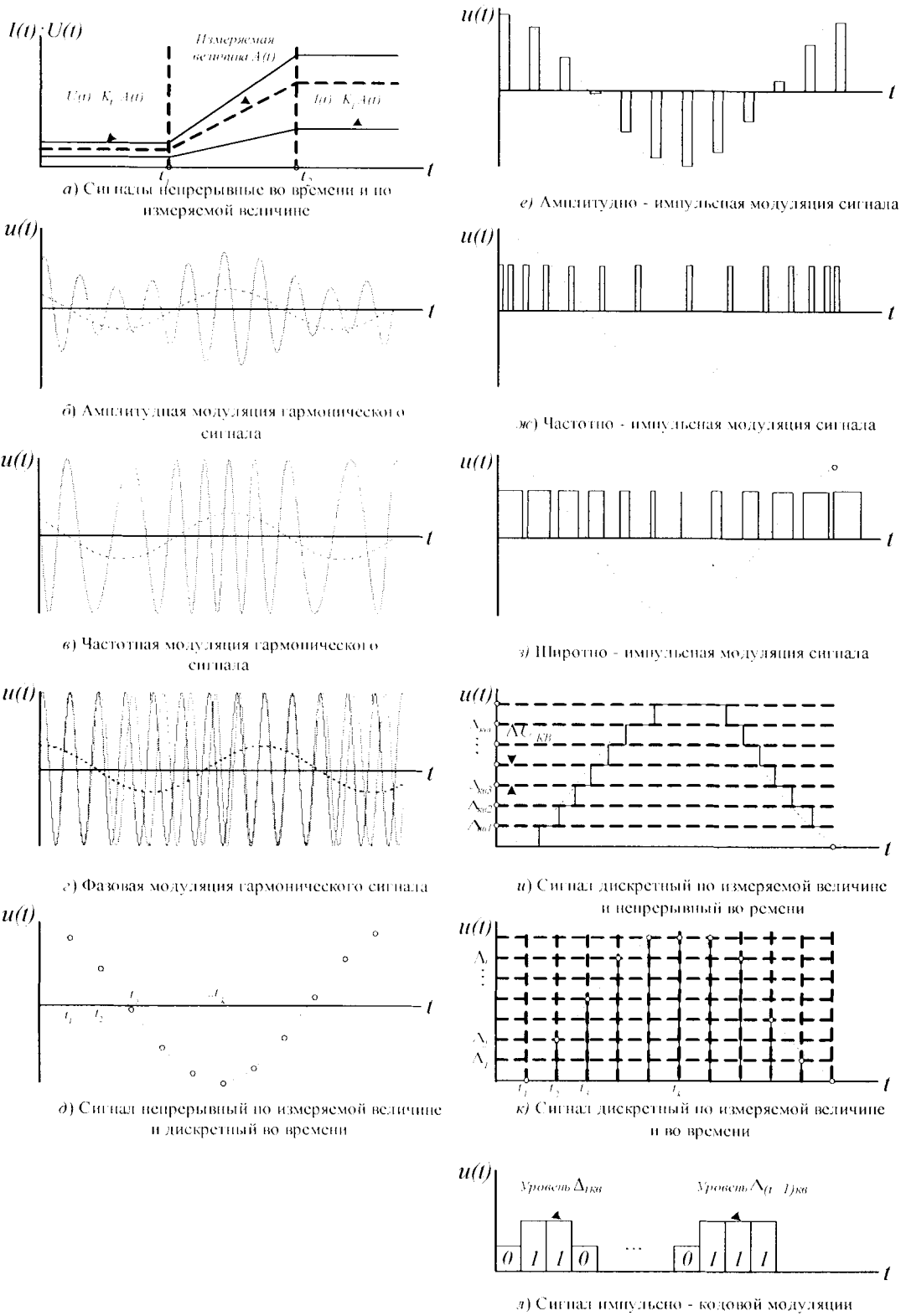


Рис. 11.2 Сигналы измерительной информации

импульсную (ЧИМ) и широтно-импульсную (ШИМ) модуляции.

3. *Сигналы, непрерывные во времени и квантованные (дискретные) по информативному параметру (уровню)* приведены на рис. 11.2, и. Такие сигналы формируются на выходе ЦАП. Информативный параметр этих сигналов может принимать только разрешенные уровни (кванты) Δ_i .

4. *Сигналы, дискретные во времени и по информативному параметру.* Теоретическая модель такого сигнала приведена на рис. 11.2, к.

Если каждому уровню такого сигнала поставить в соответствие кодовую комбинацию, то получим кодово-импульсную модуляцию (КИМ). Такие сигналы формируются на выходе АЦП (рис. 11.2, л).

5. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИГНАЛОВ

Под математической моделью понимают описание сигнала математическими выражениями (формулами, неравенствами, логическими соотношениями и т.п.). Общей особенностью всех моделей сигналов измерительной информации является априорная неопределенность значений информативных параметров. Подход к построению модели определяется классом сигнала. Рассмотрим подходы к построению моделей для квазидетерминированных и случайных сигналов.

Квазидетерминированными называются сигналы, закон изменения которых во времени известен, но не известен информативный параметр. Для построения модели таких сигналов используются как временные, так и спектральные представления. Например, скачкообразное изменение сигнала $u(t)$ на выходе измерительного преобразователя можно описать функцией

$$1(t-t_1) = \begin{cases} 0, & t < t_1 \\ 1/2, & t = t_1 \\ 1, & t > t_1 \end{cases} . \quad (11.3)$$

С помощью этой функции сигнал измерительной информации может быть записан в виде

$$U(t) = a(t) \cdot l(t - t_1) = K \cdot A(t) \cdot l(t - t_1). \quad (11.4)$$

Для описания гармонических сигналов широко используют тригонометрические функции. Например, сигнал АМ имеет вид

$$U(t) = U_m \cdot [1 + m \cdot A(t)] \cdot \cos \omega_0 t, \quad (11.5)$$

где m – коэффициент модуляции.

Для сигналов с АИМ математическая модель имеет вид

$$U(t) = \sum_{k=1}^{\infty} U_m \cdot [1 + m \cdot A(t)] \cdot [l(t - t_k) - l(t - t_k - \tau)], \quad (11.6)$$

где τ – длительность импульсов.

Спектральное представление квазидетерминированных сигналов основано на преобразовании Фурье. Поэтому модель периодического сигнала $u(t)$ имеет вид

$$u(t) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k \cdot \cos(k \cdot \omega \cdot t - \varphi_k), \quad (11.7)$$

где U_0 – постоянная составляющая, U_k ; φ_k – амплитуда и фаза k -ой гармоники, k – номер гармоники.

Для непериодического сигнала спектральное представление основано на применении интеграла Фурье

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot e^{-j\omega t} dt. \quad (11.8)$$

В общем случае сигналы измерительной информации – случайные процессы. Построение моделей таких сигналов основано на применении характеристик случайных процессов: закона распределения случайной величины, математического ожидания, среднего квадратического отклонения, корреляционной функции или спектральной плотности мощности.