

УДК 006.91(035)

ББК 30.10я2

Б79

Болтон У.

Б79 Карманный справочник инженера-метролога./ Пер. с англ. — 3-е изд., стер. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI». — 384 с.: ил. (Серия «Карманный справочник»)

ISBN 978-5-94120-161-7

Предлагаемый вниманию читателей справочник очень популярен в Великобритании. Его авторам удалось собрать и компактно объединить под одной обложкой огромное количество информации. Здесь кратко рассмотрены практически все аспекты теории и практики современной радиосвязи — от распространения электромагнитных волн до спецификаций радиотехнического оборудования. Описаны даже способы шифрования и передачи конфиденциальной информации. Не остались без внимания и вопросы формирования, обработки и передачи сигналов в таких современных видах связи, как мобильная радиосвязь, спутниковая и транкинговая связь, беспроводная телефония.

Кроме последовательного систематического изложения вопросов радиосвязи книга содержит много разнообразной информации справочного характера. Кажется, что здесь есть все — от международного кода «Q» и азбуки Морзе до формул и таблиц для расчетов радиотехнических цепей и сведений о кодировке электронных компонентов.

Поистине, это находка для радиоинженеров и студентов радиотехнических и смежных специальностей. Более того, любой любознательный человек найдет здесь много интересного.

УДК 621.391(035)

ББК 32.84я2

Все права защищены. Никакая часть этого издания не может быть воспроизведена в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, ксерокопирование или иные средства копирования или сохранения информации, без письменного разрешения издательства.

Книга «Карманный справочник инженера-метролога» Уильяма Болтона подготовлена и издана по договору с Elsevier Ltd, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, OX5 1GB, England.

ISBN 978-07506-5227-8 (англ.)

© Reed Educational & Professional
Publishing Ltd

ISBN 978-5-94120-161-7 (рус.)

© Издательский дом «Додэка-XXI»
® Серия «Карманный справочник»

Содержание

| | |
|---|----|
| Предисловие | 11 |
| Часть первая. СИСТЕМЫ | 13 |
| 1. Измерительные системы | 14 |
| Основные части измерительной системы | 14 |
| Передаточная функция системы | 15 |
| Программируемые приборы | 16 |
| Калибровка | 16 |
| 2. Терминология | 19 |
| 3. Погрешности | 25 |
| Источники погрешностей | 25 |
| Разброс результатов | 26 |
| Вероятная погрешность | 27 |
| Допустимая погрешность | 28 |
| Суммирование погрешностей | 28 |
| Точность системы | 29 |
| 4. Динамические характеристики | 31 |
| Статические и динамические характеристики | 31 |
| Приборы нулевого порядка | 31 |
| Приборы первого порядка | 31 |
| Теплопередача | 32 |
| Приборы второго порядка | 33 |
| Пружинные системы с демпфированием | 34 |
| Оператор дифференцирования (D-оператор) | 35 |
| D-оператор и система первого порядка | 37 |
| D-оператор и система второго порядка | 37 |
| Преобразование Лапласа | 38 |
| Преобразование Лапласа для системы первого порядка | 41 |
| Преобразование Лапласа для системы второго порядка | 42 |
| Передаточная функция системы | 43 |
| 5. Погрешность, вносимая измерительной системой | 44 |
| Происхождение вносимой погрешности | 44 |
| Электрические измерения | 44 |
| Погрешность, вносимая вольтметром | 45 |
| Погрешность, вносимая потенциометром | 45 |
| Погрешность, вносимая мостом Уитстона | 47 |

| | |
|--|-----------|
| Погрешность, вносимая элементами измерительной системы | 48 |
| 6. Помехи | 50 |
| Виды помех | 50 |
| Виды интерференции | 50 |
| Уменьшение интерференции | 51 |
| Взаимные помехи | 52 |
| Случайные шумовые помехи | 52 |
| Подавление случайных шумовых помех | 53 |
| Отношение сигнал/шум | 53 |
| Коэффициент усиления шума | 54 |
| Осреднение | 54 |
| 7. Надежность | 55 |
| Надежность и ненадежность | 55 |
| Отказ | 55 |
| Работоспособность | 57 |
| Интенсивность отказов и долговечность | 57 |
| Экспоненциальный закон надежности | 58 |
| Надежность системы | 59 |
| Резервирование | 60 |
| Часть вторая. КОМПОНЕНТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ | 61 |
| 8. Датчики | 62 |
| Датчики сопротивления | 63 |
| Емкостные датчики | 69 |
| Индуктивные датчики | 71 |
| Термоэлектрические датчики | 79 |
| Пьезоэлектрические датчики | 83 |
| Фотоэлектрические датчики | 85 |
| Электрохимические датчики | 87 |
| Датчики упругости | 88 |
| Пневматические датчики | 91 |
| Дифференциальные датчики давления | 92 |
| Механические датчики | 93 |
| Вибрационные датчики | 97 |
| 9. Преобразователи сигналов | 98 |
| Мосты Уитстона постоянного тока | 99 |
| Мосты переменного тока | 103 |
| Потенциометрические мосты | 109 |

| | |
|---|------------|
| Усилители | 111 |
| Линеаризация сигналов | 118 |
| Масштабирование тока и напряжения | 119 |
| Ослабление | 123 |
| Фильтрация | 125 |
| Модуляция | 128 |
| Аналого-цифровое преобразование | 129 |
| 10. Устройства отображения | 136 |
| Измерители | 137 |
| Регистраторы с прямой записью | 139 |
| Гальванометрические регистраторы | 140 |
| Регистраторы со следящей системой | 147 |
| Электронно-лучевые трубки | 149 |
| Алфавитно-цифровые дисплеи | 157 |
| Печатающие устройства | 159 |
| Записывающие устройства на магнитной ленте | 160 |
| Часть третья. ИЗМЕРЕНИЯ | 165 |
| 11. Химический состав | 166 |
| Хроматография | 166 |
| Электрохимический анализ | 172 |
| Спектроскопия | 176 |
| Масс-спектрометрия | 182 |
| Методы термического анализа | 183 |
| 12. Плотность | 185 |
| Весовые методы | 185 |
| Методы плавучести | 186 |
| Методы по измерению давления | 187 |
| Вибрационные методы | 189 |
| Радиационные методы | 191 |
| 13. Перемещения | 192 |
| Механические измерения линейных перемещений | 192 |
| Пневматические измерители линейных перемещений | 196 |
| Электрические измерения линейных перемещений | 197 |
| Оптические измерения линейных перемещений | 199 |

| | |
|--|------------|
| Электрические измерения угловых перемещений | 202 |
| Датчики положения оси | 203 |
| Оптические измерения угловых перемещений | 204 |
| 14. Электрические величины | 206 |
| Магнитоэлектрические измерители | 209 |
| Электронные измерители | 214 |
| Ферродинамический измеритель | 217 |
| Термопарные измерители | 219 |
| Электродинамический измеритель | 220 |
| Электронный ваттметр | 224 |
| Электросчетчики ватт-часов | 225 |
| Электростатические измерители | 226 |
| Цифровые вольтметры | 227 |
| Мосты постоянного тока | 230 |
| Мосты переменного тока | 232 |
| Потенциометрические мосты | 233 |
| Трансформаторные мосты | 234 |
| Q-метр | 236 |
| Измерение частоты | 240 |
| 15. Поток | 242 |
| Расходомеры по перепаду давления | 245 |
| Механические расходомеры | 251 |
| Расходомеры вытеснительного типа | 253 |
| Магнитогидродинамические расходомеры | 259 |
| Ультразвуковые расходомеры | 260 |
| Колебательные расходомеры | 263 |
| Прямые измерения массовых расходов | 266 |
| Косвенные методы определения массового расхода | 268 |
| Измерение мгновенной скорости потока по перепаду давления | 268 |
| Термические методы измерения мгновенной скорости потока | 270 |
| Тарировка расходомеров любых типов | 271 |
| 16. Сила | 272 |
| Рычажные методы взвешивания | 272 |
| Компенсационные методы | 274 |

| | |
|--|-----|
| Методы измерения сил, использующие элементы упругости | 274 |
| Методы измерения сил по давлению | 277 |
| 17. Уровень | 278 |
| Визуальные методы | 279 |
| Поплавковые методы | 280 |
| Датчики по перемещению | 283 |
| Методы по давлению | 284 |
| Весовые методы | 286 |
| Электрические методы | 287 |
| Ультразвуковые методы | 289 |
| Радиационные методы | 290 |
| Термические методы | 291 |
| 18. Давление | 292 |
| Измерители давления по высоте столба жидкости | 293 |
| Диафрагмы | 299 |
| Капсулы и сильфоны | 302 |
| Трубки Бурдона | 303 |
| Струнно-вибрационные датчики давления | 305 |
| Пьезоэлектрические датчики давления | 306 |
| Тарировка датчиков давления | 306 |
| 19. Излучение | 307 |
| Газовые детекторы | 307 |
| Сцинтилляционные счетчики | 310 |
| Фоторегистрация излучения | 311 |
| Термолюминесцентные датчики | 312 |
| 20. Напряжение и деформация | 313 |
| Экстензометры (измерители расширения) | 313 |
| Тензометры | 315 |
| Измерение деформаций на полной поверхности | 318 |
| Измерение напряженных состояний методом фотоупругости | 318 |
| 21. Температура | 320 |
| Термометры, использующие эффект расширения материалов | 321 |
| Резистивные термометры | 325 |
| Термометры, использующие термоэлектрический эффект | 326 |
| Пирометры | 327 |

| | |
|--|-----|
| 22. Вакуум | 332 |
| Измерители, основанные на законе Бойля—Мариотта | 332 |
| Измерители давления по теплопроводности | 334 |
| Ионизационные измерители | 335 |
| | |
| Часть четвертая. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ | 339 |
| 23. Микропроцессоры в приборах | 340 |
| Программируемые приборы | 340 |
| Основные элементы микропроцессорных систем | 342 |
| Микропроцессор | 344 |
| Микроконтроллеры | 346 |
| Основные элементы приборов на основе микропроцессоров | 346 |
| Системы сбора данных | 348 |
| Плата УСД | 349 |
| Программирование микропроцессора | 350 |
| Устройство регистрации данных | 351 |
| 24. Интерфейсы | 352 |
| Стандартный интерфейс | 352 |
| Интерфейсы для приборов общего назначения | 352 |
| Параллельный интерфейс Centronics | 357 |
| Последовательная передача данных | 359 |
| Интерфейс I ² C | 361 |
| Интерфейсы периферийных устройств | 363 |
| Электрическая развязка | 363 |
| Согласование по питанию | 365 |
| Буферные устройства для согласования сигналов | 366 |
| Подключение дисплеев на светоизлучающих диодах | 367 |
| Программируемые интерфейсы | 369 |
| Универсальные асинхронные приемники/передатчики (приемопередатчики) | 370 |
| Входные и выходные интерфейсы микроконтроллеров | 370 |
| Предметный указатель | 371 |

Предисловие

Задачи

- Научить читателя понимать «жаргон производителя», используемый в каталогах и технической документации, на приборы и системы измерений.
- Научить читателя разбираться в различных типах приборов и измерительных систем, используемых для измерения физических величин, наиболее часто встречающихся в исследованиях и на производстве.
- Создать удобное справочное пособие по широкому спектру приборов и измерительных систем.
- Дать читателю возможность грамотно подойти к выбору приборов и измерительных систем.

Круг читателей

Книга рассчитана на студентов и аспирантов соответствующих специальностей (электрические и электронные приборы, производственные процессы и т.д.), инженеров и специалистов, использующих в своей работе измерительные приборы.

Структура книги

Часть первая — Системы. В этой части описаны основные виды измерительных систем и их характеристики, включая терминологию, погрешности, динамические характеристики, влияние нагрузки, помехи и надежность.

Часть вторая — Компоненты систем. Эта часть посвящена описанию компонентов измерительных систем, а именно: датчиков, преобразователей сигналов и систем индикации.

Часть третья — Измерения. В этой части приведены детали приборов и измерительных систем для конкретных видов измерений, таких как определение химического состава, измерение плотности, перемещения, электрических величин, потока, силы, уровня, давления, радиации, напряжения и деформации, температуры и вакуума.

Часть четвертая — Микропроцессорные системы. Это взгляд на микропроцессорные приборы, касающийся основных элементов таких систем и интерфейсов с периферийными устройствами.

Основное внимание уделяется характеристикам приборов и измерительных систем. Ссылки позволяют найти дополнительную информацию.

В. Болтон

Предисловие

Задачи

- Научить читателя понимать «жаргон производителя», используемый в каталогах и технической документации, на приборы и системы измерений.
- Научить читателя разбираться в различных типах приборов и измерительных систем, используемых для измерения физических величин, наиболее часто встречающихся в исследованиях и на производстве.
- Создать удобное справочное пособие по широкому спектру приборов и измерительных систем.
- Дать читателю возможность грамотно подойти к выбору приборов и измерительных систем.

Круг читателей

Книга рассчитана на студентов и аспирантов соответствующих специальностей (электрические и электронные приборы, производственные процессы и т.д.), инженеров и специалистов, использующих в своей работе измерительные приборы.

Структура книги

Часть первая — Системы. В этой части описаны основные виды измерительных систем и их характеристики, включая терминологию, погрешности, динамические характеристики, влияние нагрузок, помехи и надежность.

Часть вторая — Компоненты систем. Эта часть посвящена описанию компонентов измерительных систем, а именно: датчиков, преобразователей сигналов и систем индикации.

Часть третья — Измерения. В этой части приведены детали приборов и измерительных систем для конкретных видов измерений, таких как определение химического состава, измерение плотности, перемещения, электрических величин, потока, силы, уровня, давления, радиации, напряжения и деформации, температуры и вакуума.

Часть четвертая — Микропроцессорные системы. Это взгляд на микропроцессорные приборы, касающийся основных элементов таких систем и интерфейсов с периферийными устройствами.

Основное внимание уделяется характеристикам приборов и измерительных систем. Ссылки позволяют найти дополнительную информацию.

В. Болтон

1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Основные части измерительной системы

В целом можно считать, что измерительные системы могут состоять из трех основных элементов:

1. **Чувствительного элемента**, часто называемого датчиком, — элемента, который выдает сигнал, количественно связанный с измеряемой величиной. Такие элементы получают информацию об измеряемом объекте и преобразуют ее в вид, доступный остальным частям измерительной системы с целью получения количественного значения измеряемой величины.
2. **Преобразователя сигнала**, который получает сигнал от чувствительного элемента и преобразует его в соответствии с требованиями блока отображения информации измерительной системы или системы управления. Преобразователь сигналов может состоять, в свою очередь, из трех элементов: **формирователя сигналов**, который преобразует сигнал от чувствительного элемента в физический вид, удобный для отображения; **сигнального процессора**, который улучшает качество сигнала, например, усиливает его, и **передатчика** сигнала для передачи этого сигнала на некоторое расстояние до устройства отображения.
3. **Устройства отображения** — элемента, на котором отображается выходная информация измерительной системы. Этот элемент получает информацию от преобразователя сигналов и представляет ее в виде, который человек может идентифицировать, например, в виде стрелочного указателя, перемещающегося по шкале.

Таким образом, в общем виде измерительная система состоит из датчика, подсоединенного к преобразователю сигнала, который, в свою очередь, соединен с устройством отображения. Это может быть представлено на блок-схеме в виде, показанном на **Рис. 1.1**.

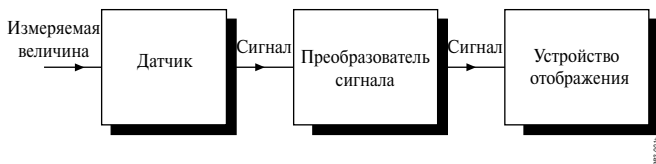


Рис. 1.1. Общий вид измерительной системы

Передаточная функция системы

При стационарных условиях передаточная функция системы — это отношение выходного сигнала θ_0 к входному сигналу θ_i :

$$\text{Передаточная функция } G = \frac{\theta_0}{\theta_i}.$$

Измерительная система может состоять из датчика, преобразователя сигнала и устройства отображения (Рис. 1.2). Каждый из этих элементов имеет свою собственную передаточную функцию.

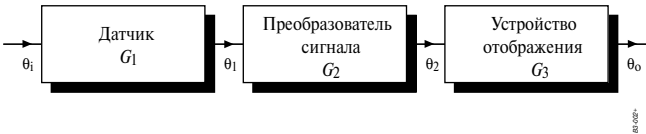


Рис. 1.2. Передаточная функция измерительной системы

Так, для датчика — это передаточная функция G_1 с входным сигналом θ_i и выходным сигналом θ_1 , являющимся входным для преобразователя сигнала:

$$G_1 = \frac{\theta_1}{\theta_i},$$

для формирователя сигнала — передаточная функция G_2 с входным сигналом θ_1 и выходным θ_2 :

$$G_2 = \frac{\theta_2}{\theta_1},$$

а для устройства отображения — передаточная функция G_3 с входным сигналом θ_2 и выходным θ_0 :

$$G_3 = \frac{\theta_0}{\theta_2}.$$

Тогда передаточная функция для всей измерительной системы может быть записана в виде:

$$G = \frac{\theta_0}{\theta_i} = \frac{\theta_1}{\theta_i} \times \frac{\theta_2}{\theta_1} \times \frac{\theta_0}{\theta_2}$$

$$G = G_1 \times G_2 \times G_3.$$

Таким образом, передаточная функция системы равна произведению передаточной функции датчика на передаточную функцию формирователя сигнала и на передаточную функцию устройства отображения. Если система содержит большее количество элементов, где выходной сигнал от одного элемента является входом только одного последующего элемента, то передаточная функция такой системы образуется как произведение передаточных функций каждого элемента.

Программируемые приборы

Термин «программируемый» применительно к измерительным системам означает, что в систему включен микропроцессор или компьютер. Термин «простой» (непрограммируемый) используется, когда в системе нет никаких микропроцессоров. В простых приборах система проводит только измерение величины, а человек должен потом обрабатывать и интерпретировать отображенные данные. На программируемых приборах проводятся не только измерения, но и обработка и интерпретация полученных данных, в результате чего могут приниматься решения по дальнейшему управлению различными процессами.

Дополнительная литература: Barney G.C. (1988), *Intelli-gent Instrumentation*, Prentice Hall.

Калибровка

Калибровка — это процесс нанесения меток на шкалу устройства отображения или проверка измерительной системы на соответствие с ранее откалиброванной (стандартной) системой, когда датчик находится при определенных условиях.

Основными стандартами, от которых происходят все остальные стандарты, являются *первичные эталоны*. Первичные эталоны определены международным соглашением и хранятся в национальных государственных учреждениях, таких как Национальная Физическая лаборатория в Великобритании и Национальное Бюро Стандартов в Соединенных Штатах Америки. Существуют семь первичных эталонов и два дополнительных.

Семь первичных эталонов:

1. **Масса.** Килограмм определяется как масса цилиндра, имеющего одинаковую высоту и диаметр, сделанного из сплава платины (90%) и иридия (10%) и хранящегося в Международном Бюро Мер и Весов в Севре (Франция).
2. **Длина.** Метр определяется как длина пути, пройденного светом в вакууме, за время, равное $1/299792458$ доли секунды.
3. **Время.** Секунда определяется как длительность 9192631 периода излучения, испускаемого атомом Цезия 133 при точно определенных условиях резонанса.
4. **Ток.** Ампер определяется как сила установившегося электрического тока, который проходя по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 метра один от другого в вакууме, вызвал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.
5. **Температура.** Кельвин (К) определяется температурой тройной точки воды (когда все три фазы воды — жидкая, па-

рообразная и твердая — находятся в равновесии), которая равна 273.16 К.

6. **Сила света.** Кандела (свеча) определяется как сила света, излучаемого в данном направлении от определенного источника, испускающего монохроматическое излучение частотой 540·10¹² Гц и мощностью излучения 1/683 Вт на одинстерадиан (единица измерения телесного угла).
7. **Количество вещества.** Мера количества вещества – моль. В моле содержится такое количество элементарных частиц, какое находится в 0.012 кг изотопа углерода-12.

Термин «элементарные компоненты» может относиться к атомам, молекулам, ионам, электронам или к другим частицам.

Два дополнительных эталона:

1. **Плоский угол.** Радиан — это плоский угол между двумя радиусами окружности, дуга между которыми равна по длине радиусу
2. **Телесный угол.** Стерadian — это телесный угол конуса с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной по длине радиусу сферы.

Эти первичные эталоны используются для определения национальных эталонов не только в эталонных единицах измерения, но и в единицах, производных от них. Например, эталон сопротивления витка проволоки из манганина основывается на эталонных единицах измерения длины, массы, времени и тока. Обычно эти национальные эталоны, в свою очередь, используются для определения образцовых мер, которые хранятся в метрологических центрах и используются для выполнения калибровочных работ на производстве. Такие калибровочные эталоны также могут находиться непосредственно на производстве для периодической калибровки приборов.

В **Табл. 1.1** представлен список некоторых наиболее часто используемых единиц измерения и их соотношения с основными единицами измерения.

Табл. 1.1. Производные единицы

| Параметр | Название единицы | Размерность в первичных единицах |
|-------------------|------------------------------|---|
| Ускорение | Метр на секунду в квадрате | м·с ⁻² |
| Угловое ускорение | Радиан на секунду в квадрате | Рад·с ⁻² |
| Угловая скорость | Радиан на секунду | Рад·с ⁻¹ |
| Площадь | Квадратный метр | м ² |
| Емкость | Фарада | с ⁴ ·А ² ·кг ⁻¹ ·м ⁻² |
| Плотность | Килограмм на кубический метр | кг·м ⁻³ |

Табл. 1.1 (окончание)

| Параметр | Название единицы | Размерность в первичных единицах |
|-----------------------------------|-------------------------------|--|
| Электрический заряд | Кулон | А·с |
| Напряженность электрического поля | Вольт на метр | $\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{с}^{-3}$ |
| Электрический потенциал | Вольт | $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$ |
| Энергия | Джоуль | $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$ |
| Сила | Ньютон | $\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ |
| Частота | Герц | с^{-1} |
| Индуктивность | Генри | $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$ |
| Сила магнитного поля | Ампер на метр | $\text{А} \cdot \text{м}^{-1}$ |
| Магнитный поток | Вебер | $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ |
| Магнитная индукция | Тесла | $\text{кг} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ |
| Мощность | Ватт | $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$ |
| Давление | Паскаль | $\text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ |
| Сопротивление | Ом | $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{А}^{-2} \cdot \text{с}^{-3}$ |
| Удельная теплоемкость | Джоуль на килограмм и Кельвин | $\text{м}^2 \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ |
| Скорость | Метр на секунду | $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ |
| Теплопроводность | Ватт на метр Кельвин | $\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{с}^{-3}$ |
| Объем | Кубический метр | м^3 |

2. ТЕРМИНОЛОГИЯ

Далее приводятся термины, используемые в основном при описании характеристик измерительных систем или элементов таких систем.

Бел. См. *Децибелы*.

Бит (разряд). Это аббревиатура для двоичной цифры, 0 или 1.

Взаимные помехи. Это интерференция, которая появляется между соседними каналами, подключенными или к коммутатору, или к какому-либо устройству с параллельными входами.

Воспроизводимость. Воспроизводимость показаний прибора — это способность прибора отображать одни и те же показания при повторных измерениях одного и того же значения измеряемой величины.

Время реакции (время отклика). При изменении измеряемой величины измерительной системе требуется определенное время, называемое временем реакции, чтобы полностью отреагировать на это изменение.

Гистерезис. Приборы могут выдавать разные показания, а, следовательно, и погрешности, для одной и той же измеряемой величины в зависимости от того, росла эта величина или непрерывно уменьшалась в течение предыдущего промежутка времени (**Рис. 2.1**). Этот эффект, называемый гистерезисом, происходит в результате таких явлений, как трение скольжения или люфт в механических частях приборов. Погрешность гистерезиса — это разность между значениями одной и той же измеряемой величины, полученными в процессе ее возрастания и убывания до этого значения. Гистерезис часто выражается как процентное отношение максимального гистерезиса к отклонению на всю шкалу прибора

$$\text{Гистерезис} = \frac{\text{максимальная погрешность гистерезиса}}{M_{\max} - M_0} \times 100\% .$$

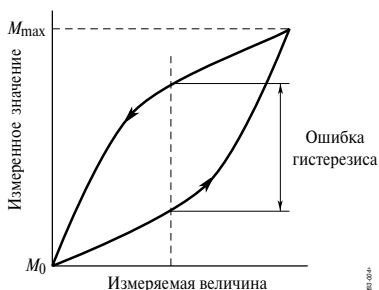


Рис. 2.1. Гистерезис

Двоичное слово (Слово). Слово — это набор битов (разрядов). В стандартных или обычных двоичных числах имеет значение положение битов в слове: младший значащий разряд (МЗР) располагается на правом конце слова, а старший значащий разряд (СЗР) — на левом конце слова. Десятичное значение битов в слове определяется следующим образом:

$$\begin{array}{ccccccc} 2^{n-1} & \dots\dots\dots & 2^3 & 2^2 & 2^1 & 2^0 & \\ \text{СЗР} & & & & & & \text{МЗР} \end{array}$$

Децибелы. Это отношение двух значений либо электрической, либо акустической мощности, обычно выражаемое в логарифмических единицах. Десятичный логарифм этого отношения имеет размерность бел. Децибел — это одна десятая часть бела

$$\begin{aligned} N_{\text{бел}} &= \lg(P_1/P_2) \\ N_{\text{дБ}} &= 10 \lg(P_1/P_2). \end{aligned}$$

Если два напряжения V_1 и V_2 приложены к двум электрическим цепям с одинаковым импедансом, т.е. $P_1 = V_1^2/Z$; $P_2 = V_2^2/Z$, то $P_1/P_2 = V_1^2/V_2^2$ и, следовательно,

$$N_{\text{дБ}} = 20 \lg(V_1/V_2).$$

Аналогично для токов:

$$N_{\text{дБ}} = 20 \lg(I_1/I_2).$$

Диапазон измерений. Диапазон измерений прибора — это интервал, внутри которого могут быть произведены измерения.

Дрейф. Говорят, что у прибора есть дрейф, если его выходной сигнал со временем постепенно изменяется, и это не зависит от изменения входного сигнала. Смотрите также определение дрейфа нуля.

Дрейф нуля. Эта величина показывает, насколько изменяются показания прибора при отсутствии сигнала на входе с течением времени.

Дрейф чувствительности. Дрейф чувствительности — это величина, показывающая насколько изменяется чувствительность прибора в результате изменения окружающих условий.

Задержка. Говорят, что измерительная система имеет задержку, если изменение ее показаний происходит не одновременно с изменением измеряемой величины, а только через некоторое время.

Истинное значение. Это значение величины с погрешностью, равной нулю.

Коэффициент усиления. Коэффициент усиления системы или элемента — это отношение выходного сигнала ко входному.

$$\text{Коэффициент усиления} = \text{выход/вход}.$$

Мертвая зона. Мертвая зона прибора — это диапазон значений измеряемой величины, в котором выходной сигнал прибора никак не изменяется.

Надежность. Надежность прибора — это вероятность нормального функционирования прибора в условиях, определенных для его применения.

Отношение сигнал/шум. Отношение сигнал/шум — это отношение значения сигнала V_s к уровню внутреннего шума системы V_n . Это отношение обычно выражается в децибелах, т.е.

$$\text{Отношение сигнал/шум в дБ} = 20 \lg (V_s/V_n).$$

Передаточная функция. Передаточная функция — это отношение выходного сигнала системы или элемента этой системы к ее (его) входному сигналу:

$$\text{Передаточная функция} = \frac{\text{выходной сигнал}}{\text{входной сигнал}}.$$

Погрешность. Погрешность измерения — это разность между результатом измерений и истинным значением измеряемой величины.

$$\text{Погрешность} = \text{измеренное значение} - \text{истинное значение}.$$

Погрешность линейности (нелинейность). Элемент или система обладают линейной функцией преобразования, если их выходной сигнал прямо пропорционален входному. Однако в реальных случаях эта функция, хотя и принимается линейной, идеально линейной не является, поэтому и появляется погрешность. Нелинейность — это разность между истинным и принятыми значениями измеряемой величины в предположении, что система измерения линейна. Таким образом, на **Рис. 2.2** показана величина нелинейности N для случая, когда измеренное значение равно M .

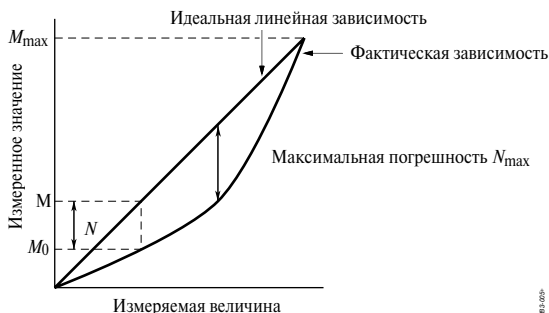


Рис. 2.2. Нелинейность

Нелинейность часто выражается как процентное отношение максимальной ошибки линейности к отклонению на всю шкалу прибора. Таким образом, нелинейность можно определить выражением (Рис. 2.2):

$$\text{Нелинейность} = \frac{N_{\max}}{M_{\max} - M_0} \times 100\% .$$

Погрешность квантования. Эта погрешность возникает в цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователях из-за шага квантования, который определяет величину вклада наименьшего значащего разряда.

Полоса пропускания. Полоса пропускания может быть определена как диапазон частот, для которого передаточная функция составляет не меньше 70.7% от максимальной величины G (Рис. 2.3). 70.7% от G — это $G/\sqrt{2}$. Альтернативное определение: полоса пропускания — это диапазон частот, для которого передаточная функция находится внутри зоны 3 дБ (децибел) от максимального значения. Изменение на три децибела означает то, что передаточная функция изменяется в $1/\sqrt{2}$ раз.

$$\begin{aligned} \text{Изменение в дБ} &= 20 \lg (\text{величина} / \text{максимальную величину}) = \\ &= 20 \lg (1/\sqrt{2}) = 3 \end{aligned}$$

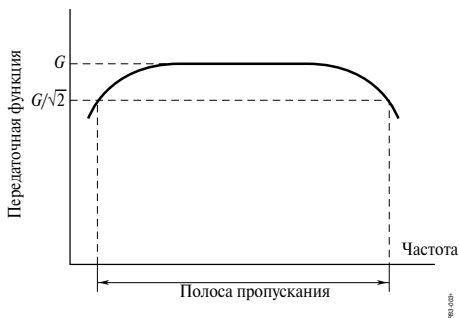


Рис. 2.3. Полоса пропускания

Порог чувствительности. Порог чувствительности — это минимальный уровень входного сигнала, который должен быть достигнут для появления различимых изменений в показаниях прибора (Рис. 2.4). Это верхняя граница мертвой зоны при изменении входного сигнала от нулевого значения.

Постоянная времени. При резком изменении сигнала на входе, т.е. при ступенчатом изменении входного сигнала, системе требуется определенное время, чтобы достичь конечного



Рис. 2.4. Порог чувствительности

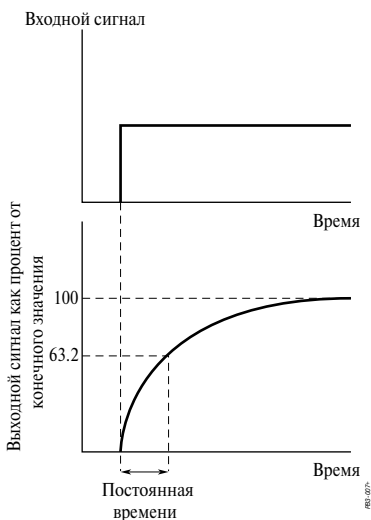


Рис. 2.5. Постоянная времени

значения сигнала на выходе (**Рис. 2.5**). Постоянная времени — это время, которое требуется для того, чтобы выходной сигнал достиг уровня, равного 63.2% от конечного значения выходного сигнала. (См. главу 4.)

Разрешающая способность (дискриминация). Разрешающая способность прибора — это минимальное изменение измеряемой величины, которое приведет к различимому изменению в показаниях на выходе прибора.

Скорость нарастания выходного сигнала. Скорость нарастания выходного сигнала — это максимально возможная скорость изменения выходного сигнала.

Смещение. Смещение прибора — это постоянная ошибка, которая существует во всем диапазоне его измерений.

Стабильность (повторяемость измерений). Стабильность прибора — это способность прибора отображать одни и те же показания при измерении одной и той же величины в течение определенного промежутка времени или при измерении этой величины определенное количество раз.

Сходимость. Сходимость — это степень разброса результатов измерений из-за случайных ошибок. Она показывает, насколько близко друг к другу находятся результаты измерений одной и той же величины, проведенные несколько раз при одних и тех же условиях.

Точность. Точность прибора — это интервал, показывающий, насколько могут быть неверными его показания. Термин «статическая точность» употребляется, когда измеряемая величина либо не меняется, либо меняется очень медленно, а динамическая — при быстром ее изменении. Точность может быть оценена как плюс или минус некоторой величины переменной. Например, амперметр может быть оценен по точности величиной ± 0.1 А при некоторой конкретной величине тока или для всех его показаний. Альтернативно можно оценить точность как процент от отклонения на всю шкалу прибора, т.е. амперметр может иметь оценку точности как $\pm 2\%$ от полной шкалы. Это означает, что точность показаний амперметра при использовании шкалы $0 \dots 10$ А равна $\pm 2\%$ от 10 А, т.е. ± 0.2 А.

Частота опроса. На некоторых приборах, например цифровых вольтметрах, показания снимаются через определенные промежутки времени. Чем больше частота опроса, т.е. чем больше количество измерений в секунду, тем лучше показания прибора отражают быстроизменяющийся входной сигнал.

Чувствительность. Чувствительность прибора — это:

$$\text{Чувствительность} = \frac{\text{изменение показаний по шкале прибора}}{\text{изменение измеряемой величины}} .$$

Шум квантования. Это шум, который как бы добавляется к аналоговому сигналу из-за погрешности квантования.