

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время нет такой области деятельности человека, где в той или иной форме не встретилась бы автоматика. Существуют процессы, где автоматизация облегчает выполнение определенных операций, другие просто невозможны без автоматизации. Насколько разнообразна деятельность человека, настолько и разнообразны внешние проявления действия систем автоматического управления. Достаточно наблюдать действие систем автоматики на транспорте, при управлении различного рода станков на производствах, систем управление микроклиматом и т. д. Однако, несмотря на разнообразие систем автоматического управления, все технические и программные средства, с помощью которых реализуются автоматические системы, достаточно четко разделяются по функциональному признаку на датчики, регуляторы и исполнительные устройства. Несколько упрощая, можно сказать, что любая сколь угодно сложная автоматическая система состоит именно из этих функциональных элементов. Упрощение состоит в том, что реальная система содержит источники питания, терминалы, панели операторов, функциональные блоки (микроконтроллеры), которые выполняют кроме функции регулирования еще много других — хранение информации о процессе, генерацию отчетов, формирование тревог, обмен данными с другими устройствами. Все эти средства не изменяют назначение систем автоматики, а лишь дополняют и расширяют ее возможности.

Очевидно, что специалист, эксплуатирующий автоматизированное оборудование, не говоря уже о специалистах в области автоматики, должен иметь представление о том, из каких элементов состоит та или иная автоматическая система и как она функционирует. Очевидно также, что обучение предполагает освоение большого объема знаний. И поскольку самая длинная дорога начинается с первого шага, таким первым шагом должно стать изучение технических средств автоматических систем.

ВВЕДЕНИЕ

Все этапы реализации проектов автоматизации — проектирование, производство, монтаж, наладка и эксплуатация систем автоматического управления — требуют обширных знаний в различных областях науки и техники. Выбор правильного подхода, определение приоритетов и последовательность изучения предмета во многом определяют успех учебного процесса. Функционирование систем автоматического регулирования (САР) связано с измерениями различных физических величин, которые выполняются датчиками. В связи с этим необходимо знать их метрологические характеристики. Номенклатура выпускаемых в настоящее время датчиков весьма обширна, что объясняется широким спектром измеряемых физических величин и разнообразными условиями измерений. Для приобретения навыков выбора датчиков для измерения определенного параметра в нужном диапазоне и в определенных условиях необходимо знать принцип работы сенсора, используемого в датчике. Так как датчики выпускаются с различными выходными сигналами, необходимо иметь представление о типах выходных сигналов датчиков и диапазонах их изменения. Неотъемлемой частью САР являются исполнительные устройства. Знание принципов их работы необходимо для приобретения навыков их выбора и понимания их работы совместно с регулирующими устройствами, изучение которых, в свою очередь, необходимо для понимания принципов функционирования САР и методов их настройки. Все вышеупомянутые соображения определили цель и логику построения настоящего учебного пособия, а именно — максимально просто излагая материал, дать представления о принципах работы и назначении технических средств автоматизации. Полученные знания позволят обучающимся продолжить обучение и облегчат освоение более сложных вопросов, касающихся автоматики. Разделы 1–3 дают первичные знания о наиболее актуальных метрологических характеристиках аппаратных средств и о физических принципах действия чувствительных элементов (сенсорах) датчиков. Раздел 4 посвящен общим вопросам применения датчиков. В разделе 5 рассматриваются принципы работы исполнительных механизмов. Разделы 6 и 7 посвящены рассмотрению принципов работы регуляторов и моделированию простейших систем автоматического регулирования с различными регуляторами в программной среде MATLAB Simulink.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ

Все технические средства, которые используются для реализации систем автоматического управления, делятся на *аппаратные* средства и *программные* средства.

Программные средства — это программное обеспечение (ПО), поставляемое изготовителями вместе с аппаратными средствами и обеспечивающее функционирование этих средств в соответствии с их назначением. Это ПО может быть загружено в память устройства на заводе-изготовителе либо поставляться отдельно. Для датчиков и исполнительных механизмов, как правило, ПО загружается на заводе-изготовителе и не требует дополнительных настроек. Для промышленных логических контроллеров (ПЛК) изготовитель поставляет следующее ПО:

- **программа-загрузчик**, прошита изготовителем в памяти контроллера, позволяет загрузить в память ПЛК алгоритм, созданный пользователем. Актуальна для микроконтроллеров в виде отдельных микросхем, которые не являются функционально законченными устройствами;
- **операционная система**, уже прошита в памяти ПЛК. Операционная система позволяет обрабатывать внешние события, устанавливать приоритеты различных процессов, организовывать работу ПЛК в локальных сетях, взаимодействовать с другими устройствами — модемами, панелями оператора, терминалами и т. п., реализовывать многозадачные режимы работы;
- среда разработки алгоритмов управления, которая включает в себя **загрузчик, языковой редактор, симулятор и компилятор**;
- **языковой редактор** служит для создания и редактирования программы на одном из языков программирования (текстовом, графическом, комбинированном);
- **симулятор** служит для предварительной отладки программы в режиме оф-лайн, т. е. без загрузки в контроллер. Симуляторы запускают созданную в языковом редакторе программу на выполнение и позволяют отслеживать ход ее выполнения. Программа может быть запущена в пошаговом или в автоматическом режиме, вывод состояний промежуточных переменных может осуществляться в текстовом или графическом виде. Симулятор может предусматривать моделирование внешних сигналов или задание их вручную.

Симуляторы также могут содержать инструмент *визуализации*, которая позволяет создать графическую модель (картинку) технологического процесса и связать переменные программы с состоянием параметров графической модели (цвет, прозрачность, вывод текста);

- **компилятор** — (транслятор) служит для преобразования программы, написанной в символах того или иного языка программирования, в исполняемый код (двоичный код) — *алгоритм управления*, который загружается в память контроллера;

- программа-**отладчик**, которая служит для отладки алгоритма управления на объекте с подключенными к контроллеру датчиками и исполнительными механизмами. Основные функции программы-отладчика:

- загрузка исполняемого кода в память контроллера;
- контроль показаний датчиков;
- включение/выключение исполнительных механизмов (ИМ) в ручном режиме;
- запуск программы в автоматическом режиме, контроль состояний датчиков и ИМ;
- ведение архивов параметров технологического процесса;

- **SCADA** системы, которые используются для дистанционного управления и мониторинга объектов автоматизации с использованием сетей Интернета. SCADA позволяет создавать визуализацию объекта управления, наблюдать состояние датчиков, механизмов, осуществлять оперативные переключения, вести архивы параметров, тревог, событий, создавать отчеты.

Аппаратные средства автоматизации (АСА) могут классифицироваться по используемой энергии:

- пневматические;
- гидравлические;
- электрические;
- комбинированные.

Пневматические АСА для работы используют энергию сжатого воздуха. Достоинством таких средств является их относительная простота, дешевизна рабочего тела (воздух) и возможность получения достаточно больших мощностей исполнительных механизмов. Недостаток — необходимость дорогостоящего компрессорного оборудования, необходимость использования устройств для осушения воздуха и сложность эксплуатации при минусовых температурах из-за замерзания конденсата в воздухопроводах. Пневматические системы

используются в заводских условиях и на мобильных агрегатах — подъемных кранах, грузовых автомобилях.

Гидравлические АСА в качестве рабочего тела используют масла. Их достоинствами являются возможность при небольших габаритах получать значительные мощности исполнительных механизмов. Эти средства широко используются на транспорте, в авиации, строительной технике, в различных станках в заводских условиях. Недостатками являются относительная дороговизна рабочей жидкости, невозможность создания распределенных систем и повышенная пожароопасность.

Электрические средства по сравнению с пневматическими и гидравлическими позволяют создавать пространственно-распределенные системы управления, в которых объекты управления и средства управления находятся на значительном расстоянии друг от друга. Это является их несомненным преимуществом. Кроме этого, электрические средства автоматизации могут реализовывать большее количество функций управления.

Комбинированные АСА сочетают достоинства перечисленных выше АСА и позволяют создавать как компактные, так и пространственно-распределенные САР.

По функциональному назначению аппаратные средства можно разделить на *регулирующие устройства*, *исполнительные механизмы* и *датчики*. Классификацию АСА по функциональному признаку удобно использовать при составления функциональных схем САР. Функциональная схема системы автоматического регулирования показана на рисунке 1.1.

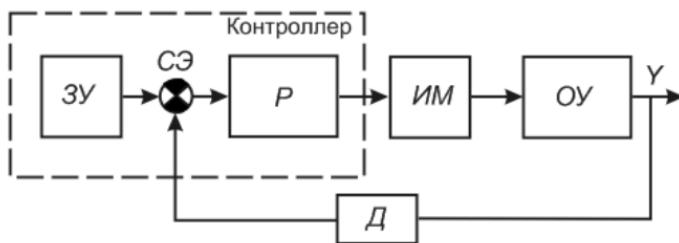


Рис. 1.1

Пример функциональной схемы САР:

ЗУ — задающее устройство; СЭ — сравнивающий элемент; Р — регулятор; ИМ — исполнительный механизм; Д — датчик; ОУ — объект управления.

Задающее устройство ЗУ служит для хранения образцового значения регулируемой величины.

Сравнивающий элемент СЭ воспринимает сигнал задающего устройства ЗУ, сигнал датчика Д (сигнал обратной связи) и формирует сигнал рассогласования, равный алгебраической сумме этих сигналов.

Датчик измеряет значение регулируемой величины, преобразует ее в нужную форму и передает сигнал на вход регулятора. В САР датчик осуществляет функцию обратной связи.

Исполнительный механизм воспринимает управляющий сигнал регулирующего устройства и непосредственно воздействует на объект управления. Воздействие осуществляется путем изменения потока энергии (например, тепла) или вещества (например, воздуха).

ЗУ, СЭ и Р обычно объединены в один прибор. Если он не выполняет иных функций кроме регулирования, его в практике называют регулятором. В настоящее время выпускаются цифровые устройства, которые кроме функций регулирования могут реализовывать различные логические алгоритмы управления, сбора, хранения и обработки информации, выводить ее на графические терминалы, работать в сетях. Такие устройства принято называть промышленными логическими контроллерами (ПЛК). Функции ЗУ, СЭ и Р в ПЛК выполняются на программном уровне. Конкретное функциональное назначение ПЛК определяется программой пользователя, которая разрабатывается и загружается в контроллер пользователем.

Контрольные вопросы

1. На какие составляющие делятся технические средства автоматизации?
2. Каков состав и назначение программного обеспечения, поставляемого заводами-изготовителями с аппаратными средствами автоматизации?
3. Классификация аппаратных средств автоматизации по используемой энергии.
4. Классификация аппаратных средств автоматизации по назначению.
5. Какие функции в системах автоматического регулирования выполняют датчики?
6. Какие функции в системах автоматического регулирования выполняют исполнительные устройства?
7. Какие функции в системах автоматического регулирования выполняют регулирующие устройства?
8. Какие функции в системах автоматического регулирования выполняют промышленные контроллеры?

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ

При проектировании и эксплуатации САР необходимо знать характеристики аппаратных средств, которые можно разделить на *технические* и *метрологические*. В качестве технических характеристик можно назвать напряжение питания, условия эксплуатации, способ крепления, степень защиты, габаритные размеры и т. п.

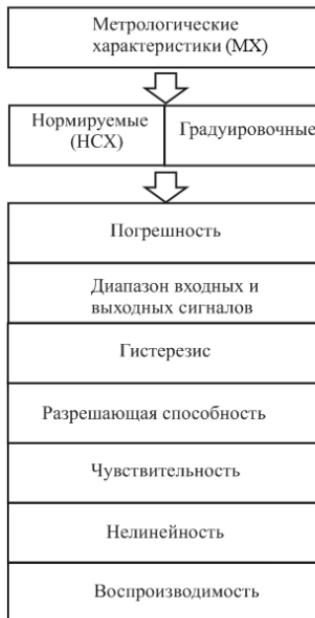


Рис. 2.1
Метрологические характеристики датчиков

Номенклатура метрологических характеристик регламентируется ГОСТ 8.009-84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерения». Метрологические характеристики в основном актуальны для датчиков. Датчики служат для измерения физических параметров и преобразования их в электрический сигнал (как правило) и относятся к средствам измерения, а именно к *измерительным преобразователям*. Измерительные преобразователи, в свою очередь, могут иметь непрерывный выходной сигнал или дискретный выходной сигнал, который изменяет свое состояние при достижении входным сигналом определенного уровня. Такие датчики с

точки зрения метрологии называются сигнализаторами уровня. Все вопросы, связанные с соблюдением требований к измерениям, единицам и эталонам величин, методикам проведения измерений, правовому регулированию и другие, возникающие при проведении измерений, регулируются Федеральным законом от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

На рисунке 2.1 приведены наиболее актуальные для датчиков метрологические характеристики.

Полный перечень МХ приводится в ГОСТ 8.009-84 «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений». Некоторые важные МХ для датчиков как измерительных преобразователей приведены ниже:

- градуировочная характеристика — зависимость информативного параметра выходного сигнала измерительного преобразователя от информативного параметра входного сигнала в установившемся режиме, полученная экспериментально для конкретного преобразователя;
- номинальная статическая характеристика (НСХ) — приписываемая зависимость информативного параметра выходного сигнала измерительного преобразователя от информативного параметра входного сигнала в установившемся режиме, полученная на основе статической обработки градуировочных характеристик нескольких преобразователей;
- погрешность измерений — разность результатов измерений с помощью эталонного и тестируемого приборов. Погрешность может указываться заводом-изготовителем в виде именованной константы, например 1°C, формулы, например 0,5+0,01 t°C, либо класса точности. Класс точности устанавливает (нормирует) максимально возможное значение погрешности для однотипных приборов. Обозначается цифрой (1, 2, 3) или буквой (A, B, C). Классы точности устанавливаются ГОСТами на конкретные преобразователи;
- диапазон измерений входного/выходного сигналов — все значения входных/выходных сигналов от минимальных до максимальных, которые не нарушают корректной работы преобразователя. Диапазон задается в именованных единицах или децибелах.

$$A[\text{дБ}] = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} \text{ для мощности и } A[\text{дБ}] = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} \text{ для напряжения.}$$

P_1 , P_2 и U_1 , U_2 — максимальные и минимальные значения мощности и напряжения соответственно;

- гистерезис (от греч. запаздывание) — максимальная разность значений входного сигнала для одного и того же значения выходного сигнала, полученная при его возрастании и убывании;
- разрешающая способность — минимальный входной сигнал, вызывающий заметное отклонение выходного сигнала;
- чувствительность — приращение выходного сигнала на единицу приращения входного сигнала $\Delta Y/\Delta X$. Задается в именованных единицах — например $mV/^{\circ}C$;
- нелинейность — максимальное отклонение действительной характеристики преобразователя от линеаризованной. Задается либо в именованных единицах, либо в % $\frac{\Delta X}{X} \cdot 100$;
- воспроизводимость δ — способность преобразователя в одинаковых условиях выдавать одинаковый результат. Воспроизводимость определяется по максимальной разности выходных значений преобразователя Δ , полученных в двух циклах калибровки. $\delta = \frac{\Delta}{X_{\max}}$, где X_{\max} — максимальное значение входного сигнала.

Контрольные вопросы

1. К какому классу измерительных средств относятся датчики?
2. Каковы различия между датчиками с непрерывным выходным сигналом и датчиком-сигнализатором уровня?
3. Нормируемая статическая характеристика (НСХ) датчика. Определение.
4. Градуировочная характеристика датчика. Определение.
5. Погрешность. Определение, способы нормирования.
6. Диапазоны входных и выходных сигналов. Определение.
7. Гистерезис. Определение.
8. Разрешающая способность, чувствительность. Определение.
9. Нелинейность и воспроизводимость. Определение.

3. ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ СЕНСОРОВ

Чувствительный элемент датчика — сенсор, определяет его метрологические свойства. Назначение датчика, т. е. физическая величина, измеряемая датчиком, зависит от того, какой параметр датчика считается информативным. Например, индуктивные сенсоры могут входить в состав датчиков перемещения, положения, усилия, влажности и т. д. По этой причине сначала рассмотрены принципы действия сенсоров, а затем общие вопросы применения датчиков по назначению.

3.1. Деформационные сенсоры

Деформационными будем называть сенсоры, которые преобразуют физические воздействия в деформацию упругих элементов, которая служит мерой этого воздействия (информационного параметра). По конструкции деформационные сенсоры бывают на основе мембранны, на основе сильфона, на основе трубчатой пружины (трубки Бурдона), дилатометрические, биметаллические.

Сенсор на основе мембрани показан на рисунке 3.1.

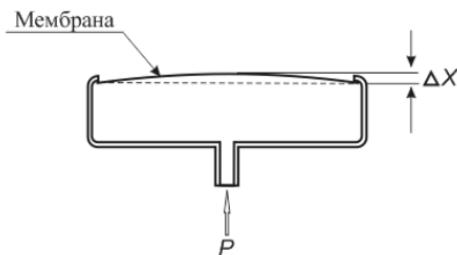


Рис. 3.1

Деформационный сенсор давления на основе мембрани

Мембрана представляет собой упругую фольгу, изготовленную из нержавеющей стали или из бериллиевой бронзы, которая может многократно прогибаться без остаточных деформаций. При увеличении давления мембрана прогибается и величина прогиба ΔX служит мерой давления. В датчиках с аналоговым выходом мембрана обычно сопряжена с каким-либо другим сенсором — резистивным, индуктивным, емкостным, который преобразует величину прогиба в электрический сигнал. В датчиках с дискретным выходом (сигнализаторах уровня) мембрана обычно связана посредством рычагов с переключающими контактами.

Мембранные сенсоры применяются в датчиках давления, температуры и уровня. Достоинствами датчиков с мембранными сенсорами является возможность использования как на малых, так и на больших давлениях, простота конструкции и дешевизна. К недостаткам следует отнести небольшой динамический диапазон входных давлений (для конкретной конструкции).

На рисунке 3.2 показан *сенсор на основе сильфона*.

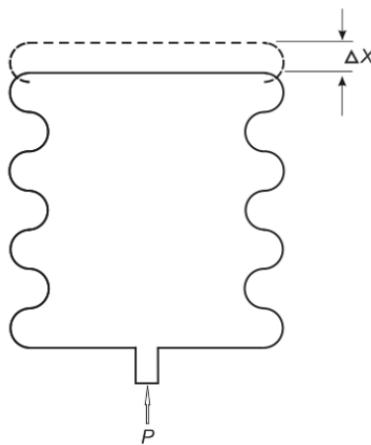


Рис. 3.2

Деформационный сенсор на основе сильфона

Сильфон представляет собой упругую гофрированную оболочку из нержавеющего металла, которая способна сохранять первоначальную форму при многочисленных циклах растяжения и сжатия под воздействием внешнего или внутреннего давления или других физических параметров, вызывающих изменение давления. При изменении давления верхняя часть сильфона смещается на расстояние Δx . Как и в случае мембранны, это перемещение с помощью других сенсоров преобразуется в электрический сигнал либо с помощью механических связей при определенной величине перемещения вызывает переключение контактов.

Сильфоны применяют в датчиках давления и температуры. Они обладают большей по сравнению с мембранны чувствительностью, обеспечивают значительное перемещение подвижной части и используются также в реле давления.

Сенсор на основе трубчатой пружины показан на рисунке 3.3.

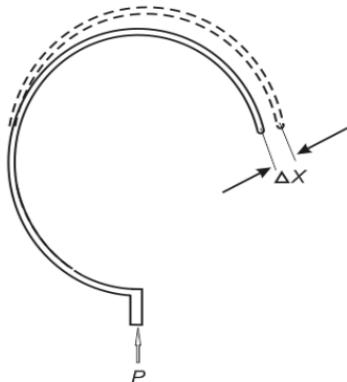


Рис. 3.3
Сенсор на основе трубы Бурдона

Трубчатая пружина или *трубка Бурдона*, представляет собой тонкую полую трубку эллиптического или овального сечения, изогнутую по окружности и запаянную на одном конце. При изменении давления внутри трубы ее свободный конец смещается на величину Δx . Это перемещение преобразуется в электрический сигнал резистивным, индуктивным или емкостным сенсором.

Сенсор на основе трубчатой пружины широко используется для измерения давления в манометрах и в датчиках давления. Недостатком является малая перегрузочная способность и склонность к вибрациям пружины при пульсациях давления.

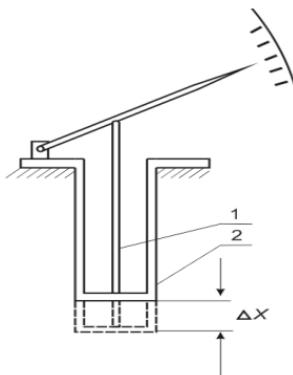


Рис. 3.4
Дилатометрический сенсор:
1 — стержень с малым коэффициентом теплового расширения; 2 — корпус из материала с большим коэффициентом теплового расширения.

Дилатометрические сенсоры. Дилатометрические (объемные) датчики измерения температуры основаны на явлении расширения (сжатия) твердых тел, жидкостей или газов при увеличении (уменьшении) температуры.

На рисунке 3.4 показан сенсор, состоящий из стержня с малым коэффициентом теплового расширения (например, кварц) и трубчатого корпуса из металла с большим коэффициентом теплового расширения (например, латунь). При нагревании такой конструкции корпус удлиняется на величину ΔX и через систему рычагов передвигает стрелку либо переключает электрические контакты.

На рисунке 3.5 изображен датчик, состоящий из дилатометрического сенсора — баллона, в качестве рабочего тела в котором используется сухой воздух или инертный газ, и сенсора на основе трубчатой пружины. При изменении температуры баллон давление в баллоне изменяется и через капиллярную трубку воздействует на трубчатую пружину, которая преобразует давление в перемещение и может передвигать стрелку показывающего прибора либо переключать электрические контакты. В качестве преобразователя давления в перемещение может быть использован также сильфон или мембрана.



Рис. 3.5

Дилатометрический сенсор, работающий на газе:
1 — баллон, наполненный газом; 2 — капиллярная трубка; 3 — манометрическая трубка.

Температурный диапазон преобразователей, основанных на расширении твердых тел, определяется стабильностью свойств материалов при изменении температуры. С помощью таких преобразователей измеряют температуры в диапазоне $-60\ldots-400^{\circ}\text{C}$. Погрешность преобразования составляет 1–5%. Температурный диапазон преобразователя с расширяющейся жидкостью зависит от температур замерзания и кипения последней (для ртути $-39\ldots+357^{\circ}\text{C}$, для амилового спирта $-117\ldots+132^{\circ}\text{C}$, для ацетона $-94\ldots+57^{\circ}\text{C}$). Погрешности жидкостных преобразователей составляют 1–3% и в значительной степе-

ни зависят от температуры окружающей среды, изменяющей размеры капилляра. Нижний предел измерения преобразователей, использующих в качестве рабочей среды газ, ограничивается температурой сжижения газа (-195°C для азота, -269°C для гелия), верхний же — лишь теплостойкостью баллона.

К достоинствам дилатометрических сенсоров можно отнести их простоту и малую стоимость. Недостатком является большая погрешность измерения и невысокая надежность.

Биметаллические сенсоры. Принцип работы биметаллических сенсоров основан на свойствах *биметаллической* пластиинки, состоящей из двух соединенных друг с другом металлов с разными коэффициентами температурного расширения.

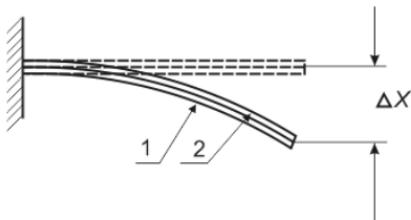


Рис. 3.6

Биметаллическая пластиинка:

1 — металл № 1 (например, медь); 2 — металл № 2 (например, железо).

При нагревании такая пластиинка деформируется (изгибается) преобразуя таким образом температуру в перемещение свободного конца. Часто биметаллическую пластиинку применяют в виде пружины, спирали или другой конструкции. Биметаллические сенсоры входят в состав датчиков температуры среды любого вида (жидкой, сыпучей или газообразной) в диапазоне температур от -70 до $+600^{\circ}\text{C}$. Достоинства биметаллических сенсоров заключаются в простоте их конструкции и дешевизне. Недостаток — относительно малая надежность и высокая погрешность измерения.

3.2. Емкостные сенсоры

Рассмотрим простейший электрический конденсатор, изображенный на рисунке 3.7.

Простейший конденсатор состоит из двух параллельных пластин, расположенных на расстоянии d друг от друга. Между пластинами конденсатора находится материал с диэлектрической проницаемостью ϵ . Его емкость C будет равна

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru