

## **ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ КОМПЬЮТЕРА СТУДЕНТАМИ УНИВЕРСИТЕТОВ**

**О.М. Алыкова, В.В. Смирнов**

*В статье рассмотрены содержание деятельности по формированию у студентов университетов системы знаний о физических принципах работы компьютера и структура лабораторного практикума по основам автоматики и вычислительной техники*

**Ключевые слова:** *физические основы работы компьютера, аналоговый сигнал, физические явления, цифровой сигнал, электрический ток*

**Keywords:** *physical bases of the computer working, the analog signal, physical phenomenas, digital signal, the electric current*

Для изучения принципов построения и функционирования современных электронных вычислительных машин и реализации этого в учебных планах физических факультетов университетов введен учебный курс «Основы автоматики и электронно-вычислительной техники» (ОАиВТ), являющийся заключительной частью интегрированной дисциплины «Электрорадиотехника с основами автоматики и вычислительной техники».

Реализация этого связана с решением следующих задач:

- 1) выделить этапы преобразования информации в процессе ее передачи и обработки в компьютере;
- 2) выделить физические основы преобразования передаваемой информации;
- 3) показать технические способы реализации того или иного физического процесса, используемого для преобразования информации;
- 4) показать принципы построения современного компьютера;
- 5) сформировать систему лабораторных работ, предназначенную для реализации сформулированной цели;
- 6) сформировать содержание деятельности по формированию у студентов системы знаний о физических принципах работы компьютера.

Этапы преобразования информации (первая задача) при передаче ее в компьютере (либо из одного пункта в другой) будут очевидными, если сформулировать цель этой деятельности: получить неискаженную информацию, необходимую пользователю, которая имеет требуемые знаковую форму и материальный носитель.

Для этого сигнал, содержащий исходную информацию, должен быть преобразован в сигнал с определенными параметрами, удовлетворяющими требованиям неискажения информации. Другими словами необходим этап «преобразование полученного сигнала в сигнал с требуемыми параметрами».

Так как по каналам связи чаще всего информация передается в цифровой форме, то этому этапу предшествует этап «получение цифрового сигнала, имеющего определенные параметры». Он может быть получен путем преобразования аналогового сигнала в цифровой с параметрами, необходимыми для передачи.

Аналоговый сигнал представляет собой переменный электрический ток, характеризующийся частотой, амплитудой, мощностью и т.д., которые пропорциональны звуковому, механическому, световому и другим воздействиям. Поэтому необходим этап, на котором происходит преобразование явлений окружающего нас мира, представляющих собой информацию, в аналоговые сигналы, имеющие определенные параметры. Это возможно, если полезная информация, полученная от какого-либо источника (искусственный спутник Земли, наземные метеостанции, плавающий буй, музыка, речь и т.д.), имеет конкретную знаковую форму и определенный материальный носитель.

Рассмотрим физические явления и процессы, происходящие на каждом из выделенных этапов.

В основе преобразования передаваемой информации в электрический аналоговый сигнал

лежат различные физические явления и технические приспособления (датчики). Всего в физике известно около 1500 различных эффектов, которые положены в основу принципа работы различных измерительных преобразователей, предназначенных для измерения тех или иных физических величин. Приведем некоторые примеры этих явлений и устройств (рис. 1).

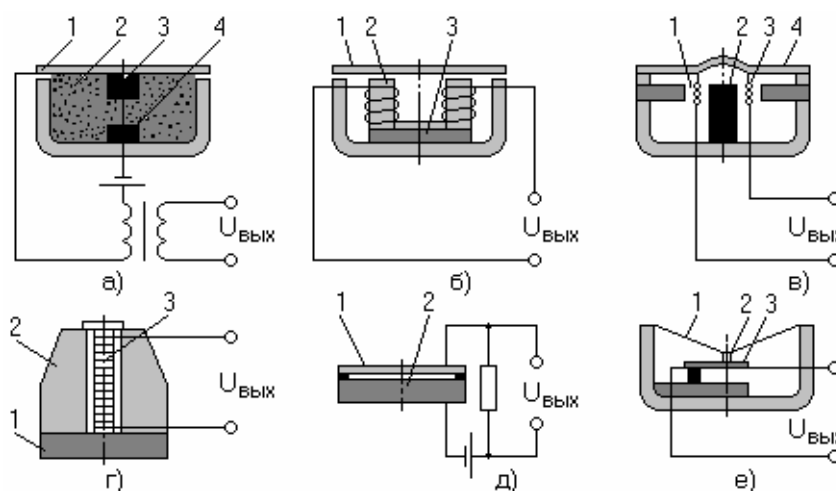


Рис. 1. Устройство микрофонов: а – угольного (1 – диафрагма, 2 – угольный порошок, 3, 4 – электроды); б – электромагнитного (1 – ферромагнитная диафрагма, 2 – полюсные наконечники, 3 – магнит); в – электродинамического (1 – кольцевой зазор магнитной системы, 2 – постоянный магнит, 3 – подвижная катушка, 4 – диафрагма); г – ленточного (1 – постоянный магнит, 2 – полюсные наконечники, 3 – алюминиевая ленточка (2 мкм)); д – конденсаторного (1 – мембрана, 2 – неподвижный электрод); е – пьезоэлектрического (1 – диафрагма, 2 – стержень, 3 – пьезоэлектрический элемент)

Форма сигналов на выходе микрофона, передающей телекамеры или различного рода датчиков пропорциональна воздействиям на эти устройства – звуковому давлению, распределению освещенности, температуре и т.д., т.е. они являются *аналоговыми*. Между минимальным и максимальным значениями аналоговый сигнал может иметь любое значение и обычно является непрерывным. Рассмотрим процесс введения в компьютер звука.

Техническим решением такого преобразования служат микрофоны разных типов, в основе работы которых лежат различные физические явления. Общим для них является то, что мембрана (диафрагма) микрофона воспринимает и передает звуковые колебания элементу, преобразующему их в электрические колебания. При этом содержащаяся в звуке информация не должна претерпевать заметных изменений.

Принцип действия угольного микрофона (рис. 1а) основан на изменении электропроводности (сопротивления) угольного порошка, заключенного между двумя пластинами, одна из которых является мембраной. Звук заставляет колебаться одну мембрану, давление которой на угольный порошок изменяет расстояние между его частичками, за счет чего и происходит изменение сопротивления в цепи.

В основе работы электромагнитного, электродинамического, ленточного микрофонов лежит явление электромагнитной индукции: (см. рис. 1б, в, г). Их принцип работы понятен из приведенного рисунка.

Работа конденсаторного (электретного) микрофона (рис. 1д) основана на *изменении потенциала при изменении расстояния между обкладками*, одна из которых является мембраной, а другая – неподвижным электродом.

Рассматриваемые примеры должны убедить студента в многообразии возможных технических решений преобразования информации, представленной в виде звукового давления.

Подобным образом можно рассмотреть преобразование других физических явлений окружающего нас мира – распределение освещенности, колебания температуры, изменение магнитного поля, явления диффузии и конвекции (объясняющие распространение запахов) и т.д., полагая в основе рассмотрения физические явления и переходя затем к их технической реализации.

Все вышеописанные устройства выдают информацию в аналоговой форме – в виде

электрического сигнала (тока или напряжения), изменение которого является моделью изменения той или иной характеристики контролируемого объекта.

Аналоговый сигнал компьютером непосредственно может быть воспринят через аналоговые входы (порты), встроенные в него для восприятия звука (аудиокарта) и изображения (видеокарта). Для остальных видов аналоговых электрических сигналов нужно либо встроить в системный блок компьютера специальную карту с отдельным входом, либо подключить модем, в функции которого входит преобразование аналогового сигнала в цифровую форму, либо в самом приборе должно быть встроено устройство, переводящее аналоговую форму сигнала в цифровую. Устройство, отвечающее за преобразование аналогового электрического сигнала в цифровую форму, носит название аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

С другой стороны, результаты обработки информации на выходе из компьютера (микропроцессор) имеют цифровую форму, в то время как нам для дальнейшего пользования нужен аналоговый сигнал. Это осуществляется с помощью цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП). Таким образом, все последующие этапы требуют обращения к схемотехнике. Необходимо отметить, что без схемотехнических решений не обойдется и на первом этапе (необходимость усиления сигнала и т.д.), но действия, выделенные в нем ранее, являются более существенными.

Схемотехническое решение перевода аналогового сигнала в цифровой как предмет анализа



Рис. 2. Структура схемотехнического решения перевода аналогового сигнала в цифровой как предмет анализа

Студентам-физикам, кроме знания структурных элементов, входящих в конкретные схемотехнические решения, необходимо четко представлять и физические законы, лежащие в основе функционирования рассматриваемой системы, т.е. имеющиеся системообразующие отношения. Поэтому структура схемотехнического решения для названных этапов в сокращенном виде может быть представлен следующим образом (рис. 2).

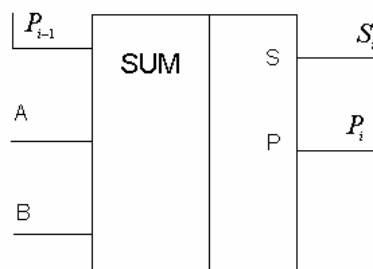


Рис. 3. Однозарядный комбинационный сумматор

В процессе решения четвертой задачи – принцип построения современного компьютера – в изучаемом курсе показывается, что компьютер состоит из конечного числа функциональных блоков, которые, в свою очередь, состоят из соответственно меньших структурных единиц [3, 4]. В конечном счете мы можем спуститься до отдельного электронного компонента, принцип работы которого студенту понятен. Для примера рассмотрим такой узел ЭВМ, как сумматор. На рис. 3 показано условное обозначение однозарядного комбинационного сумматора.

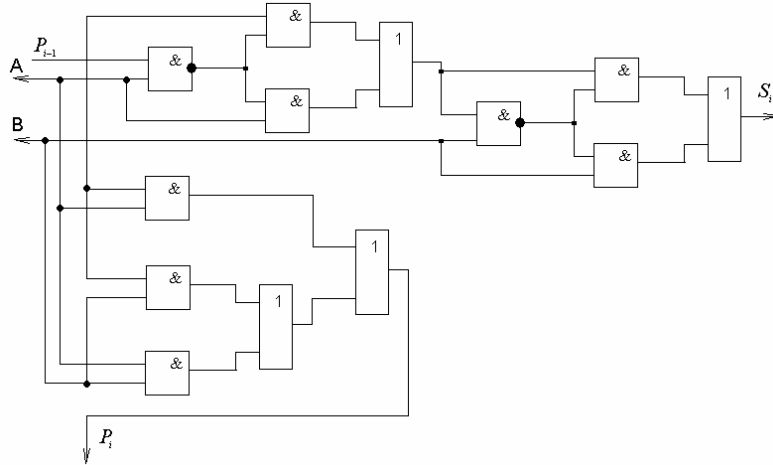


Рис. 4. Реализация сумматора на отдельных логических элементах

На рис. 4 показана функциональная схема данного устройства, разложенная до логических элементов.

На рис. 5 показана схмотехническая реализация некоторых логических элементов и их схемное обозначение (на примере резистивно-транзисторной и диодно-транзисторной логики). В зависимости от решаемой учебной задачи по этому пути можно проходить как сверху вниз (как показано), так и снизу вверх, т.е. от отдельного дискретного элемента до узла ЭВМ. Постепенно у студентов формируется понимание того, что любое сложное устройство состоит из большого числа «кирпичиков», функционирование которых происходит, с одной стороны, по законам алгебры логики; с другой стороны, их работа может быть объяснена через работу отдельных дискретных элементов-диодов, транзисторов и т.д.

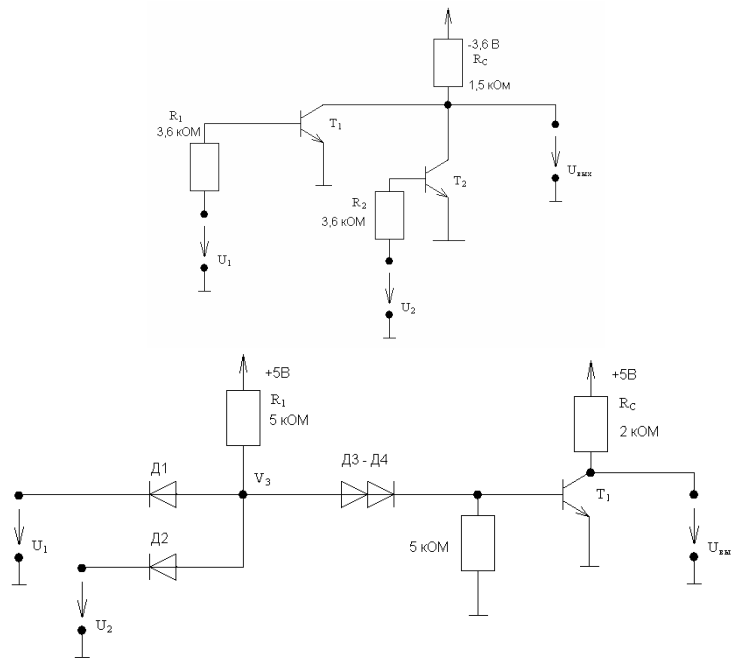


Рис. 5. Реализация некоторых логических функций на дискретных элементах

На рис. 6 показано обозначение основных логических элементов. Их функционирование осуществляется по известным таблицам истинности.

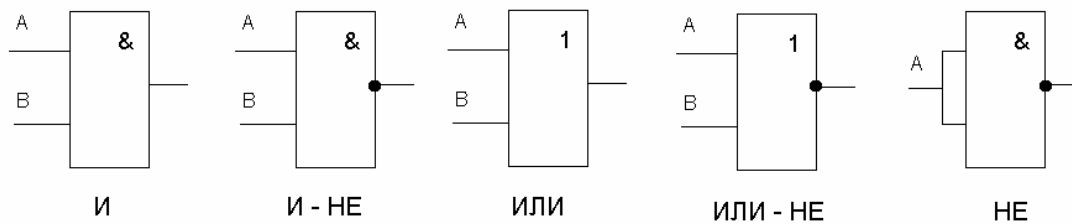


Рис. 6. Обозначение основных логических элементов

Для реализации изложенных идей (задача 5) был разработан лабораторно-демонстрационный комплект стендов, состоящий из пятнадцати работ.

Целью первой лабораторной работы является восстановление навыков работы с электроизмерительными приборами, в первую очередь – с осциллографом, а также знакомство с простейшими преобразователями импульсных сигналов ( $RC$ -цепи, ограничители и т.д.).

Работы 2–5 знакомят (напоминают) с принципами работы полупроводниковых элементов и основных устройств аналоговой электроники.

В ходе выполнения 6 и 7 работ формируется представление о том, что работа логического устройства может быть задана таблицей истинности, по которой это устройство и проектируют. Подтверждение этому осуществляется в работах 8–13, в которых исследуются отдельные функциональные узлы, собранные затем в более сложные блоки арифметико-логического устройства и микропроцессора.

Внешний вид лабораторного комплекта показан на рис. 7.

Лабораторный практикум обеспечен необходимыми монтажными и принципиальными схемами, а также методическими указаниями по его использованию, что обеспечивает его воспроизводимость и ремонтпригодность.

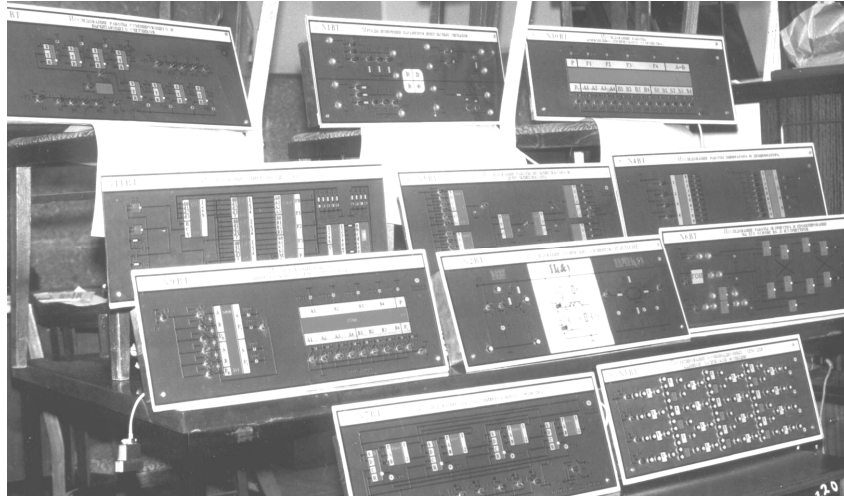


Рис. 7. Внешний вид ряда стандов лабораторного комплекта

Практикум построен таким образом, что результаты выполнения каждой работы являются необходимыми данными для выполнения следующей. Поэтому для реализации этого необходимого принципа фронтальности на сегодняшний момент выполняется следующим образом: подгруппа делится на группы из двух-трех человек, и занятия проводятся со смещением: первая, вторая подгруппы приходят раньше запланированного занятия, затем последовательно подтягиваются остальные подгруппы.

Система действий обрабатывается поэтапно: выполняется несколько лабораторных работ (обычно пять) и проводится фронтальный семинар.

Содержание деятельности по формированию у студентов системы знаний о физических принципах работы компьютера (задача 6) связано с необходимостью решения познавательных задач четырех различных типов [2]:

- 1) воспроизвести физическое явление;
- 2) установить, зависит ли одна физическая величина от другой;
- 3) установить вид зависимости одной физической величины от другой;
- 4) найти конкретное значение конкретной физической величины.

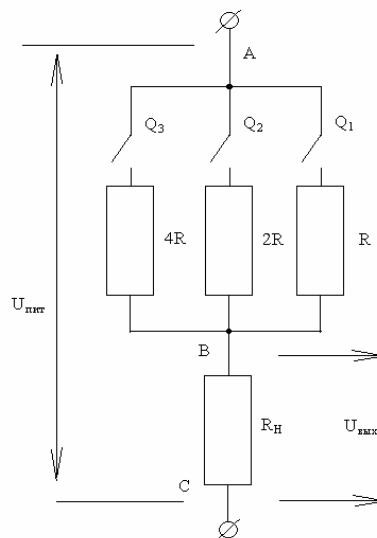


Рис. 8. Исследуемая модель цифро-аналогового преобразователя

Для примера рассмотрим систему действий по решению познавательной задачи третьего типа. В обобщенном виде ее можно сформулировать следующим образом.

1. Составить систему действий по получению и обработке результатов измерений независимой и зависимой переменных.

2. Составить систему действий по построению графика зависимости между этими переменными.

3. Выбрать объект исследования № 1 и выполнить все спланированные в п. 1 и 2 действия.

4. Подобрать известную в математике функциональную зависимость, график которой похож на экспериментальную кривую.

5. Записать математически эту функциональную зависимость для данного конкретного объекта, с которым проводился эксперимент, и сформулировать ответ на поставленную познавательную задачу для объекта исследования № 1.

6. Изменить объект и выполнить с ним ту же систему действий 1 и 2 (и так не менее трех раз).

7. Записать функциональную зависимость между величинами в обобщенном виде.

В качестве конкретного примера рассмотрим изучение работы модели цифро-аналогового преобразователя, приведенного на рис. 8.

Сформулируем цель исследования и проиллюстрируем систему действий по ее достижению.

Цель: установить вид зависимости выходного напряжения на резисторе  $R_n$  от значения эквивалентного сопротивления участка цепи АВ.

Независимой переменной величиной является эквивалентное сопротивление участка АВ цепи, которое измеряется с помощью цифрового вольтметра, подключаемого к точкам А и В схемы. Измерения проводились на пределе 1000 Ом, т.е. точность измерений равна цене младшего разряда, что соответствует  $\pm 1$  Ом.

Зависимой переменной являлось значение выходного напряжения, снимаемого на сопротивлении нагрузки (точки В и С). В качестве измерительного прибора использовался цифровой вольтметр с минимальным разрядом в сотые доли вольта.

Эквивалентное сопротивление менялось с помощью ключей  $Q_1$ ,  $Q_2$  и  $Q_3$ . Для удобства включенное состояние ключа будем обозначать «1», а выключенное «0». В данной цепи возможно всего восемь комбинаций.

Для каждой комбинации выходное напряжение измерялось 5 раз.

В ходе исследования были получены следующие результаты (см. табл. 1).

Таблица 1

**Результаты исследования модели цифро-аналогового преобразователя**

Номер опыта	Состояние ключей $Q_3Q_2Q_1$	Эквивалентное сопротивление $R_{\Sigma}$ , Ом	Выходное напряжение, $U_{\text{вых}}$ , В				
			$U_{1,B}$	$U_{2,B}$	$U_{3,B}$	$U_{4,B}$	$U_{5,B}$
0	0 0 0		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0 0 1	$800 \pm 1$	1,36	1,35	1,37	1,37	1,36
2	0 1 0	$400 \pm 1$	2,66	2,67	2,65	2,67	2,68
3	0 1 1	$267 \pm 1$	4,00	4,03	4,03	4,01	4,03
4	1 0 0	$200 \pm 1$	5,35	5,37	5,36	5,33	5,34
5	1 0 1	$160 \pm 1$	6,70	6,72	6,73	6,70	6,72
6	1 1 0	$133 \pm 1$	8,05	8,10	8,05	8,00	8,10
7	1 1 1	$114 \pm 1$	9,37	9,36	9,37	9,36	9,35

Результаты обработки экспериментальных данных приведены в таблице 2.

Таблица 2

## Результаты обработки экспериментальных данных

№	$Q_3Q_2Q_1$	$R_Э, \text{Ом}$	$U_{\text{ср}}, \text{В}$	$U_{\text{ср. окр.}}, \text{В}$	$\Delta U_{\text{ср}}, \text{В}$	$\Delta U_{\text{и}}, \text{В}$	$\Delta U_{\text{о}}, \text{В}$	$\Delta U_{\text{в}}, \text{В}$	$\Delta U, \text{В}$	$U, \text{В}$
0	0 0 0		0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	$0,00 \pm 0,02$
1	0 0 1	$800 \pm 1$	1,362	1,36	0,0192	0,01	0,01	0,002	0,0412	$1,36 \pm 0,04$
2	0 1 0	$400 \pm 1$	2,666	2,67	0,0264	0,01	0,01	0,004	0,0504	$2,67 \pm 0,05$
3	0 1 1	$267 \pm 1$	4,02	4,02	0,036	0,01	0,01	0,00	0,056	$4,02 \pm 0,06$
4	1 0 0	$200 \pm 1$	5,35	5,35	0,036	0,01	0,01	0,00	0,056	$5,35 \pm 0,06$
5	1 0 1	$160 \pm 1$	6,714	6,71	0,0336	0,01	0,01	0,004	0,0576	$6,71 \pm 0,06$
6	1 1 0	$133 \pm 1$	8,06	8,06	0,096	0,01	0,01	0,00	0,116	$8,06 \pm 0,12$
7	1 1 1	$114 \pm 1$	9,362	9,36	0,0192	0,01	0,01	0,002	0,0412	$9,36 \pm 0,04$

Строим график зависимости выходного напряжения от значения эквивалентного сопротивления  $U = f(R_Э)$ , представленный на рис. 9.

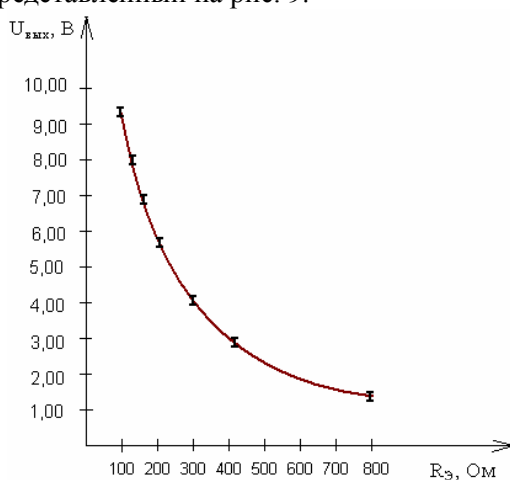


Рис. 9. График зависимости выходного напряжения от значения эквивалентного сопротивления на участке АВ

При построении графика длина линии соответствует погрешности измерения  $\Delta U$ , индивидуальной для каждого опыта (максимальная погрешность  $\Delta U = 0,116 \text{ В}$ ). Толщина линии соответствует погрешности измерения эквивалентного сопротивления. Получившийся график представлен на рис. 9.

График напоминает график обратной пропорциональной зависимости. Для того, чтобы убедиться в этом, построим график зависимости выходного напряжения от величины, обратной значению эквивалентного сопротивления  $U = f(1/R_Э)$ , т.е. от проводимости  $\sigma$  цепи. Для удобства данные для этого графика представим в виде таблицы 3.

Таблица 3

## Данные графика зависимости (рис. 9)

№ опыта	0	1	2	3	4	5	6	7
$Q_3Q_2Q_1$	000	001	010	011	100	101	110	111
$R_Э, \text{Ом}$		$800 \pm 1$	$400 \pm 1$	$267 \pm 1$	$200 \pm 1$	$160 \pm 1$	$133 \pm 1$	$114 \pm 1$
$\sigma \cdot 10^{-3}, \text{см}$	0	125	250	375	500	625	752	877
$U, \text{В}$	$0,00 \pm 0,02$	$1,36 \pm 0,04$	$2,67 \pm 0,05$	$4,02 \pm 0,06$	$5,35 \pm 0,06$	$6,71 \pm 0,06$	$8,06 \pm 0,12$	$9,36 \pm 0,04$

Полученный график (рис. 10) подтверждает высказанное предположение: выходное напряжение на сопротивлении нагрузки  $R_{н1}$  обратно пропорционально эквивалентному сопротивлению участка цепи АВ:  $U = 0,0017/R_Э$ .



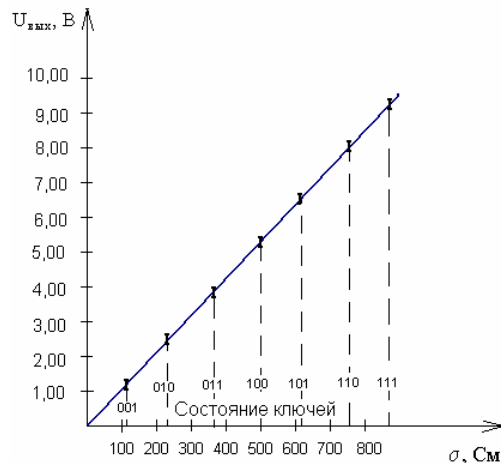


Рис. 10. График зависимости выходного напряжения от проводимости участка цепи АВ

Выбираем другой объект исследования № 2; другое значение сопротивления нагрузки  $R_{н2}$ , и выполняем все те же действия. Получаем аналогичный результат, но с другим коэффициентом  $k$ .

Формулируем ответ на познавательную задачу: выходное напряжение на сопротивлении нагрузки  $R_n$  обратно пропорционально значению эквивалентного сопротивления участка цепи, состоящего из трех параллельно соединенных проводников, которые можно включать в одной из восьми комбинаций.

Таким образом, показано, что физическими принципами функционирования рассматриваемой схемы, являющейся моделью цифро-аналогового преобразователя, являются законы последовательного и параллельного соединения резисторов.

В заключение отметим, что работа с «железом» в названных лабораторных работах предваряется виртуальным моделированием на базе пакетов прикладных программ Electronics Workbench и Circuit Maker 2000.

#### Библиографический список

1. Алыкова, О. М. Оптимизация содержания лабораторного практикума по электротехнике, электронике, основам автоматики и вычислительной техники на педагогических специальностях университетов / О. М. Алыкова // Материалы V Международной научной конференции «Физическое образование: проблемы и перспективы развития». – М. : МПГУ, 2006. – С. 202–205.
2. Анофрикова, С. В. Введение в практикум по общей и экспериментальной физике : учебное пособие / С. В. Анофрикова, Г. П. Стефанова, В. В. Смирнов. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2006.
3. Смирнов, В. В. Разработка единого подхода к преподаванию общетехнических дисциплин в педагогических вузах / В. В. Смирнов // Преподавание физики в высшей школе. – 2001. – № 20. – С. 40–46.
4. Смирнов, В. В. Содержание деятельности по экспериментальному нахождению значений физических величин / В. В. Смирнов // Материалы V Международной научной конференции «Физическое образование: проблемы и перспективы развития». – М. : МПГУ, 2006. – С. 261–270.