

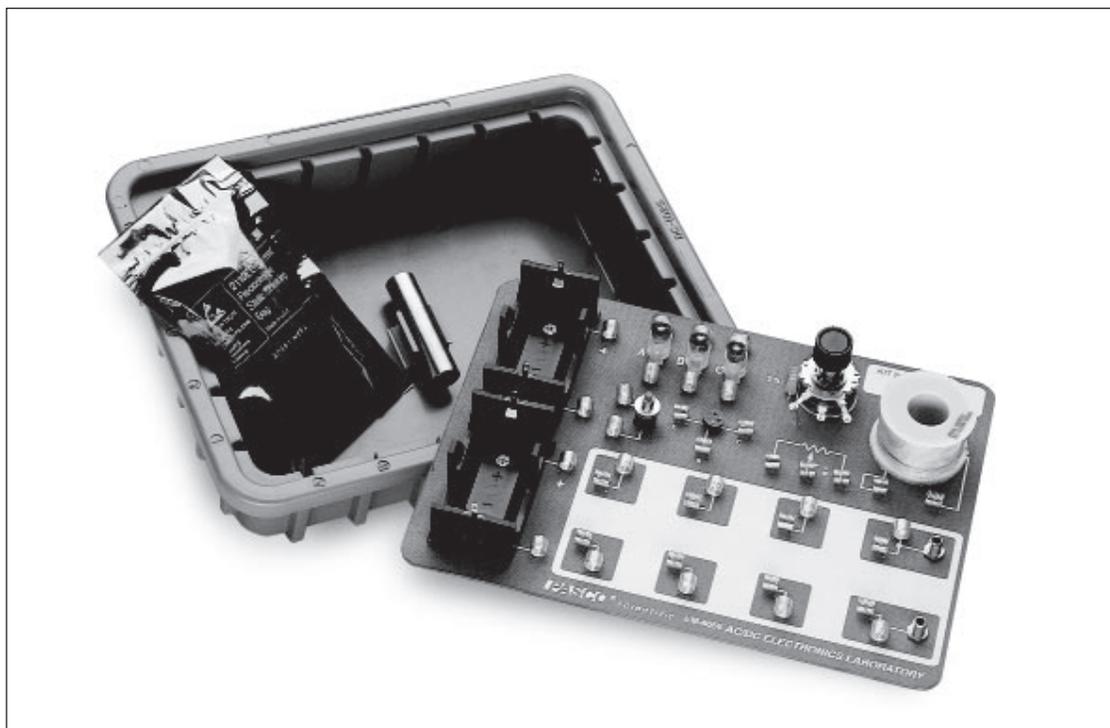
Включает
разделы «Заметки
учителя» и
«Стандартные
результаты
экспериментов»



**Руководство пользователя и пособие
по выполнению экспериментов в
электронной лаборатории EM-8656
производства PASCO scientific**

012-05892C

**ЭЛЕКТРОННАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
ПЕРЕМЕННОГО И ПОСТОЯННОГО
ТОКА**



© 1995 PASCO scientific

\$15,00

PASCO[®]
scientific

10101 Foothills Blvd. • P.O. Box 619011 • Roseville, CA 95678-9011, США
Тел. (916) 786-3800 • Факс (916) 786-8905 • E-mail: techsupp@PASCO.com

лучший

способ

обучать естествознанию

Содержание

Раздел.....	Страница
Авторское право, гарантия и возврат оборудования	ii
Введение	1
Оборудование	1
Начало работы	2
Примечания об экспериментальной панели.....	3
Эксперименты.....	4
Примечания для измерительных приборов.....	4
Эксперименты	
Эксперимент 1. Экспериментальная панель.....	5
Эксперимент 2. Лампы в цепях.....	7
Эксперимент 3. Закон Ома.....	9
Эксперимент 4. Сопротивление в цепях	11
Эксперимент 5. Напряжение в цепях.....	15
Эксперимент 6. Сила тока в цепях.....	19
Эксперимент 7. Правила Кирхгофа	21
Эксперимент 8. Конденсаторы в цепях	23
Эксперимент 9. Диоды	25
Эксперимент 10. Транзисторы	27
Компьютерные эксперименты	
Эксперимент 11. Второй закон Ома.....	29
Эксперимент 12. RC-цепь.....	37
Эксперимент 13. LR-цепь	43
Эксперимент 14. LRC-цепь.....	49
Эксперимент 15. Диодная лаборатория. Часть 1.....	57
Эксперимент 16. Диодная лаборатория. Часть 1.....	67
Эксперимент 17. Эксперимент с транзисторами № 1 — транзистор n-p-n в качестве цифрового переключателя.....	85
Эксперимент 18. Эксперимент с транзисторами № 2 — коэффициент усиления по току. Эмиттерный повторитель n-p-n	93
Эксперимент 19. Эксперимент с транзисторами № 3 — усилитель с общим эмиттером.....	101
Эксперимент 20. Индукция — движение магнита через катушку.....	109
Приложение: советы и устранение неполадок.....	113
Руководство учителя.....	115
Техническая поддержка.....	Задняя крышка

Авторское право, гарантия и возврат оборудования

Разрешается воспроизводить любую часть данного руководства в соответствии с нижеуказанными ограничениями, накладываемыми авторскими правами.

Уведомление об авторских правах

Руководство пользователя электронной лаборатории переменного и постоянного тока модели EM-8656 защищено авторскими правами. Все права защищены. Тем не менее некоммерческим образовательным учреждениям разрешается воспроизводить любую часть данного руководства только для использования в лабораторных условиях, но не для продажи. Воспроизведение любой части руководства при любых других обстоятельствах без предварительного разрешения компании PASCO scientific запрещается.

Ограниченная гарантия

PASCO scientific гарантирует отсутствие дефектов изготовления и дефектов материалов для данного продукта. Гарантия предоставляется в течение одного года со дня поставки потребителю. PASCO на свое усмотрение отремонтирует или заменит любую часть продукта, которая окажется дефектной (дефект материала или изготовления). Данная гарантия не распространяется на повреждение изделия, связанное с неправильным использованием продукта. Решение о производственном дефекте или неправильном использовании продукта принимается исключительно компанией PASCO scientific. Ответственность за возврат оборудования на гарантийный ремонт лежит на заказчике. Для предотвращения повреждения оборудования перед отправкой должно быть надлежащим образом упаковано (возможна оплата стоимости перевозки до отправки). Повреждение, вызванное неправильной упаковкой оборудования при возврате оборудования, не является гарантийным случаем. Затраты на транспортировку при обратной отправке оборудования после ремонта будут покрыты за счет PASCO scientific.

Сведения об авторах

Данное руководство составлено Энн Хэнкс (Ann Hanks) и Дейвом Гриффитом (Dave Griffith)

Возврат оборудования

Для возврата продукта PASCO scientific по какой-либо причине необходимо ПРЕДВАРИТЕЛЬНО об этом уведомить PASCO scientific по почте, телефону или факсу. После уведомления в кратчайшие сроки будут предоставлены разрешение на возврат и инструкции по доставке.

► **ПРИМЕЧАНИЕ:** ОБОРУДОВАНИЕ НЕ БУДЕТ ПРИНЯТО К ВОЗВРАТУ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ PASCO.

При возвращении оборудования на ремонт все устройства должны быть упакованы надлежащим образом. Перевозчик не несет ответственности за повреждения, причиной которых является неправильная упаковка. Чтобы устройство не было повреждено при транспортировке, соблюдайте нижеследующие правила.

- ① Упаковочный материал должен быть достаточно прочным.
- ② Убедитесь, что между деталями и внутренними стенами коробки находится более 5 сантиметров упаковочного материала.
- ③ Убедитесь, что упаковочный материал внутри коробки не смещается и не позволяет упакованным деталям соприкасаться со стенками коробки при сжатии.

Адрес: PASCO scientific
10101 Foothills Blvd.
Roseville, CA 95747-7100

Тел.: (916) 786-3800
Факс: (916) 786-3292
Эл. почта: techsupp@pasco.com
Веб-сайт: www.pasco.com

Введение

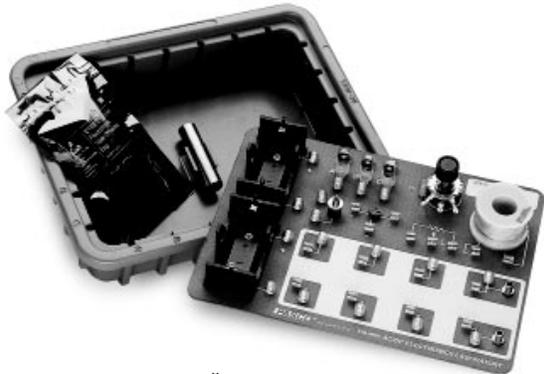
Электронная лаборатория переменного и постоянного тока EM-8656 разработана для проведения экспериментов с переменным и постоянным током. Питание панели для экспериментов с постоянным током может обеспечиваться с помощью аккумуляторных батарей или посредством компьютера, оборудованного усилителем мощности, при экспериментах с переменным током. Эксперименты с переменным током также могут проводиться без усилителя мощности при наличии функционального генератора.

В первых десяти экспериментах, приведенных в настоящем руководстве, предложены эксперименты с постоянным током с применением аккумуляторной батареи и мультиметров вместо компьютера. Для остальных экспериментов используется компьютер (Mac или ПК) с усилителем мощности. Для проведения экспериментов используется программное обеспечение *Science Workshop™*.

Оборудование

В комплект электронной лаборатории PASCO переменного и постоянного тока EM-8656 входит следующее:

- панель для экспериментов с цепями (экспериментальная панель);
- футляр для хранения;
- сумка для комплектующих;
- руководство по выполнению экспериментов.



В состав экспериментальной панели входит следующее:

- 2 держателя для аккумуляторных батарей D-типа (аккумуляторы не входят в комплект);
- 3 электропатрона;
- 3 электролампы № 14 — 2,5 В; 0,3 А**
- 1 гнездо для транзистора;
- 1 катушка (Renco RL-1238-8200);
- 1 резистор — 3,3 Ом, 2 Вт, 5 %;
- 36 комплектных пружины;
- 2 разъёма типа «банан» (для усилителя мощности);
- 1 потенциометр — 25 Ом, 2 Вт;
- 1 кнопочный переключатель

В футляре для хранения содержится следующее:

- 1 кабельный зажим и железный сердечник на 13 мм.

Сумка для комплектующих содержит:

резисторы, 5 %,

- 1 x 33 Ом — 5 Вт;
- 2 x 10 Ом — 1 Вт;
- 2 x 4,7 Ом — 0,5 Вт;
- 2 x 100 Ом — 0,5 Вт;
- 4 x 330 Ом — 0,5 Вт;
- 2 x 560 Ом — 0,5 Вт;
- 4 x 1 кОм — 0,5 Вт;
- 2 x 10 кОм — 0,5 Вт;
- 1 x 100 кОм — 0,5 Вт;
- 1 x 220 кОм — 0,5 Вт;
- 2 x 22 кОм — 0,25 Вт;
- 1 x 3,3 кОм — 0,25 Вт;

конденсаторы,

- 1 x 1 мкФ — 35 В;
- 2 x 10 мкФ — 25 В;
- 1 x 47 мкФ — 50 В;
- 1 x 470 мкФ — 16 В;
- 1 x 100 мкФ — 16 В;
- 1 x 330 мкФ — 16 В;

6 диодов 1N-4007;

2 транзистора 2N-3904;

светодиоды — красный, зелёный, жёлтый, двухцветный (по 1 шт.);

провода диаметром 0,6 мм (22 калибр) — (4 по 12,5 см и 5 по 25 см).

*** ПРИМЕЧАНИЕ:** с учетом допусков изготовителя мощность электроламп в наборе может различаться в пределах 15–30 %.

Начало работы

- ① Храните комплектующие в сумке с застёжкой-молнией, когда не пользуетесь ими. Следите за комплектующими и возвращайте их в сумку с застёжкой-молнией по завершении экспериментов.
- ② Значения резистора, требуемые для отдельных экспериментов, определяйте с помощью нижеприведённой схемы.
- ③ Ознакомьтесь с компоновкой панели, как показано на рисунке.
- ④ Ученики должны использовать аналогичную компоновку комплектующих в разных экспериментах. Маркировка панелей и измерительных приборов облегчит работу ученикам.
Для маркировки панелей могут использоваться, к примеру, наклеиваемые этикетки или перманентный маркер.

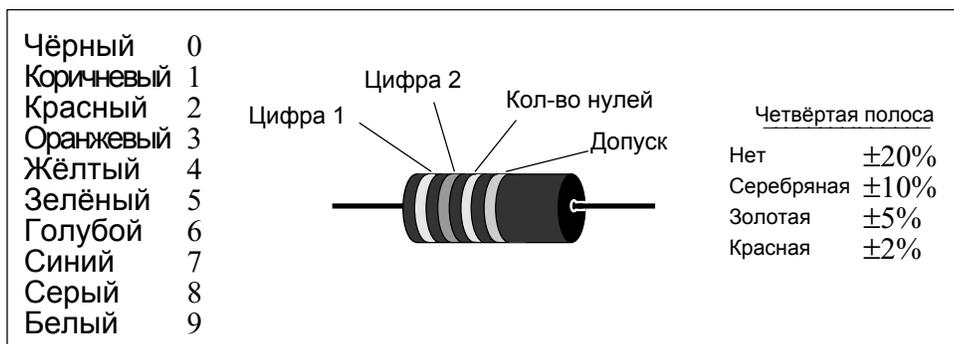
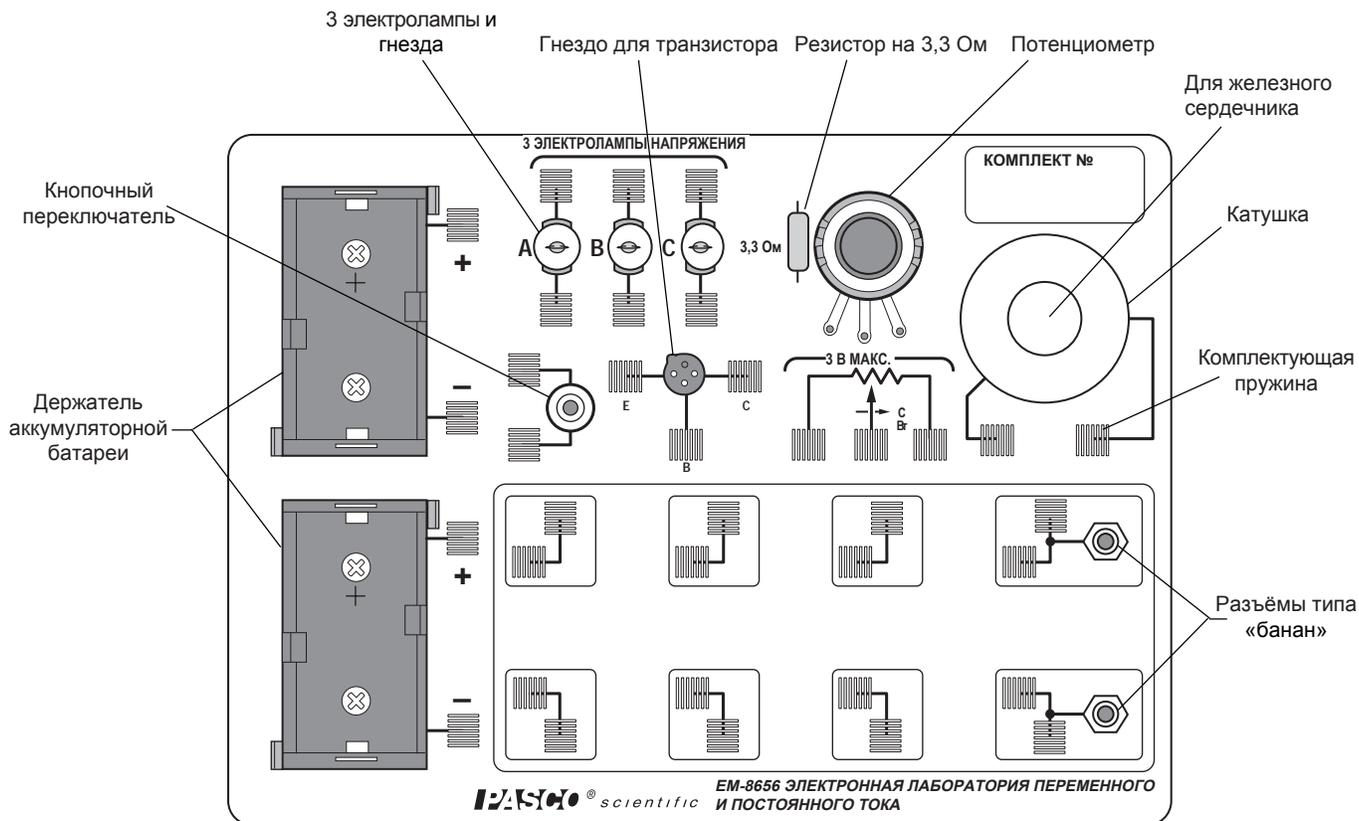


Схема резистора



Компоновка панели

Примечания по экспериментальной панели

Пружины прочно припаяны к панели. Они предназначены для удобного подсоединения проводов, резисторов и прочих элементов. Некоторые пружины имеют электрическое соединение с такими устройствами как потенциометр и элементами D-типа. В большой Экспериментальной зоне пружины соединены попарно и расположены перпендикулярно друг другу. Это облегчает соединение цепей различных типов.

Если пружина слаба, то сожмите ее продольно так, чтобы ее витки прижались друг к другу. Пружина не должна быть слишком тугая, поскольку это может привести к перегибу и/или разрыву проводов компонентов при подсоединении или отсоединении. При выдавливании пружины слегка надавите на нее, чтобы она выпрямилась.

Компоненты, в основном резисторы, и небольшие провода можно хранить в полиэтиленовом пакете, который поставляется вместе с футляром. Попросите учеников внимательно следить за компонентами и возвращать их в пакет каждый раз по окончании экспериментов.

При подключении цепи к элементу D-типа, соблюдайте полярность («+» и «-»), указанную на панели. В некоторых случаях полярность не важна, а в других — её соблюдение является обязательным. Соблюдение полярности очень важно для большинства измерительных приборов.

Соединения на экспериментальной панели выполняются путем вставки оголенной проволоки или провода в компонент, зажатый в пружине. Для обеспечения максимального эффекта, оголенная часть провода должна полностью проходить через пружину, обеспечивая контакт с пружиной в четырех точках. Это обеспечивает наиболее безопасное электрическое и механическое соединение.

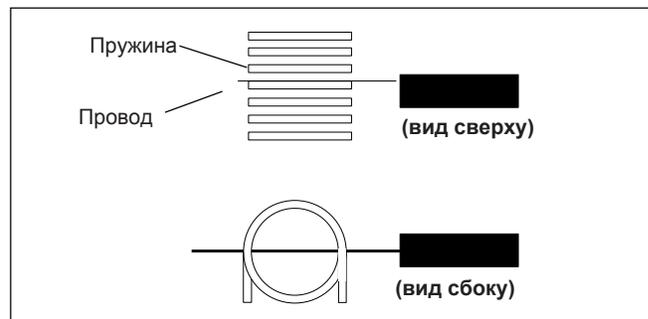


Рисунок 1. Расположение проводов и пружин

Эксперименты

Эксперименты, описанные в данном руководстве приведены в порядке усложнения, начиная от ознакомления с экспериментальной панелью и замкнутыми цепями до составления последовательных и параллельных цепей, к которым в конечном итоге подключаются диоды и транзисторы с различными параметрами. Эти эксперименты могут проводиться как часть курса собственных лабораторных работ преподавателя, так и как отдельная комплексная лабораторная работа.

- Эксперимент 1. Экспериментальная панель
- Эксперимент 2. Лампы в цепях
- Эксперимент 3. Закон Ома
- Эксперимент 4. Сопротивление в цепях
- Эксперимент 5. Напряжение в цепях
- Эксперимент 6. Сила тока в цепях
- Эксперимент 7. Правила Кирхгофа
- Эксперимент 8. Конденсаторы в цепях
- Эксперимент 9. Технические характеристики диодов
- Эксперимент 10. Характеристики транзисторов

Эксперименты с применением компьютера

- Эксперимент 11. Второй закон Ома
- Эксперимент 12. RC-цепь
- Эксперимент 13. LR-цепь
- Эксперимент 14. LRC-цепь
- Эксперимент 15. Диоды – часть 1
- Эксперимент 16. Диоды – часть 2
- Эксперимент 17. Эксперимент с транзисторами № 1
- Эксперимент 18. Эксперимент с транзисторами № 2
- Эксперимент 19. Эксперимент с транзисторами № 3
- Эксперимент 20. Индукция, магнит и катушка

Требуемое дополнительное оборудование

Для того, чтобы получить информацию обо всем требуемом оборудовании, см. раздел «Необходимое оборудование» в начале каждого раздела.

Примечания для измерительных приборов

Вольтметр

Вольтметр или VOM — многошкальный многофункциональный измерительный прибор (например, аналоговый мультиметр PASCO SB-9623), применяемый в основном для измерения напряжения и сопротивления, а также силы тока. Как правило, в данных приборах имеется измерительный механизм и существует возможность выбора различных режимов работы и шкал поворотом переключателя на передней панели.

Преимущества: доступность, так как вольтметры уже могут присутствовать в учебных лабораториях; с помощью одного прибора можно произвести множество измерений без использования нескольких измерительных устройств.

Недостатки: начинающим иногда сложно определять показания вольтметра со множеством различных шкал, соответствующих разным настройкам. Питание вольтметров для режима определения сопротивления осуществляется от аккумуляторных батарей, которые необходимо своевременно заменять. Как правило, входное сопротивление вольтметра составляет 30 000 Ом в нижнем диапазоне напряжения, который наиболее часто используется в этих экспериментах. Для сопротивлений более 1000 Ом такое небольшое сопротивление прибора влияет на работу цепи при определении показаний и, таким образом, не подходит для экспериментов с конденсаторами, диодами и транзисторами.

ЦММ

Цифровой мультиметр (ЦММ) — многошкальный (мультифункциональный) измерительный прибор (например, базовый цифровой мультиметр PASCO SB-9624 или ЦММ SE-9589 общего назначения), применяемый, как правило, для измерения напряжения и сопротивления, а также силы тока. Показания в данных моделях отображаются на цифровом дисплее — часто на ЖК-дисплее (жидкокристаллическом дисплее). С помощью поворотного переключателя или серии кнопочных выключателей можно выбирать различные режимы работы и шкалы.

Преимущества: лёгкость снятия показаний с ЦММ, а также благодаря стандартно высокому входному сопротивлению (более 10^6 Ом) высокая эффективность измерений в цепях с высоким сопротивлением. Ученики быстро обучаются снимать показания с ЦММ и делают при этом мало ошибок. ЦММ приемлемого качества можно приобрести за 60 долларов США или менее. PASCO настоятельно рекомендует использовать ЦММ.

Недостатки: ЦММ также требует применения аккумуляторных батарей (но срок службы щелочных аккумуляторов в ЦММ достаточно продолжителен). Аккумулятор используется для всех режимов работы. Большинство ЦММ указывает максимальное значение измеряемой величины на переключателе (т. е. указанная у напряжения цифра 2 означает «максимум 2 вольта» (фактически 1,99 В)). Это может вводить в заблуждение некоторых учеников.

ЛВ

Ламповый вольтметр (ЛВ) — это многошкальный (многофункциональный) прибор, используемый, как правило, для измерения сопротивления и напряжения. Как правило, он не измеряет силу тока. Прибор является аналоговым и имеет несколько шкал, выбираемых поворотным переключателем, который расположен на передней панели прибора.

Преимущества: ЛВ имеет высокое входное сопротивление порядка 10^6 Ом или выше. Измеряя напряжение при известном значении сопротивления, с помощью ЛВ можно измерить силу тока.

Недостатки: ЛВ имеет несколько шкал. Во избежание ошибок при снятии показаний ученики должны попрактиковаться в использовании прибора. Для измерения сопротивления внутренний аккумулятор генерирует ток. Требуется своевременно заменять аккумулятор. При использовании более одного ЛВ для выполнения нескольких измерений в одной и той же цепи возможно возникновение проблем, связанных с заземлением.

Экранные измерительные приборы

Измерительные приборы, часто приобретаемые у поставщиков научных приборов, — это вольтметры, амперметры и гальванометры (например, вольтметр PASCO SE-9748 5 В, 15 В; амперметр SE-9746 1 А, 5 А; гальванометр SE-9749 ± 35 мВ). В некоторых моделях также возможно наличие нескольких шкал.

Преимущества: можно использовать приборы со специальным диапазоном, необходимым для конкретного эксперимента. Это поможет ученикам избежать ошибок при снятии показаний.

Недостатки: выбор необходимого измерительного прибора может быть ошибочным. Ограниченный диапазон прибора часто приводит к ситуациям, когда ученик, которому нужен другой диапазон, не может найти требуемый прибор. Многие из таких измерительных приборов имеют малые значения входного сопротивления (вольтметры) и высокое значение внутреннего сопротивления (амперметры). Омметры практически отсутствуют в виде отдельных измерительных приборов.

Электролампы

Номинальные параметры ламп № 14 — 2,5 В и 0,3 А, но в связи с относительно широким допустимым диапазоном отклонений значений при производстве, напряжение может отличаться от лампы к лампе в пределах 15–30 %. Следовательно, предположительно «идентичные» лампы могут иметь разную яркость в простых цепях.

Эксперимент 1. Панель для экспериментов с цепями (экспериментальная панель)

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

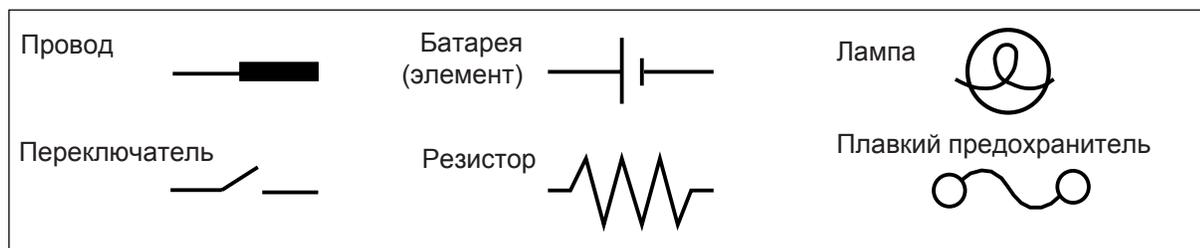
- Лаборатория электронная переменного и постоянного тока: провода
- Аккумулятор D-типа
- Диаграммная бумага

Цель

Данная лаборатория предназначена для ознакомления с экспериментальной панелью, изучения способов построения замкнутых электрических цепей и обучения составлению электрических цепей посредством электрических схем.

Основные сведения

- ① Многие ключевые элементы электрических схем показаны в виде символьных обозначений. Каждый символ представляет собой функциональный элемент устройства, а многие из них имеют историческое значение. В этой и последующих лабораторных работах мы часто будем использовать символьные обозначения. Поэтому важно, чтобы вы запомнили некоторые из них.



- ② Экспериментальная панель была разработана с учетом возможности лёгкого и быстрого проведения многочисленных экспериментов. При возникновении трудностей в определении устройства, указанного на самой панели, обращайтесь к промаркированной наглядной схеме экспериментальной панели на странице 2.
- ③ **Примечания об экспериментальной панели**
- a) Пружины припаяны к панели для удобства подсоединения проводов, резисторов и прочих компонентов. Некоторые пружины имеют электрическое соединение с такими устройствами как потенциометр и элементами D-типа.
 - b) Если пружина обеспечивает недостаточный контакт, то сожмите её для более прочного удерживания провода. При выдавливании пружины слегка надавите на нее, чтобы она выпрямилась. Если вы обнаружите, что пружина не обеспечивает надлежащий контакт, сообщите об этом учителю.
 - c) Компоненты, в основном резисторы, находятся в пластмассовом футляре в верхней части панели. Будьте внимательно при работе с компонентами — возвращайте их в пакет каждый раз по окончании экспериментов. Это позволит сохранить полный комплект компонентов для последующих измерений.
 - d) При подсоединении цепи к элементу D-типа (каждая «аккумуляторная батарея» — это просто элемент, но при этом аккумуляторная батарея состоит из двух или более элементов) обратите внимание на полярность («+» и «-»), указанную на панели. В то же время в некоторых случаях полярность не важна, а в других — её соблюдение является обязательным.
 - e) В связи с допустимой разницей между электролампами яркость идентичных по параметрам ламп может значительно отличаться.

Порядок действий

- ① Соедините пружины на одной из электроламп с пружинами у элемента D-типа с помощью двух кусков проволоки таким образом, чтобы лампа загорелась. Перед работой обсудите со своим напарником по эксперименту, какие соединения вы планируете выполнить, и выскажите предположение о том, почему у вас получится зажечь лампу. При неудачной попытке попробуйте сделать следующее по порядку: поменять провода, использовать другую лампу, другой элемент и попросить учителя о помощи.
 - а) После того, как вы добьетесь положительного результата, зарисуйте соединения, используя символы, которые изображены на первой странице этой лабораторной работы.
 - б) Повторно зарисуйте общую цепь, собранную вами — при этом провода должны проходить горизонтально и вертикально на зарисовке. Это более стандартный подход в изображении электросхем.
- ② Поменяйте два провода, подключенные к лампе. Оказало ли это влияние на работу? Поменяйте два провода, подключенные к элементу. Оказало ли это влияние на работу?
- ③ На последующих шагах используйте кнопочный переключатель, как показано на рисунке справа.
- ④ При необходимости используйте дополнительные провода для включения в цепь второй лампы, чтобы также зажечь её. Используйте переключатель для включения и выключения питания после сборки цепи. Перед выполнением работ обсудите свой план по проведению эксперимента с напарником. После успешной сборки схемы зарисуйте соединения в виде электрической схемы. Сбоку от схемы запишите примечания с описанием того, что происходило в данной цепи. Если лабораторная работа не получилась, то попробуйте выполнить её ещё раз.

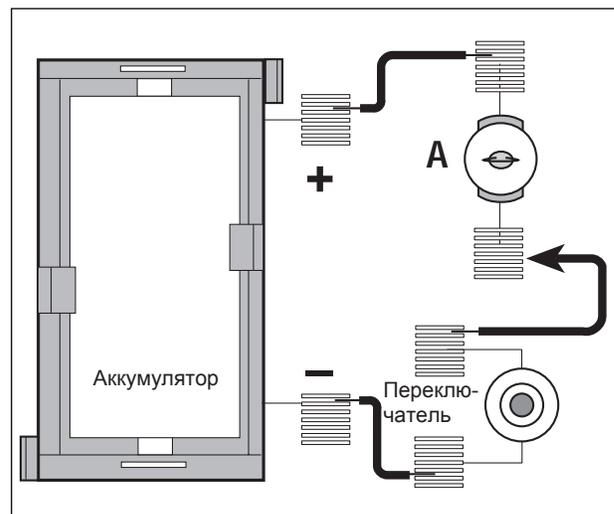


Рисунок 1.1

► **ПРИМЕЧАНИЕ:** определите, какая стала яркость лампы по сравнению с шагом 1 — одинаковая, более высокая или менее высокая? Можете ли вы пояснить, почему яркость отличалась или не изменялась? Не отчаивайтесь, если не сможете ответить на этот вопрос — в следующих исследованиях вы обязательно узнаете, почему меняется или остаётся неизменной яркость.

- ⑤ Если вы можете предложить иной способ соединения двух ламп в одной цепи, реализуйте его. Зарисуйте электрическую схему по окончании сборки и отметьте изменение яркости. Сравните уровень яркости с достигнутым вами результатом при использовании одной лампы.
- ⑥ Отсоедините провода и поместите их обратно в полиэтиленовый пакет. Верните оборудование в футляр.

Эксперимент 2. Лампы в цепях

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Лаборатория электронная переменного и постоянного тока: провода
- 2 аккумулятора D-типа
- Диаграммная бумага

Цель

Цель данного эксперимента — определить то, как ведут себя лампы в разных схемах цепи. Также рассматриваются разные способы соединения двух аккумуляторов.

Порядок действий

ЧАСТЬ А

► **ПРИМЕЧАНИЕ:** в связи с различиями между параметрами ламп яркость этих ламп может значительно отличаться при одинаковых условиях.

- Используйте два куска проволоки, чтобы соединить одну лампу с элементом D-типа. Лампа должна загореться. Добавьте в схему переключатель, чтобы можно было включать и выключать лампу (т. е. работа лампы не будет непрерывной). Если вы выполнили данный шаг в эксперименте 1, то повторите действия. В противном случае выполните данный шаг.
- При необходимости используйте дополнительные провода для включения второй лампы в цепь (т. е. она должна загореться). Перед выполнением работ обсудите свой план по проведению эксперимента с напарником. После того как схема будет собрана, зарисуйте соединения в виде электрической схемы, используя стандартные графические символы. Сбоку от схемы запишите примечания с описанием того, что происходило в данной цепи.

► **ПРИМЕЧАНИЕ:** определите, какая стала яркость лампы по сравнению с шагом 1 — одинаковая, более высокая или менее высокая? Можете ли вы пояснить, почему яркость отличалась или не изменялась?

- Если выкрутить одну лампу, будет ли вторая лампа продолжать гореть? Почему ответ положительный или почему ответ отрицательный?
- Составьте цепь, в которой можно будет зажечь все три лампы, и при этом каждая из них будет гореть с одинаковой яркостью. После того как схема будет собрана, зарисуйте схему. Как можно охарактеризовать цепь: как последовательную или как параллельную? Что произойдет, если вы выкрутите одну из ламп? Поясните свой ответ.
- Составьте другую цепь, в которой будут подключены три лампы с одинаковой яркостью, несмотря на то, что их яркость может отличаться от результатов, полученных на шаге 4. Попробуйте сделать это сами. После того как схема будет собрана, зарисуйте схему. Что произойдет, если вы выкрутите одну из ламп? Поясните свой ответ.
- Составьте цепь, в которой две лампы будут иметь одинаковую яркость, а у третьей яркость будет отличаться. Попробуйте сделать это сами. После того как схема будет собрана, зарисуйте схему. Что произойдет, если вы выкрутите одну из ламп? Поясните свой ответ.

► **ПРИМЕЧАНИЕ:** можете ли вы сделать какие-либо общие выводы о различных соединениях набора ламп?

ЧАСТЬ В

- ⑦ Для лёгкого включения и выключения тока подсоедините один элемент D-типа к одной лампе с помощью выключателя с пружинным зажимом, как описано на шаге 1. Обратите внимание на яркость ламп.
- ⑧ Затем добавьте второй элемент D-типа в цепь, как показано на рисунке 2.1а. Какое влияние это оказало на яркость лампы?

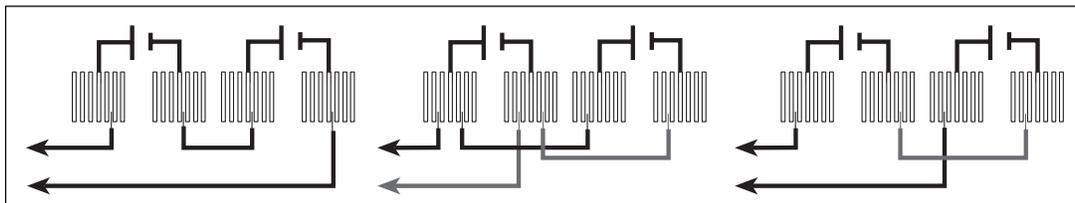


Рисунок 2.1а

Рисунок 2.1b

Рисунок 2.1с

- ⑨ Подсоедините второй элемент D-типа, как показано на рисунке 2.1b. Какое влияние это оказало на яркость?
- ⑩ Подсоедините второй элемент D-типа, как на показано на рисунке 2.1с. Какое влияние это оказало на яркость?

► **ПРИМЕЧАНИЕ:** определите то, как были соединены элементы D-типа на шагах 8–10. Какой из типов соединений наибольшим образом повысил яркость? Какой тип соединения менее всего оказал влияние на яркость? Можете ли вы определить причину такого поведения каждого из типов соединений?

ЧАСТЬ С

- ⑪ Соедините цепь, как показано на рисунке 2.2. Какое воздействие оказывает поворот регулятора на устройстве, обозначенном как «потенциометр»?

Обсуждение

- ① Ответьте на вопросы, возникшие в ходе проведения эксперимента. Особое внимание уделите вопросам с пометкой «ПРИМЕЧАНИЕ» .
- ② Какие закономерности были выявлены при работе ламп в последовательном соединении? А в параллельном?
- ③ Какие закономерности были выявлены при работе аккумуляторов в последовательном соединении? А в параллельном?
- ④ Какую функцию выполняет потенциометр в цепи?

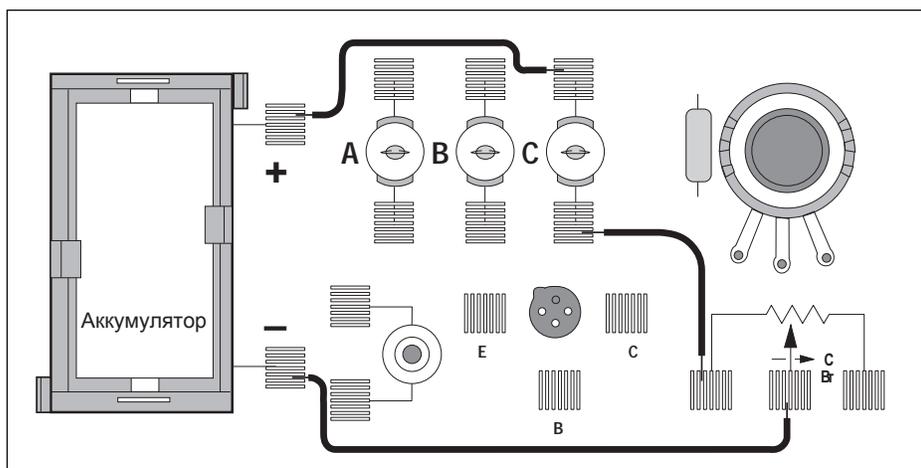


Рисунок 2.2

Эксперимент 3. Закон Ома

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Лаборатория электронная переменного и постоянного тока: провода
- Аккумулятор D-типа
- Мультиметр
- Диаграммная бумага

Цель

Цель данного эксперимента — изучить три переменные, входящие в состав математического соотношения, известного как «закон Ома».

Порядок действий

- ① Выберите один из выданных вам резисторов. При помощи рисунка на следующей странице определите значение сопротивления и запишите его в первой колонке таблицы 3.1.
- ② **ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА:** соберите цепь по схеме, показанной на рисунке 3.1а, зажав ножки резистора в двух пружинах в экспериментальной секции экспериментальной панели.

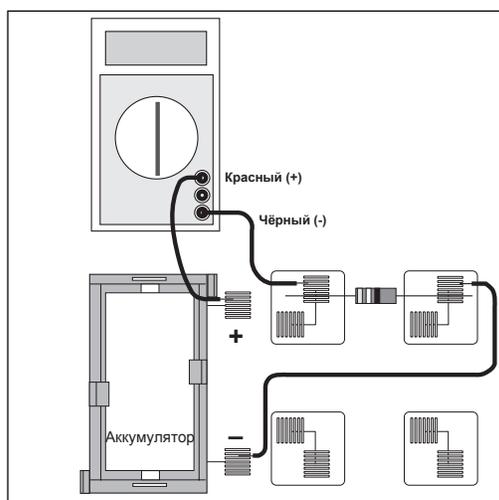


Рисунок 3.1а

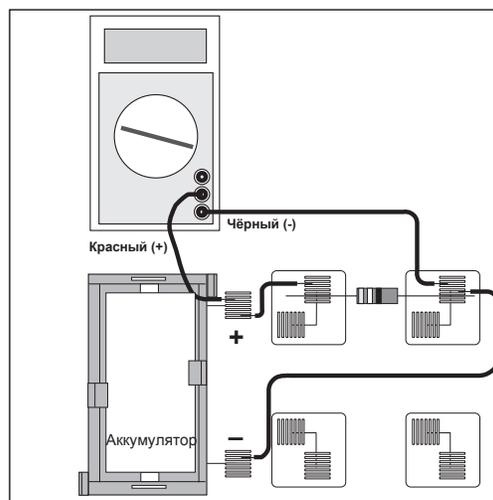


Рисунок 3.1б

- ③ Установите для мультиметра диапазон 200 мА и обратите внимание на специальные соединения, которые необходимы для измерения силы тока. Соедините цепь и снимите показания силы тока, проходящего через резистор. Запишите это значение во вторую колонку таблицы 3.1.
- ④ Извлеките резистор и выберите другой. Запишите значение его сопротивления в таблицу 3.1, а затем измерьте и запишите силу тока, как указано в шагах 2 и 3. Продолжайте выполнять данное действие со всеми резисторами, которые были выданы вам. Поскольку у вас имеется несколько резисторов с одинаковыми параметрами, храните их надлежащим образом — эти резисторы понадобятся вам в дальнейшем.
- ⑤ **ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ:** отсоедините мультиметр и подсоедините провод от положительного выхода аккумулятора (пружины) непосредственно к первому используемому резистору так, как показано на рисунке 3.1б. Переведите мультиметр на шкалу 2 В постоянного тока и подсоедините щупы так, как показано на рисунке 3.1б. Измерьте напряжение на резисторе и запишите его в таблицу 3.1.
- ⑥ Извлеките резистор и выберите другой, использованный ранее. Запишите напряжение на нём в таблицу 3.1 аналогично тому, как это указано на шаге 5. Продолжайте выполнять аналогичные действия со всеми резисторами.

Обработка данных

- ① Постройте график зависимости силы тока (вертикальная ось) от сопротивления.
- ② Для каждого набора данных вычислите соотношение напряжения и сопротивления. Сопоставьте вычисленные значения с результатами измерений силы тока.

Таблица 3.1

Сопротивление, Ом	Ток, А	Напряжение, В	Напряжение и сопротивление

Обсуждение

- ① Судя по графику, каково математическое соотношение между силой тока и сопротивлением?
- ② Закон Ома утверждает, что сила тока зависит от соотношения напряжения и сопротивления. Соответствуют ли ваши данные этому утверждению?
- ③ Каковы возможные источники экспериментальных погрешностей в данном эксперименте? Как вы думаете, они уменьшают или увеличивают значения ваших результатов?

Справочный материал

Чёрный	0		
Коричневый	1		
Красный	2		
Оранжевый	3		
Жёлтый	4		
Зелёный	5		
Голубой	6		
Синий	7		
Серый	8		
Белый	9		

	Четвёртая полоса	
Нет	±20 %	
Серебряная	±10 %	
Золотая	±5 %	
Красная	±2 %	

Эксперимент 4. Сопротивление в цепях

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока: резисторы
- Мультиметр

Цель

Цель данного эксперимента — начать экспериментировать с переменными, которые влияют на работу электрической цепи. Это первая часть из серии из трёх лабораторных работ.

Порядок действий

- ① Выберите три резистора с одинаковыми параметрами. Запишите их цвета в таблицу 4.1 ниже. Обозначения резисторов — № 1, № 2 и № 3.
- ② Определите параметры по кодовой маркировке каждого из резисторов. Запишите каждое значение в колонку с обозначением «Сопротивление из кода» в таблицу 4.1. Запишите в колонку «Допуск» значение допуска, указанное цветом четвёртой полосы.
- ③ Используйте мультиметр для измерения сопротивления каждого из трёх резисторов. Занесите эти значения в таблицу 4.1.
- ④ Определите процентное значение экспериментальной погрешности каждого из сопротивлений и занесите его в соответствующую колонку.

$$\text{Экспериментальная погрешность} = \left(\frac{|\text{Измеренное} - \text{из маркировки}|}{\text{из маркировки}} \right) * 100\%.$$

Таблица 4.1

	Цвет				Сопротивление из маркировки	Измеренное сопротивление	Погрешность, %	Допуск
	1	2	3	4				
№ 1								
№ 2								
№ 3								

- ⑤ Теперь подсоедините три резистора ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО (см. рисунок 4.1) при помощи пружинных зажимов на экспериментальной панели для простой фиксации ножек резисторов. Измерьте значения сопротивления комбинаций резисторов, которые указаны на схеме, прикасаясь щупами мультиметра в точках на концах стрелок.

Последовательное соединение

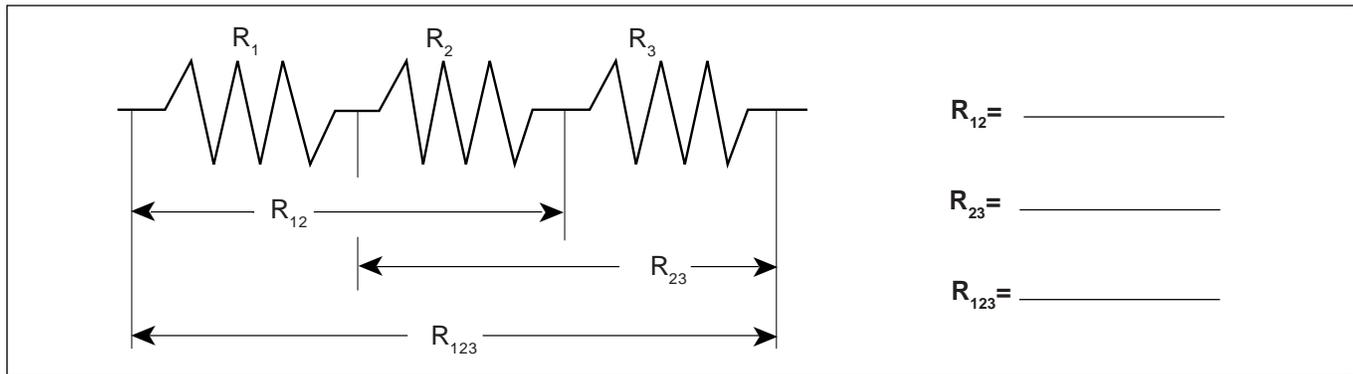


Рисунок 4.1

- ⑥ Соберите ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ ЦЕПЬ, сначала используя сочетания из двух резисторов, а затем используя все три резистора. Измерьте и запишите значения для данных цепей.

Параллельное соединение

► **ПРИМЕЧАНИЕ:** также подключите R_{13} , заменив R_2 на R_3 .

- ⑦ Соберите СМЕШАННУЮ ЦЕПЬ, как это указано ниже, и измерьте сопротивление с различным подключением сопротивлений. Существует ли закономерность между этими различными подключениями и подключениями, выполненными вами ранее?

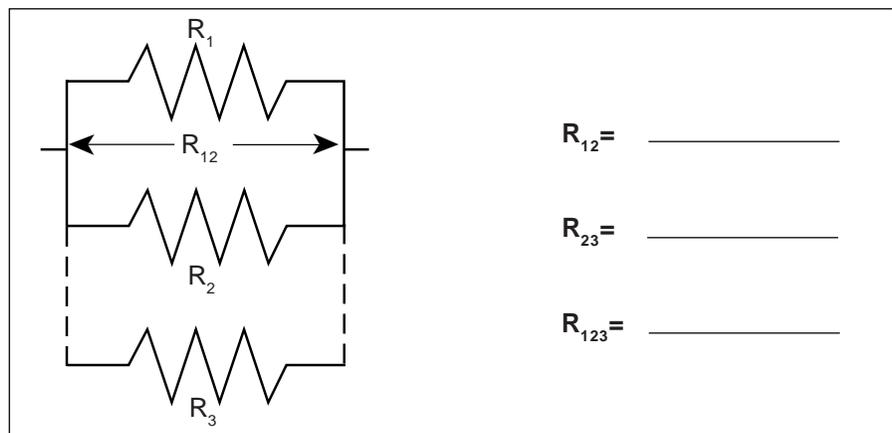


Рисунок 4.2

Смешанное соединение

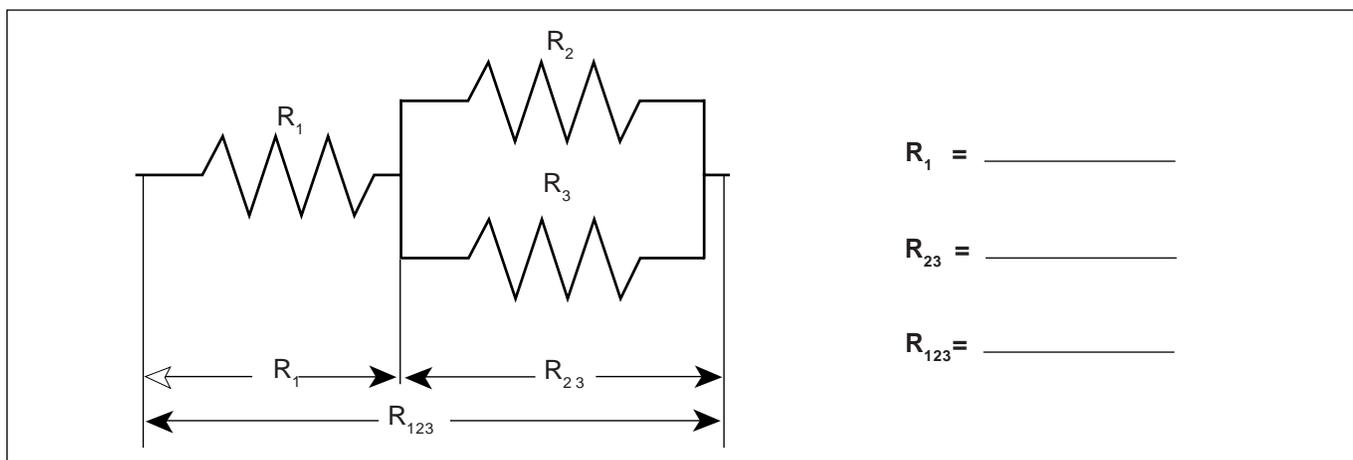


Рисунок 4.3

- ⑧ Выберите три резистора с разными значениями. Повторите описанные выше шаги 1–7 и впишите данные в соответствующие клетки таблицы на следующей странице. В данном случае резисторы мы назвали «А», «В» и «С».

Таблица 4.2

	Цвет				Сопротивление из маркировки	Измеренное сопротивление	Погрешность, %	Допуск
	1	2	3	4				
A								
B								
C								

Последовательное соединение

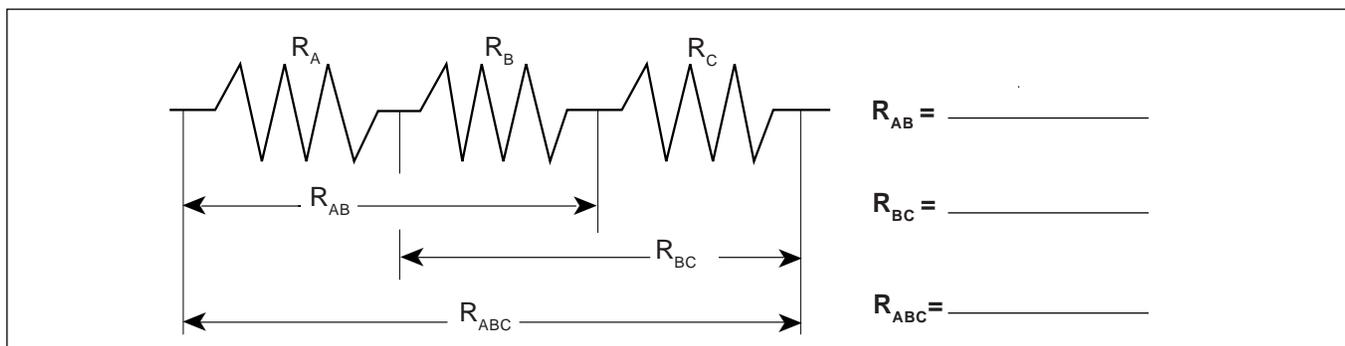


Рисунок 4.4

Параллельное соединение

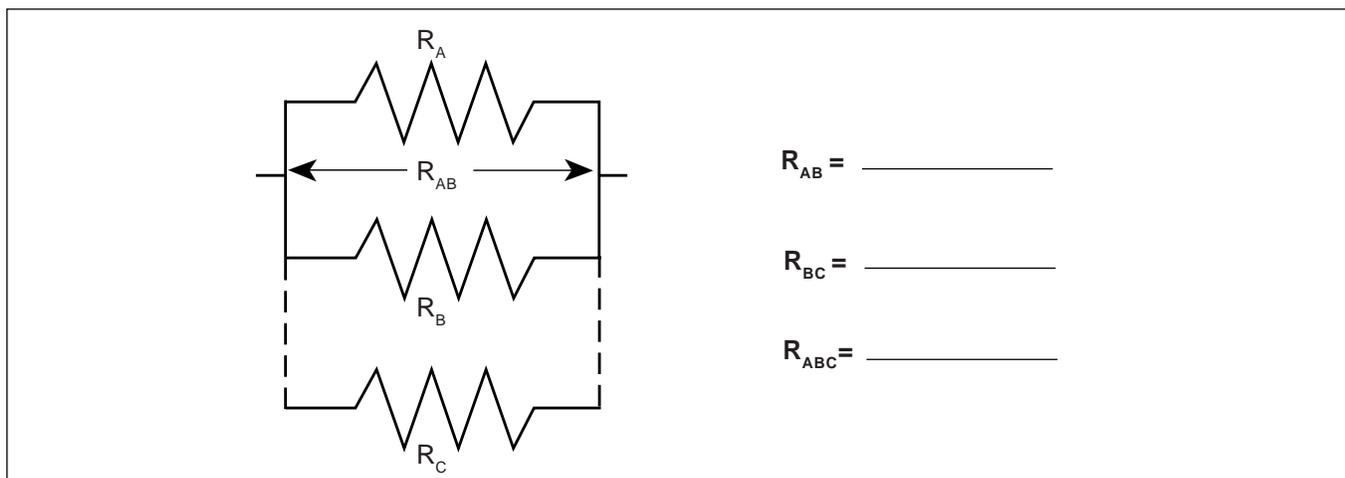


Рисунок 4.5

► ПРИМЕЧАНИЕ: также подключите R_{AC} , заменив R_B на R_C .

Смешанное соединение

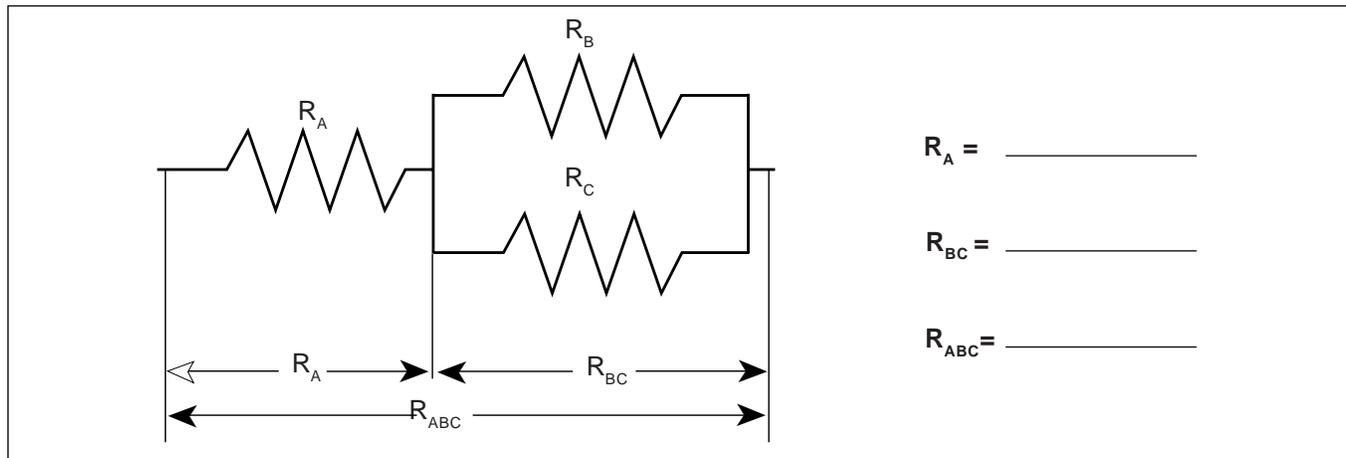


Рисунок 4.6

Обсуждение

- ① Как соотносится процент погрешности с допуском, указанным на маркировке резисторов?
- ② Какое правило было выявлено при комбинировании сопротивлений с одинаковыми параметрами в последовательном соединении? А в параллельном соединении? Подтвердите ваши выводы с помощью полученных вами данных.
- ③ Какое правило было выявлено при комбинировании сопротивлений с разными параметрами в последовательном соединении? А в параллельном соединении? Подтвердите ваши выводы с помощью полученных вами данных.
- ④ Какое правило было выявлено для общего сопротивления при добавлении резисторов в последовательное соединение? А в параллельное соединение? Подтвердите ваши выводы с помощью полученных вами данных.

Удлинение цепи

Используя резисторы одинаковых значений, как в предыдущих опытах, а также дополнительные провода для построения цепи, разработайте ещё одну комбинацию из трёх резисторов и проверьте значения сопротивлений. В соответствии с полученными указаниями постройте цепи с четырьмя и пятью резисторами, проверяя основные правила, которые вы установили в ходе этого эксперимента.

Справочный материал

Чёрный Коричневый Красный Оранжевый Жёлтый Зелёный Голубой Синий Серый Белый	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		Четвёртая полоса Нет ±20 % Серебряная ±10 % Золотая ±5 % Красная ±2 %
---	--	--	--

Рисунок 4.7

Эксперимент 5. Напряжение в цепях

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока: провода, резисторы
- Аккумулятор D-типа
- Мультиметр

Цель

Цель данного эксперимента — продолжить эксперименты с переменными, которые влияют на работу электрической цепи. Перед выполнением этого эксперимента необходимо завершить эксперимент 4.

Порядок действий

- ① Как показано на рисунке ниже, подсоедините последовательно три одинаковых резистора, которые вы использовали в эксперименте 4, при помощи пружинных зажимов для простой фиксации ножек резисторов. Соедините два провода с элементом D-типа, обращая внимания на полярность.

- ② Теперь, используя функцию измерения напряжения на вольтметре, определите напряжение в каждом отдельном резисторе и в различных сочетаниях резисторов. Соблюдайте полярность щупов (красный — «+», чёрный — «-»).
Запишите показания ниже.

Последовательное соединение

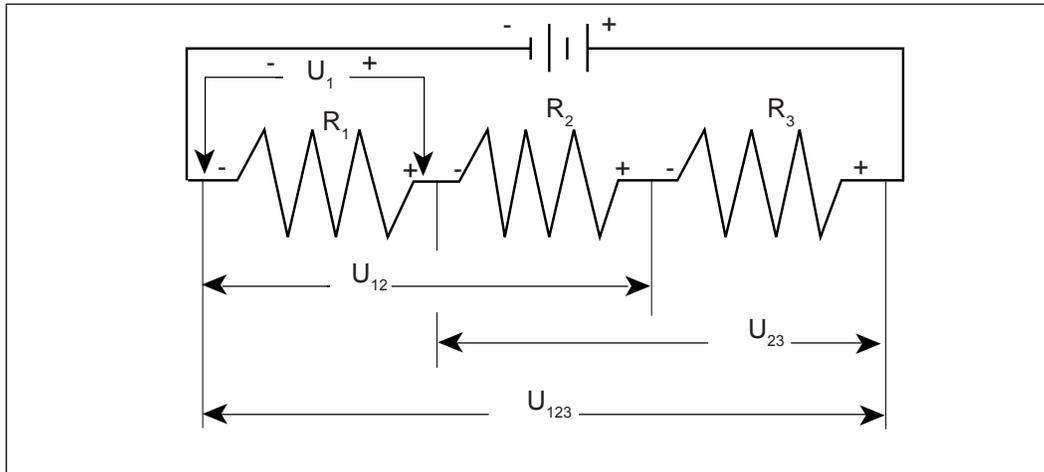


Рисунок 5.1

$$R_1 = \underline{\hspace{2cm}} \qquad U_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$R_2 = \underline{\hspace{2cm}} \qquad U_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$R_3 = \underline{\hspace{2cm}} \qquad U_3 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$R_{12} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad U_{12} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$R_{23} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad U_{23} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$R_{123} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad U_{123} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- ③ Затем соберите параллельную схему, как указано ниже, при помощи всех трёх резисторов. Измерьте напряжение на каждом резисторе и на разных комбинациях резисторов, как и прежде соблюдая полярность.

► **ПРИМЕЧАНИЕ:** в процессе выполнения измерений все три резистора должны быть включены в цепь. Запишите значения, как показано на рисунке снизу.

Параллельное соединение

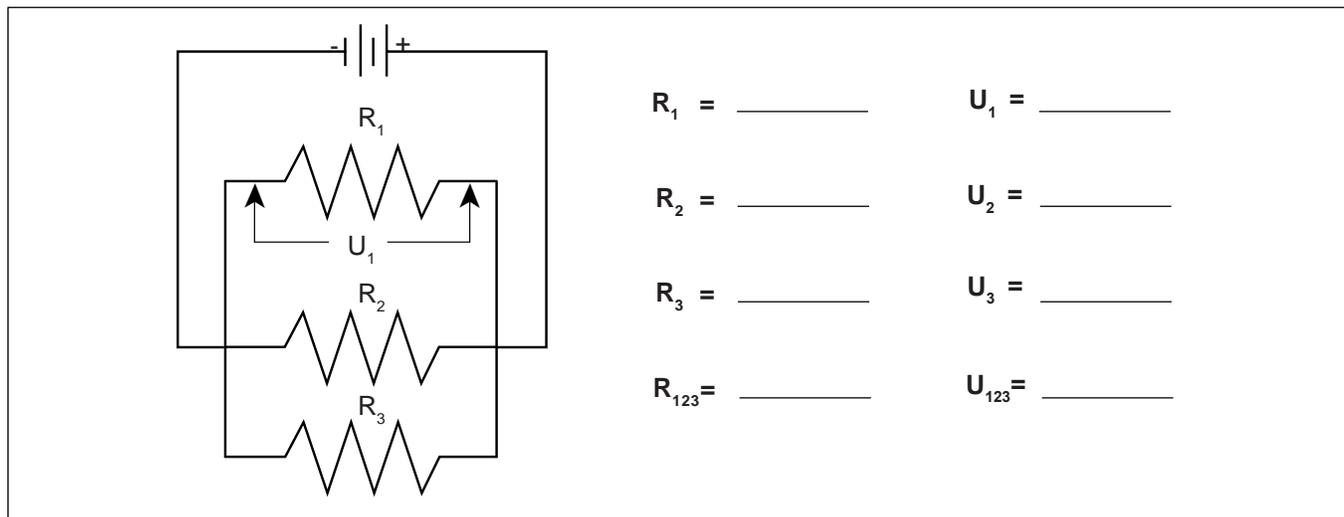


Рисунок 5.2

- ④ Затем соедините цепь по нижеуказанной схеме и запишите измеренные значения напряжения. На данном шаге можно использовать показания сопротивления, полученные в ходе эксперимента 4.

Смешанное соединение

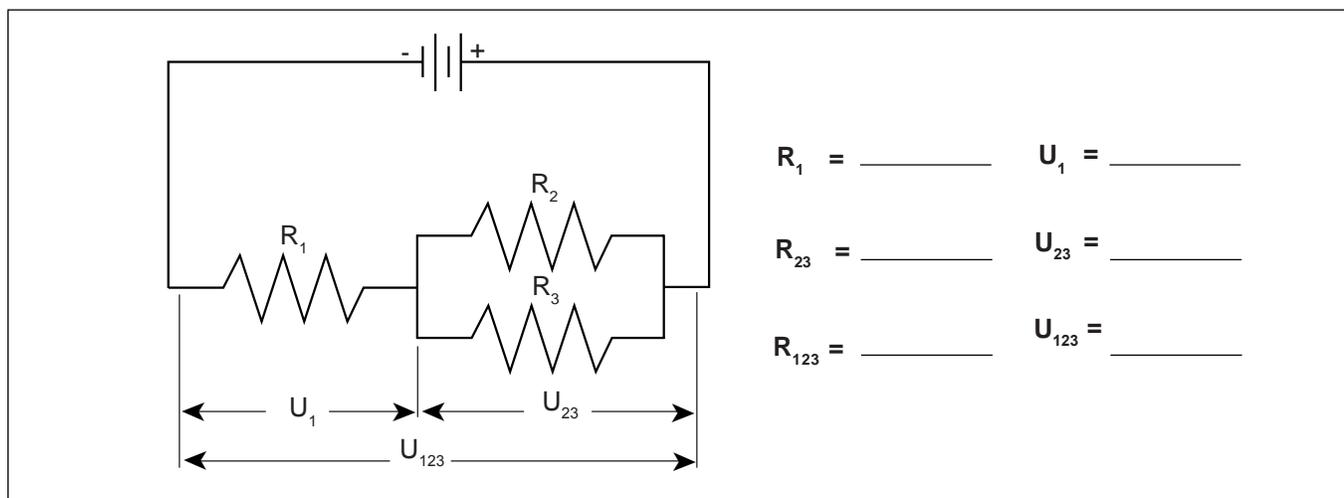


Рисунок 5.3

- ⑤ Используя три резистора с разными параметрами, которые применялись в эксперименте 4, составьте цепь, как показано на рисунке ниже. Повторите действия по измерению напряжения, как это описано выше в шагах 1–4. Используйте резисторы «А», «В» и «С» из эксперимента 4.

Последовательное соединение

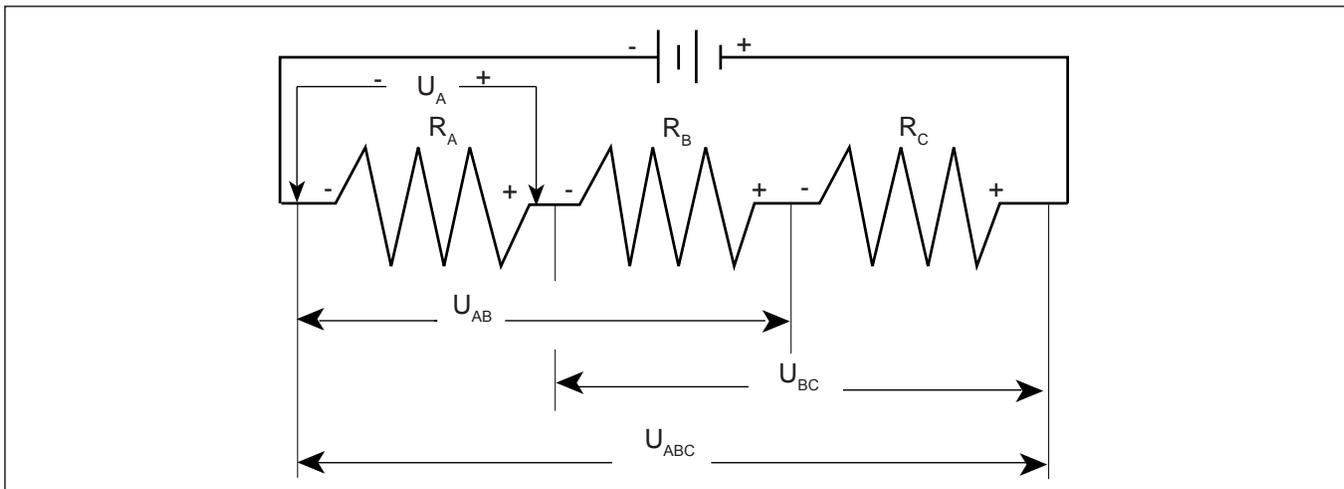
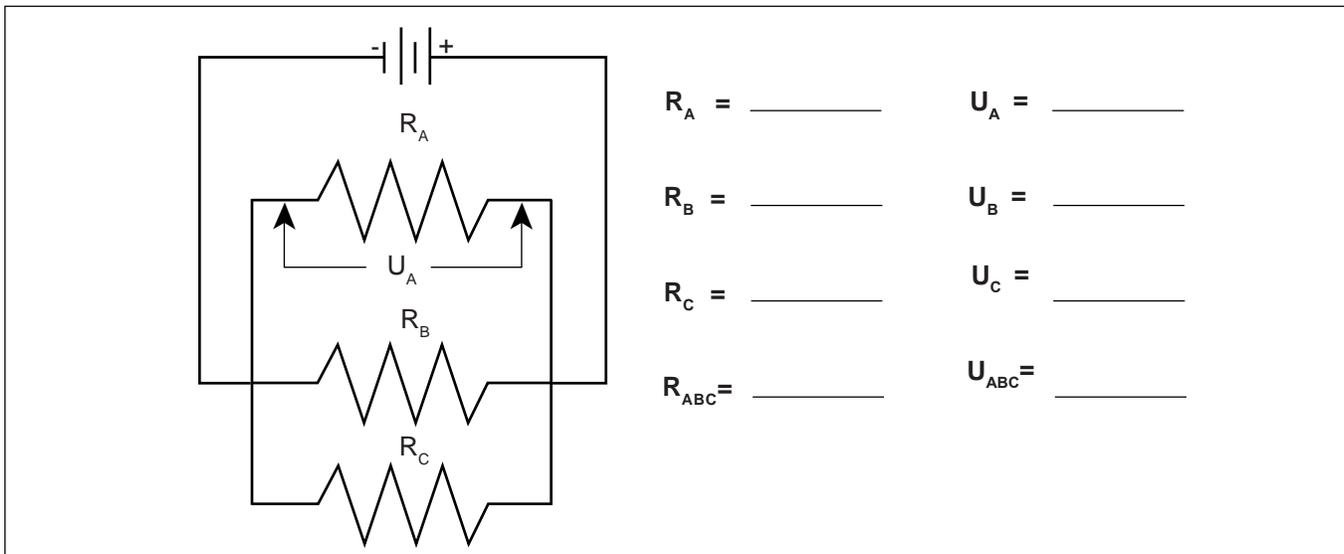


Рисунок 5.4

$R_A =$ _____	$U_A =$ _____
$R_B =$ _____	$U_B =$ _____
$R_C =$ _____	$U_C =$ _____
$R_{AB} =$ _____	$U_{AB} =$ _____
$R_{BC} =$ _____	$U_{BC} =$ _____
$R_{ABC} =$ _____	$U_{ABC} =$ _____

Параллельное соединение



$R_A =$ _____	$U_A =$ _____
$R_B =$ _____	$U_B =$ _____
$R_C =$ _____	$U_C =$ _____
$R_{ABC} =$ _____	$U_{ABC} =$ _____

Рисунок 5.5

Смешанное соединение

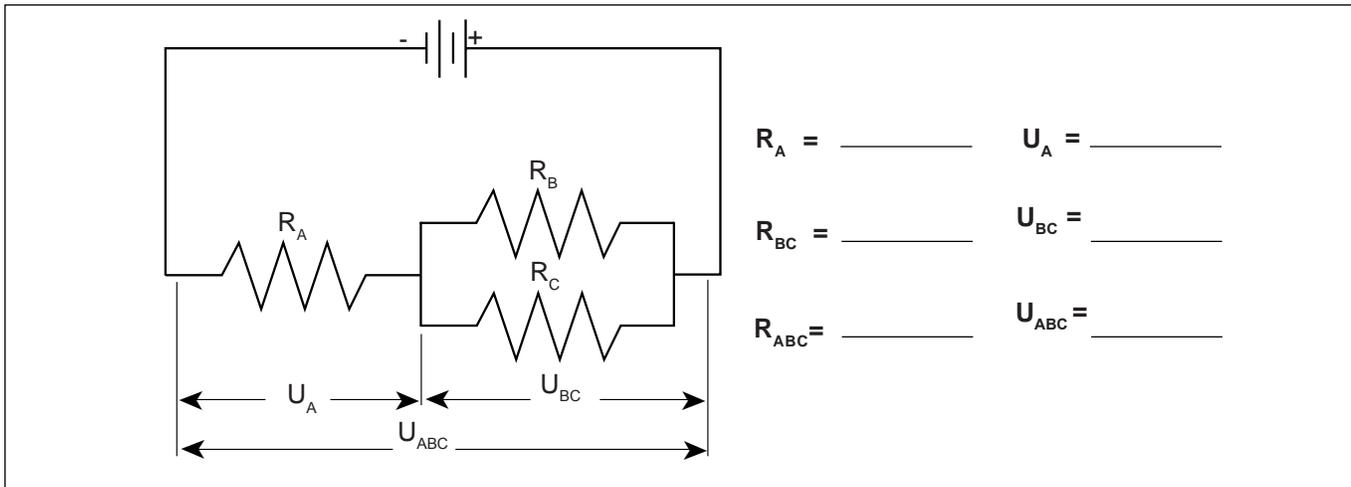


Рисунок 5.6

Обсуждение

На основании данных, занесенных в таблицу из рисунка 5.1, определите схему распределения напряжения одинаковых резисторов при последовательном соединении. На основании данных, зафиксированных в таблице на рисунке 5.4, определите схему распределения напряжения разных резисторов при последовательном соединении? Существует ли какая-либо закономерность между величиной сопротивления и значением итогового напряжения?

Используя данные из таблицы рисунка 5.2, определите схему распределения напряжения при параллельном соединении одинаковых резисторов. Используя данные из таблицы рисунка 5.5, определите схему распределения напряжения при параллельном соединении разных резисторов. Существует ли какая-либо закономерность между величиной сопротивления и значением итогового напряжения?

Ведут ли себя значения напряжения при смешанном соединении (см. рисунки 5.3 и 5.6) аналогично тому, как они ведут себя в цепях с исключительно параллельным или последовательным соединением? Если нет, то скажите, какие правила вы наблюдали в ходе эксперимента.

Эксперимент 6. Сила тока в цепях

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока: резисторы и провода
- Аккумулятор D-типа
- Цифровой мультиметр

Цель

Цель данного эксперимента — продолжить эксперименты с переменными, которые влияют на работу электрических цепей.

Порядок действий

- ① Как показано на рисунке ниже, подсоедините последовательно три одинаковых резистора, которые вы использовали в экспериментах 3 и 4, при помощи пружинных зажимов для простой фиксации ножек резисторов. Соедините два провода с элементом D-типа, обращая внимания на полярность.

Последовательное соединение

- ② Теперь поменяйте настройки в ЦММ таким образом, чтобы он мог измерять силу тока. Необходимо использовать шкалу с максимальным значением 200 мА. Соблюдайте полярность (красный провод — «+», чёрный провод — «-»). Для измерения силы тока необходимо разорвать цепь и обеспечить прохождение тока через измерительный прибор. Отсоедините питающий провод от положительной клеммы аккумулятора и подсоедините его к красному выходу (+) прибора. Подсоедините чёрный провод («-») к R_1 в том месте, где изначально был подсоединен питающий провод. Занесите показания в таблицу как I_0 (см. рисунок 6.2).

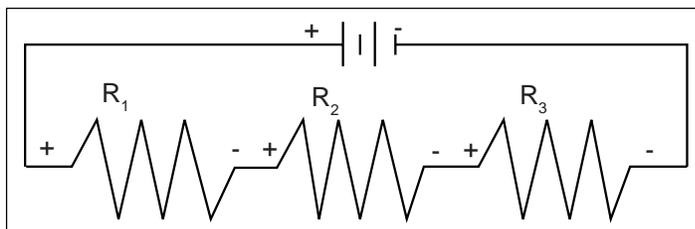


Рисунок 6.1

- ③ Затем переводите ЦММ в положения, указанные на рисунке 6.3, каждый раз разрывая цепь и точно измеряя силу тока в каждом из них. Заполните таблицу в верхней части следующей страницы.

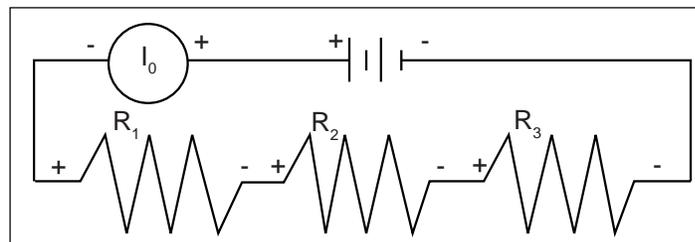


Рисунок 6.2

► **ПРИМЕЧАНИЕ:** вносите значения экспериментов 3 и 4 в таблицу на следующей странице.

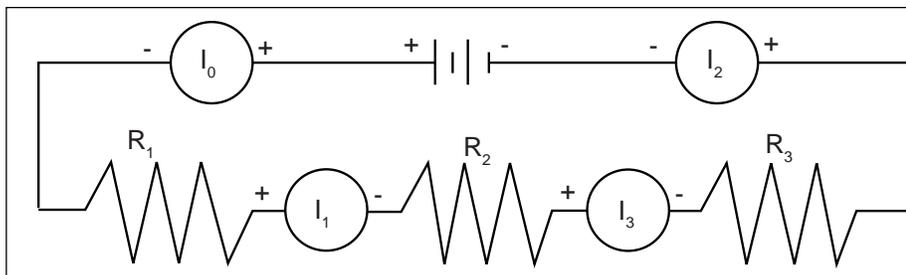


Рисунок 6.3

$R_1 =$ _____	$I_0 =$ _____	$U_1 =$ _____
$R_2 =$ _____	$I_1 =$ _____	$U_2 =$ _____
$R_3 =$ _____	$I_2 =$ _____	$U_3 =$ _____
$R_{12} =$ _____	$I_3 =$ _____	$U_{12} =$ _____
$R_{23} =$ _____		$U_{23} =$ _____
$R_{123} =$ _____		$U_{123} =$ _____

- ④ Соберите параллельную схему, как показано на рисунке ниже, при помощи всех трёх резисторов. Обратитесь к указаниям по использованию ЦММ в качестве амперметра на шаге 2. Для начала подключите его к положительному выходу аккумулятора и узлу параллельного соединения — это позволит вам измерить I_0 . Затем разорвите разные ветви параллельного соединения и измерьте силу тока отдельных ветвей. Запишите измеренные значения в таблицу ниже.

Параллельное соединение

$R_1 =$ _____	$I_0 =$ _____	$U_1 =$ _____
$R_2 =$ _____	$I_1 =$ _____	$U_2 =$ _____
$R_3 =$ _____	$I_2 =$ _____	$U_3 =$ _____
$R_{123} =$ _____	$I_3 =$ _____	$U_{123} =$ _____
	$I_4 =$ _____	

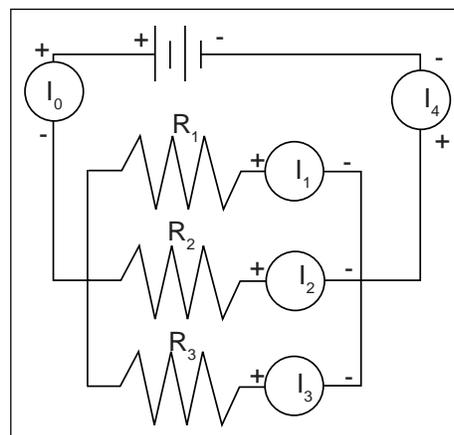


Рисунок 6.4

Обсуждение

На основании первого набора данных сделайте вывод об изменении силы тока при последовательном соединении. На данном этапе вы должны подытожить характер изменения всех трёх величин при в последовательном соединении: сопротивление, напряжения и силы тока.

На основании второго набора данных сделайте выводы об изменении силы тока при параллельном соединении. На данном этапе вы должны уметь подытоживать общие закономерности изменений значений силы тока, напряжения и сопротивления при параллельном соединении.

Эксперимент 7. Правила Кирхгофа

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока: резисторы, провода
- 2 аккумулятора D-типа
- Цифровой мультиметр (ЦММ)

Цель

Цель данного эксперимента — экспериментальная демонстрация правил Кирхгофа для электрических цепей.

Порядок действий

- ① Соедините цепь, как показано на рисунке 7.1а, при помощи любого из имеющихся резисторов, кроме **резистора на 10 Ом**. Используйте рисунки 7.1b и 7.1а как справочные при записи данных. Запишите значения сопротивления в таблицу на следующей странице. При отсутствии тока (отсоединённом аккумуляторе) замерьте общее сопротивление цепи между точками «А» и «В».
- ② При подсоединённом аккумуляторе (прохождении тока через цепь) замерьте напряжение на каждом резисторе и запишите значения в таблицу ниже. На электрической схеме, изображённой на рисунке 7.1b, укажите, какая сторона каждого резистора положительна по отношению к другой, отмечая первую символом «+».
- ③ Затем измерьте силу тока на каждом резисторе. Разорвите цепь и подключите в неё последовательно ЦММ для снятия показаний. Запишите каждое отдельное показание силы тока, а также величины силы тока, входящего или выходящего из основной части цепи (I_T).

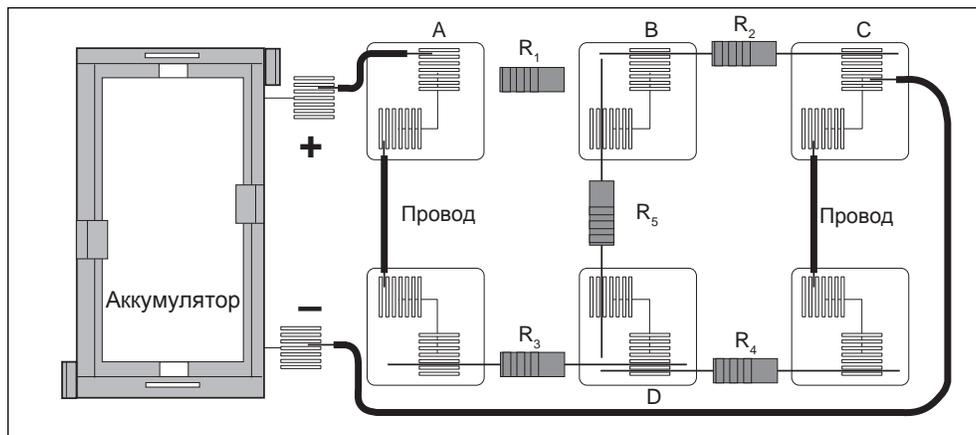


Рисунок 7.1а

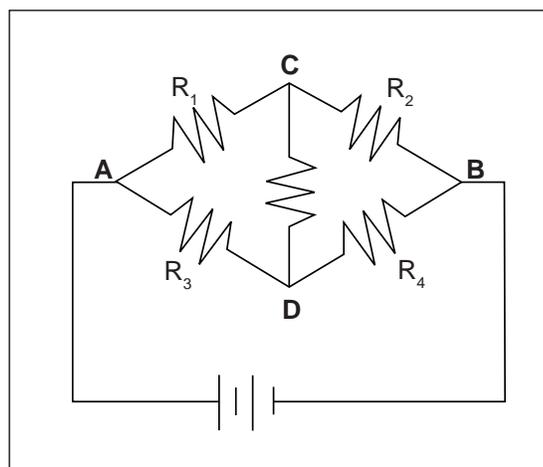


Рисунок 7.1b

Таблица 7.1

Сопротивление, Ом	Напряжение, В	Ток, мА
R_1	U_1	I_1
R_2	U_2	I_2
R_3	U_3	I_3
R_4	U_4	I_4
R_5	U_5	I_5
R_T	U_T	I_T

Анализ

- ① Определите значение результирующего тока, входящего или выходящего из четырех узлов в цепи.
- ② Определите значение перепада результирующего напряжения минимум в трёх из шести (или другого количества) замкнутых контуров. Запомните: если растёт потенциал, то рассматривайте перепад напряжения как положительный («+»), а если уменьшается — то как отрицательный («-»).

Обсуждение

Используйте результаты вашего эксперимента для анализа построенной вами цепи на предмет правил Кирхгофа. Конкретизируйте и *приведите доказательства* ваших выводов.

Удлинение цепи

Постройте цепь, как показано ниже, и выполните процедуру, аналогичную проведенной ранее. Проанализируйте цепь на предмет правил Кирхгофа. Если возможно, то попытайтесь сначала теоретически рассчитать параметры цепи и сравните их с измеренными значениями.

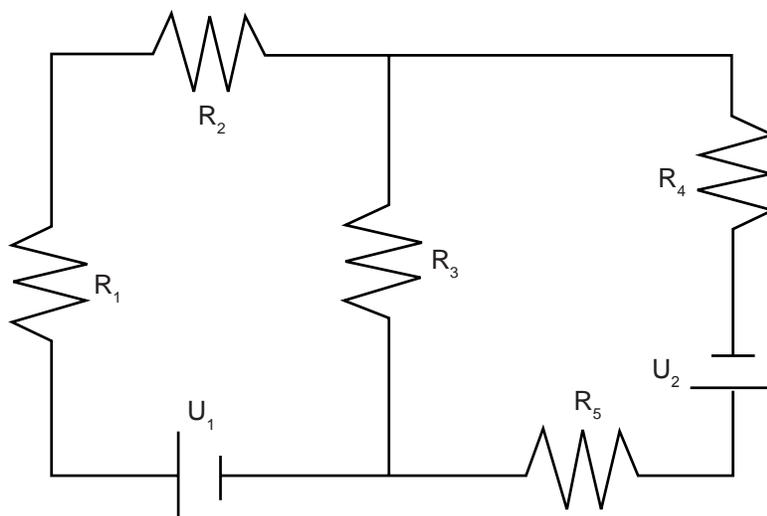


Рисунок 7.2

Эксперимент 8. Конденсаторы в цепях

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока: конденсаторы, резисторы, провода
- Аккумулятор D-типа
- Секундомер или таймер с точностью 0,1 сек.
- Ламповый вольтметр (ЛВ), электрометр ES-9054В или цифровой мультиметр (ЦММ) со входным сопротивлением 10 МОм или выше.

Цель

Цель данного эксперимента — изучить поведение конденсаторов в RC-цепях и способы соединения конденсаторов.

Порядок действий

- ① Соберите цепь, как показано на рисунке 8.1, используя резистор на 100 кОм и конденсатор на 100 мкФ. Подключите цепь так, как показано на рисунке 8.1. Подсоедините ЛВ таким образом, чтобы выход заземления был на стороне конденсатора, соединенного с отрицательным выходом аккумулятора, и настройте его на максимальное значение показания 1,5 В постоянного тока.

- ② Начните эксперимент без напряжения на конденсаторе и с выключенным переключателем. Если в конденсаторе есть остаточное напряжение, то используйте провод, чтобы закоротить оба выхода конденсатора, тем самым разрядив его. Соедините концы провода в точках «В» и «С» так, как показано на рисунке 8.1, чтобы разрядить конденсатор.

- ③ Включите переключатель, нажав и удерживая кнопку. Проследите за показаниями напряжения на ЛВ, т. е. за значением напряжения на конденсаторе. Опишите характер изменения напряжения.

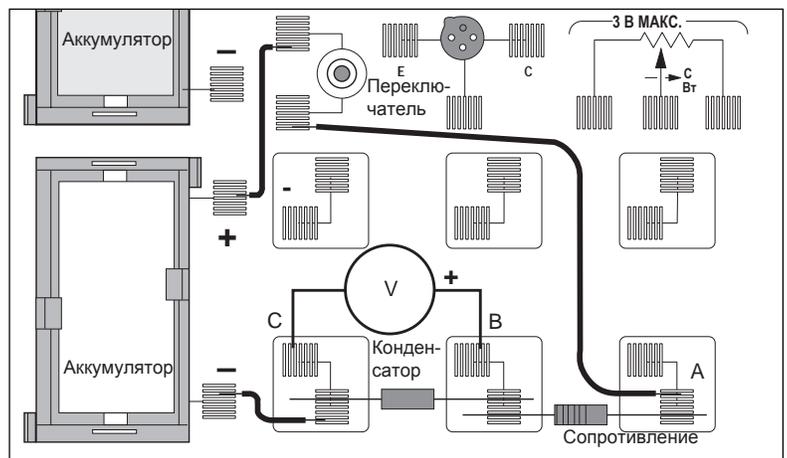


Рисунок 8.1

- ④ Если вы отпустите кнопку, тем самым выключив переключатель, то конденсатор должен удерживать текущее напряжение, незначительно снижая его с течением времени. Это указывает, что заряд, который вы подали на конденсатор, не имеет выхода, т. е. нет нейтрализации избыточного заряда на двух пластинах.
- ⑤ Соедините провод между точками «А» и «С» в цепи — это позволит отвести заряд обратно через резистор. Зафиксируйте показания напряжения на ЛВ при прохождении заряда в обратном направлении. Опишите характер падения напряжения в данной ситуации. Целесообразно будет создать график, отображающий характер повышения и падения напряжения во времени.
- ⑥ Повторите шаги 3–5, пока не изучите процесс зарядки и разрядки конденсатора через сопротивление.
- ⑦ Затем повторите шаги 3–5, на этот раз фиксируя время, за которое показание увеличивается с 0,0 В до 0,95 В в ходе зарядки (t_c), а также время, за которое показания уменьшаются с 1,5 В до 0,55 В в ходе разрядки (t_p). Запишите значения времени, сопротивления и ёмкости в таблицу 8.1 в верхней части следующей страницы.

ТАБЛИЦА 8.1

Испытание	Сопротивление	Ёмкость	t_c	t_D
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

- ⑧ Замените конденсатор на 100 мкФ конденсатором на 330 мкФ. Повторите шаг 7 и запишите время зарядки и разрядки в таблицу 8.1. При наличии третьего значения, также занесите его в таблицу.
- ⑨ Вернитесь к исходному конденсатору на 100 мкФ, но поместите в цепь резистор на 220 кОм. Повторите шаг 7 и запишите данные в таблицу 8.1. При наличии третьего резистора, используйте его в контуре, фиксируя данные.

► ПРИМЕЧАНИЕ

- ① Как увеличение ёмкости влияет на время зарядки и разрядки? Какое математическое соотношение существует между временем и ёмкостью?
 - ② Как увеличение сопротивления в цепи влияет на время зарядки и разрядки? Какое математическое соотношение существует между временем и сопротивлением?
- ⑩ Верните исходный резистор на 100 кОм в цепь, но используйте конденсатор на 100 мкФ, последовательно подключив его с конденсатором на 330 мкФ. Повторите шаг 7 и запишите данные в таблицу 8.2.
 - ⑪ Теперь повторите шаг 7, но при параллельном соединении конденсаторов на 100 мкФ и 330 мкФ.

$$R = \text{_____} \quad C_1 = \text{_____} \quad C_2 = \text{_____}$$

Таблица 8.2

Тип цепи	t_c	t_D
Последовательное соединение		
Параллельное соединение		

► ПРИМЕЧАНИЕ: как влияет последовательное соединение конденсаторов на общую ёмкость? Что происходит при параллельном соединении (см. таблицу 8.2)?

Эксперимент 9. Диоды

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока: резистор на 1 кОм, резистор на 330 Ом, диод 1N4007, провода
- Цифровой мультиметр (ЦММ)
- 2 аккумулятора D-типа

Цель

Цель данного эксперимента заключается в экспериментальном определении эксплуатационных характеристик полупроводниковых диодов.

Порядок действий

- ① Соберите цепь по схеме, изображённой на рисунке 9.1а, при помощи выданного вам диода 1N4007 и резистора на 1 кОм. Используйте рисунки 9.1а и 9.1б как справочные при записи данных. Обращайте внимание на ориентацию диода: тёмная полоса должна располагаться ближе к точке «В».
- ② Отрегулируйте потенциометр во включённом положении переключателя с подачей тока в цепь, создав напряжение 0,05 В между точками «В» и «С» (U_{BC}). Измерьте напряжение на диоде (U_{AB}). Запишите полученные значения в левую часть таблицы 9.1 в колонку «Напряжение прямого смещения».
- ③ Отрегулируйте потенциометр, создав следующие значения для U_{BC} : 0,1, 0,2, 0,3 и 2,0 В. Для каждого из них запишите оба значения напряжения.
- ④ Извлеките резистор на 1 кОм и замените его резистором на 330 Ом. Повторите шаги 3 и 4, начиная со значений напряжения 0,3, 0,4 и 2,0 В. Запишите U_{BC} и U_{AB} для каждого случая.
- ⑤ Поменяйте ориентацию диода на противоположную. Установите напряжение диода (U_{AB}) на значения 0,5, 1,0 и 3,0 В. Для каждого из них измерьте напряжение резистора (U_{BC}). Запишите эти значения в колонку «Напряжение обратного смещения».

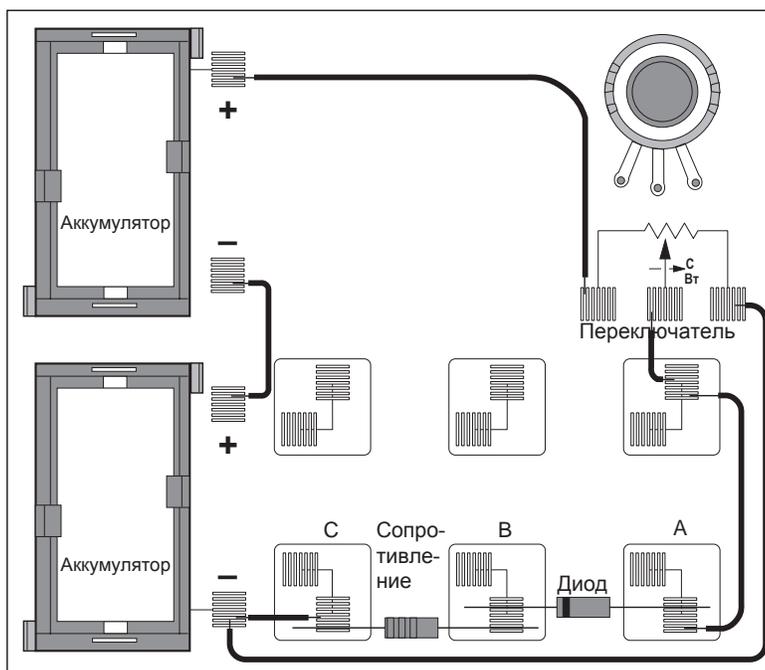


Рисунок 9.1а

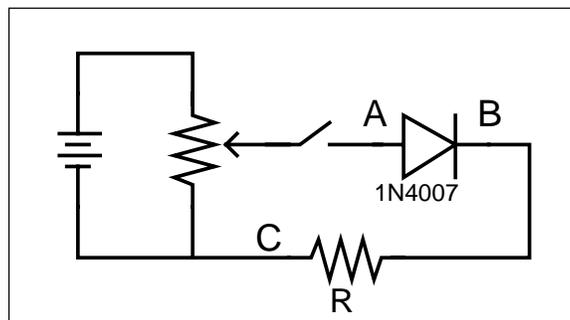


Рисунок 9.1б

Анализ

- ① Определите ток (I) при каждой настройке, разделив напряжение на резисторе (U_{BC}) на сопротивление. Поменяйте резисторы и убедитесь в том, что вы сменили делитель напряжения.
- ② Постройте график зависимости силы тока (вертикальная ось) от напряжения на диоде, продлив его на второй квадрант, чтобы он охватил отрицательные напряжения на диоде.

Обсуждение

Обсудите форму кривой полученного графика и то, как работа полупроводникового диода изменяет её. Отличалось ли работа диода на шаге 5 от работы на шагах 3 и 4? На шагах 3 и 4 диод имел «прямое смещение», а на шаге 5 — «обратное». На основании полученных данных, что вы можете сказать о значении данных терминов? Как можно использовать диоды?

Таблица выборочных данных

Тип диода _____

Напряжение прямого смещения

Напряжение обратного смещения

Таблица 9.1

R, Ом	$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	I, мА	R, Ом	$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	I, мА

Удлинения цепи

- ① Если у учителя имеется зенеровский диод, проведите вышеописанные исследования на нём. Каковы различия между обычными и зенеровскими диодами?
- ② Возьмите светодиод и проведите исследования повторно. Каковы различия между обычными диодами и светодиодами?

Эксперимент 10. Транзисторы

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока: резистор на 1 кОм, резистор на 100 Ом, n-p-n-транзистор 2N3904, провода
- 2 аккумулятора D-типа
- Цифровой мультиметр (ЦММ)
- Опционально: дополнительный цифровой мультиметр

Цель

Цель данного эксперимента заключается в экспериментальном определении эксплуатационных характеристик транзистора.

Порядок действий

- 1 Соберите цепь по схеме, показанной на рисунке 10.1а при помощи выданного транзистора 2N3904, резистора R_1 на 1 кОм и резистора R_2 на 100 Ом. Используйте рисунки 10.1а и 10.1б как справочные при записи данных. Обратите внимание на ножки транзистора: они должны соответствовать маркировке, указанной возле гнезда на чертеже.

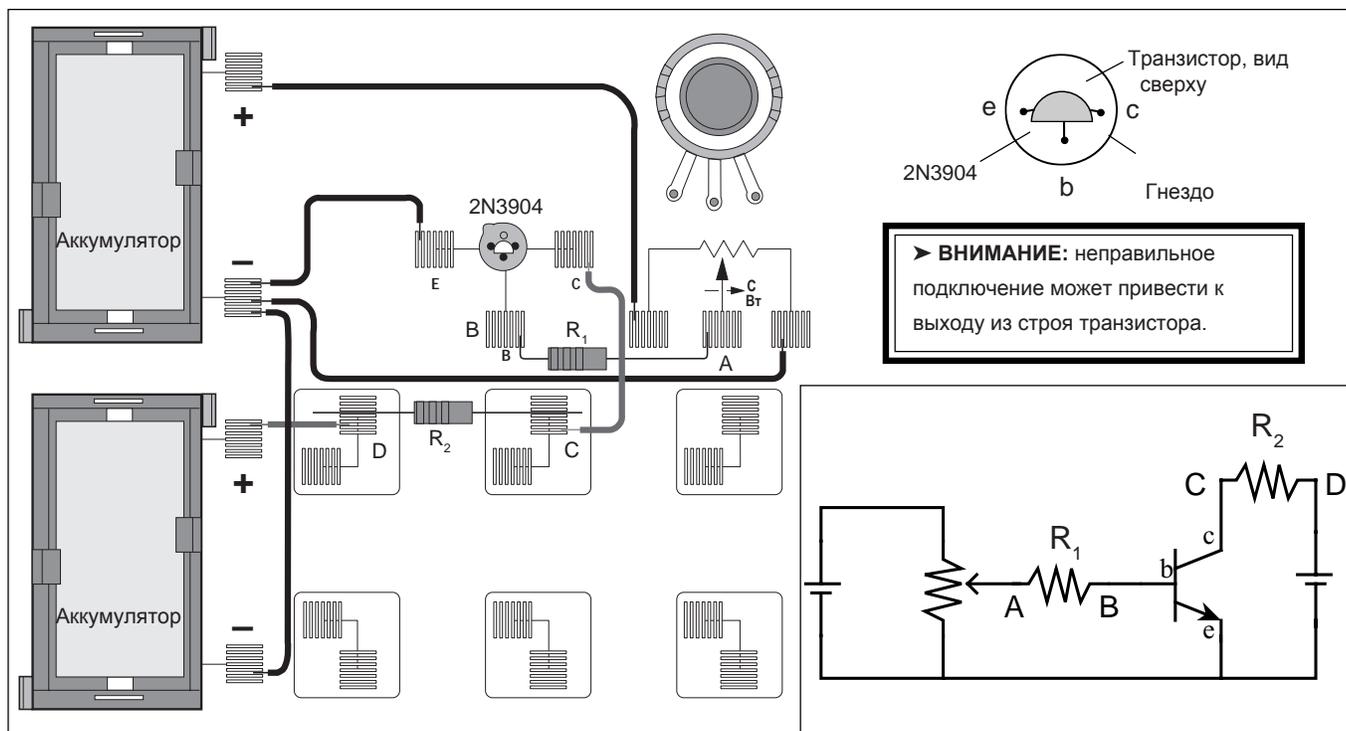


Рисунок 10.1а

Рисунок 10.1б

- 2 Отрегулируйте потенциометр, чтобы показания между точками «А» и «В» достигли примерно 0,002 В (2,0 мВ). Затем снимите напряжение между точками «С» и «D». Запишите полученные показания в таблицу. Примите к сведению, что U_{AB} , делённое на R_1 , даёт значение тока, входящего в базу транзистора, а U_{CD} , делённое на R_2 , даёт значение тока, протекающего в коллекторной части цепи.
- 3 Отрегулируйте потенциометр таким образом, чтобы для значения U_{AB} устанавливались следующие показания, и каждый раз определяйте и записывайте соответствующие значения U_{CD} : 0,006, 0,010, 0,015, 0,020, 0,025, 0,030, 0,035, 0,040, 0,045, 0,050, 0,055, 0,060, 0,080, 0,100, 0,150, 0,200 и 0,250 В. Установите U_{AB} на 0,000 В.

Анализ

① Для каждого набора показаний вычислите

$$I_B = U_{AB} / R_1 \text{ и } I_C = U_{CD} / R_2$$

Запишите все показания силы тока в мА.

- ② Составьте график зависимости I_C (вертикальная ось) от I_B . Если вы обнаружили участок, на котором необходимо найти дополнительные точки для прокладывания кривых или отображения неожиданных изменений, вернитесь на шаг 2 и выполните соответствующие измерения.
- ③ Какая форма у кривой графика? Есть ли у него прямолинейные участки? Проходит ли он через начало координат? Почему ответ положительный или почему ответ отрицательный? Сравните то, как себя ведёт транзистор в начале графика и как себя ведёт диод в эксперименте 9.
- ④ С чем связано выравнивание графика? Люди, которые работают с электрическими приборами, называют такой транзистор «насыщенным». Как можно описать термин «насыщение» на основании вашего эксперимента?
- ⑤ Определите место, в котором прямолинейный участок графика переходит в наклон. Такое соотношение (I_C / I_B) называется коэффициентом усиления по току транзистора. Оно описывает, во сколько раз изменение значения тока коллектора превысит изменение значения тока базы. Запишите значение коэффициента усиления по току вашего транзистора.

Обсуждение

Обсудите ваш график и расчеты из раздела «Анализ».

Таблица выборочных данных

Тип транзистора _____

Таблица 10.1

R_1 , Ом	U_{AB} , В	I_B , мА	R_2 , Ом	U_{CD} , В	I_C , мА

Удлинения цепи

- ① Какое воздействие оказывает изменение сопротивления в цепи коллектора (R_2)? Попробуйте изменить значение на 330 Ом или 560 Ом. Изменилась ли форма кривой графика? Изменился ли коэффициент усиления по току? Как коэффициент усиления зависит от R_2 ?
- ② Возьмите другой транзистор и повторите, произведённые в шагах 2 и 3. При использовании р-п-р-транзистора необходимо поменять местами провода от элементов D-типа, поскольку эмиттер должен быть положительным, а не отрицательным, в то время как коллектор должен быть отрицательным.

Эксперимент 11. Второй закон Ома

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Компьютер и интерфейс *Science Workshop*™
- Усилитель мощности CI-6552A
- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока EM-8656: резистор 10 Ом, лампочка 3 В и провода
- 2 коммутационных шнура с заглушками типа «банан» (например, SE-9750)

Цель

Эксперимент заключается в исследовании соотношения между током и напряжением в омических и неомических материалах.

Теоретическая информация

Ом открыл, что при изменении напряжения, проходящего через резистор, также меняется значение тока на этом резисторе. Он выразил этот закон соотношением $I = U/R$ (сила тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению). Другими словами, при повышении напряжения также повышается сила тока. Коэффициент пропорциональности — значение сопротивления. Сила тока ОБРАТНО пропорциональна сопротивлению. При повышении сопротивления сила тока уменьшается.

Если повышается напряжение в омическом резисторе, график соотношения напряжения и силы тока представляет собой прямую линию (при постоянном сопротивлении). Наклон линии демонстрирует значение сопротивления. В то же время при изменении сопротивления (т. е. если резистор «неомического» характера) график соотношения напряжения и силы тока не будет представлять собой прямую линию. Он будет представлять собой кривую с переменным наклоном.

Для электролампы сопротивление нити будет изменяться в процессе нагрева и охлаждения. При высокой частоте переменного тока нить накала не успевает охлаждаться. Поэтому её температура и сопротивление практически постоянны. На низких частотах переменного тока (менее 1 Гц) нить накала успевает менять температуру. Вследствие этого, сопротивление нити значительно изменится, и меняющаяся в результате сила тока, протекающего через нить накала, представляет интерес для наблюдения.

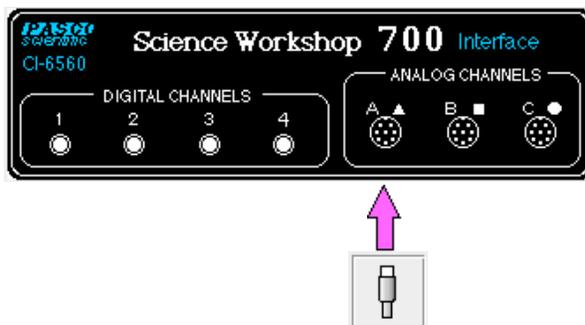
В первой части эксперимента вы будете изучать характеристики резистора на 10 Ом. Во второй части вы будете изучать поведение нити накала небольшой электролампы.

ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ

Часть А. Резистор на 10 Ом.

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера

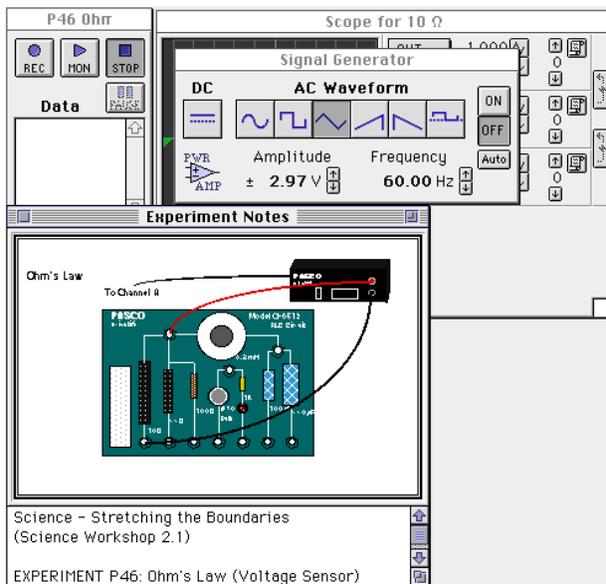
- ① Подсоедините интерфейс *Science Workshop* к компьютеру, включите интерфейс, а затем включите компьютер.
- ② Подключите усилитель мощности в аналоговый канал «А». Подключите шнур питания к разъёму на задней панели усилителя мощности, а затем — к розетке питания.



③ В папке «Physics» («Физика») экспериментальной библиотеки интерфейса *Science Workshop* откройте документ:

Macintosh — «P46 Ohm's Law» / Windows — «P46_OHM.SWS»

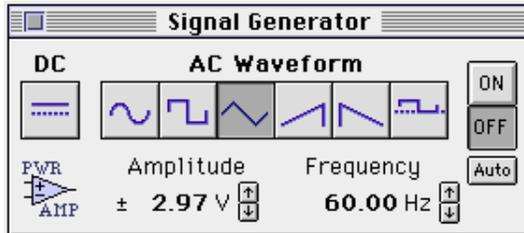
При открытии документа отобразится окно Score («Осциллоскоп») с графиком зависимости напряжения (B) от силы тока (A) и окно Signal Generator («Генератор сигнала»), на котором осуществляется управление усилителем мощности.



► **ПРИМЕЧАНИЕ:** для получения справочной информации откройте окно Experiment Notes («Примечания к экспериментам»). Чтобы переместить экран на передний план, щелкните на его окне или выберите имя экрана из списка в конце меню Display («Экран»). Измените параметры окна Experiment Setup («Настройки эксперимента»), нажав на поле Zoom («Изменить масштаб») или на кнопку Restore («Восстановить») в правом верхнем углу окна.

④ Параметры окна Sampling Options («Режимы измерения») в данном эксперименте следующие: Periodic Samples («Периодическая выборка») — Fast at 4000 Hz («Быстрая на частоте 4000 Гц»). Этот параметр устанавливается на экране Score («Осциллоскоп») при помощи функции Sweep Speed («Управление скоростью развертки»).

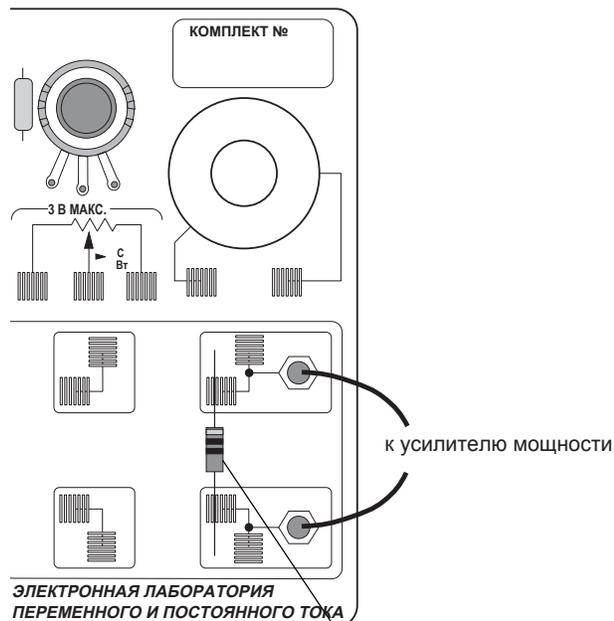
- ⑤ Параметры окна Signal Generator («Генератор сигналов»): выходное значение напряжения — 3,00 В при 60,00 Гц, форма кривой переменного тока — треугольная.



- ⑥ Экран Score («Осциллоскоп») настраивается на отображение выходного напряжения на вертикальной оси при 1,000 В/дел. и силы тока («Аналог. А») на горизонтальной оси при 0,100 В/дел.
- ⑦ Расположите экран Score («Осциллоскоп») и окно Signal Generator («Генератор сигналов») таким образом, чтобы можно было видеть их информацию одновременно.

ЧАСТЬ II. Калибровка датчика и настройка оборудования

- Усилитель мощности калибровать не требуется.
- ① Установите резистор на 10 Ом в пару пружин, ближайших к разъёмам типа «банан» в нижнем правом углу панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока.
- ② Подсоедините идущие от выхода усилителя коммутационные шнуры с заглушками типа «банан» к разъёмам типа «банан» на панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока.
- ③ Включите переключатель питания на задней панели усилителя мощности.

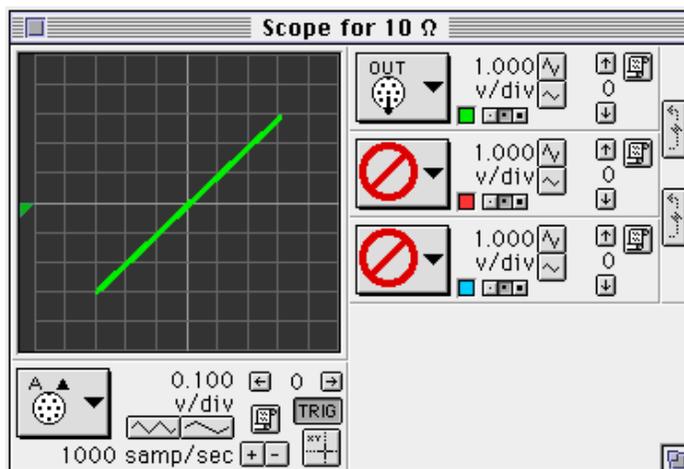


Часть III. Запись данных — резистор на 10 Ом

- ① Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ② Нажмите кнопку MON («Мониторинг» — ) в окне Experiment Setup («Настройки эксперимента») для отслеживания данных. Наблюдайте на экране Score («Осциллоскоп») за значением напряжения и силы тока. Подождите несколько секунд, а затем нажмите кнопку «СТОП» ().
- ③ Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»). Выключите переключатель питания на задней панели усилителя мощности.

10 Ом (коричневый, чёрный, чёрный)

- ④ Выберите экран Scope («Осциллоскоп»).



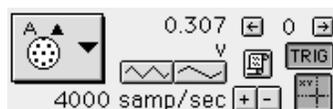
Анализ данных — резистор на 10 Ом

- ① Нажмите на кнопку Smart Cursor («Интеллектуальный курсор» — ) на экране Scope («Осциллоскоп»). Курсор изменит вид на крестообразный. Переместите курсор в область отображения экрана Scope («Осциллоскоп»).

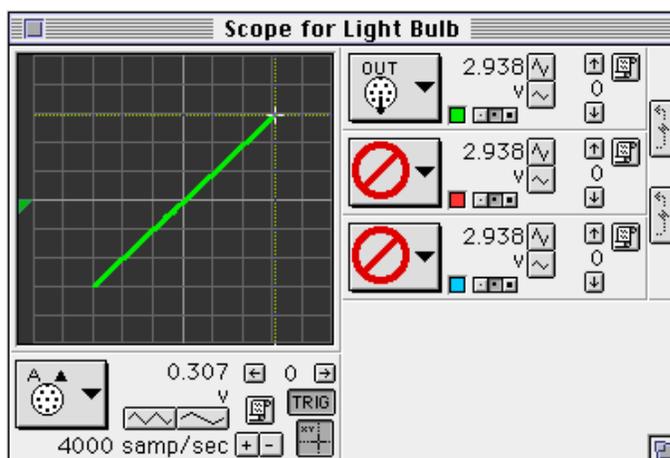
- Координата Y крестообразного курсора отображается возле кнопки Vertical Axis Input («Входной сигнал вертикальной оси»):



- Координата X крестообразного курсора отображается возле кнопки Horizontal Axis Input («Входной сигнал горизонт. оси»):



- ② Используйте координаты точки осциллограммы экрана Scope («Осциллоскоп»), чтобы определить наклон осциллограммы на экране Scope. Зафиксируйте значение наклона.



Наклон (10 Ом) = _____ В/А

Опционально

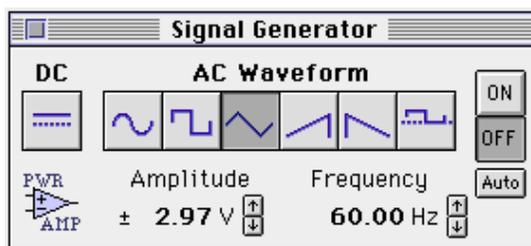
- ① Замените резистор на 10 Ом резистором на 100 Ом.
- ② Нажмите на кнопку Increase Sweep Speed («Увеличить скорость развертки» — ) на экране Score («Осциллоскоп») для установки чувствительности горизонтальной оси на 0,010 В/дел.
- ③ Повторите эксперимент. Зафиксируйте новое значение наклона. Наклон (100 Ом) = _____ В/А

Часть В. Эксперимент с нитью накала

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера для эксперимента с нитью накала

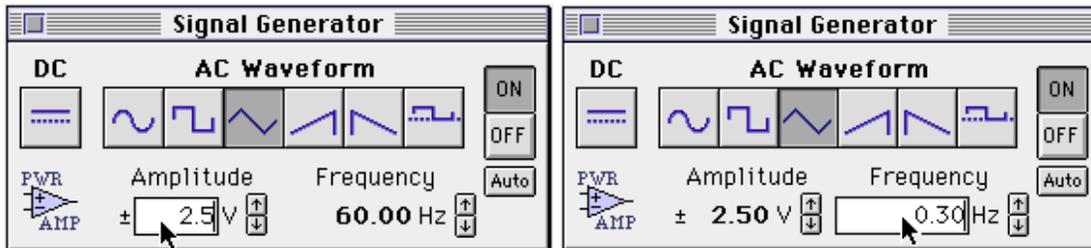
В этой части эксперимента вы будете использовать нить накала лампы в качестве резистора. В разделе «Настройка компьютера» необходимо изменить амплитуду и частоту выходного колебательного сигнала переменного тока. Также необходимо изменить некоторые настройки на экране Score («Осциллоскоп»).

- ① Нажмите на окно Signal Generator («Генератор сигнала») для того, чтобы сделать его активным.



- ② Нажмите на значение Amplitude («Амплитуда»), чтобы выделить его. Введите «2.5» в качестве нового значения. Нажмите клавишу ввода («Enter»).

- ③ Нажмите на параметр Frequency («Частота»), чтобы выделить его. Введите «0.30» в качестве нового значения. Нажмите клавишу ввода («Enter»).



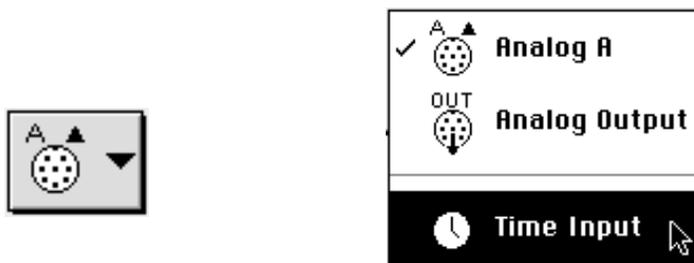
- ④ Нажмите на экран Scope («Осциллоскоп») для его активации.

• Измените скорость выполнения измерений осциллоскопа.

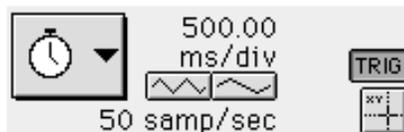
- ⑤ Нажмите на кнопку Horizontal Input («Входной сигнал, горизонт.»). Используйте меню Horizontal Input («Входной сигнал, горизонт.») для выбора функции Time Input («Время входного сигнала») в конце списка.

Кнопка Horizontal Input («Входной сигнал, горизонт.»)

Меню Horizontal Input («Входной сигнал, горизонт.»)



- ⑥ Нажимайте на кнопку Decrease Sweep Speed («Уменьшить скорость развертки» — ) , пока скорость развертки не составит 500,00 мс/дел.



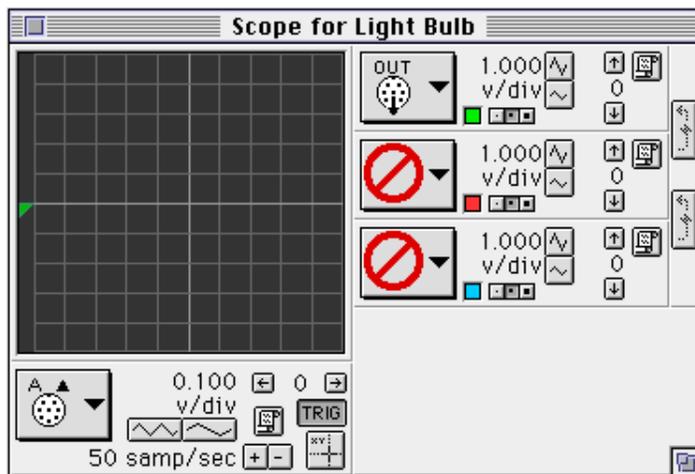
- ⑤ Нажмите на кнопку Horizontal Input («Входной сигнал, горизонт.») ещё раз. Используйте меню Horizontal Input («Входной сигнал, горизонт.») для выбора функции Analog A («Аналог. А») в начале списка.

Кнопка Horizontal Input («Входной сигнал, горизонт.»)

Меню Horizontal Input («Входной сигнал, горизонт.»)

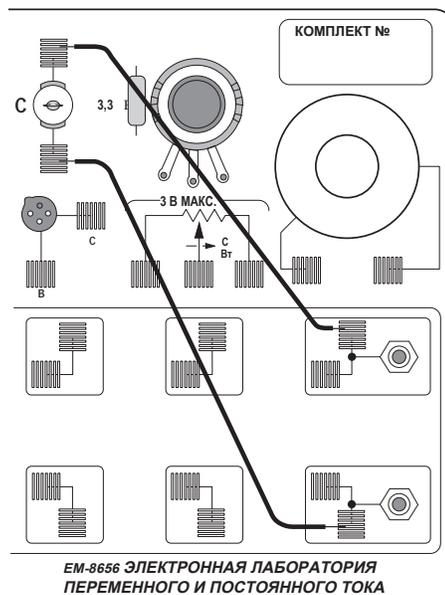


- После внесенных изменений экран Scope («Осциллоскоп») должен выглядеть так, как показано на рисунке ниже:



ЧАСТЬ II. Настройка оборудования для эксперимента с нитью накала

- ① Выньте резистор из пружин на панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока.
- ② Используйте два провода длиной 25 см для создания соединений между компонентных пружин возле гнезд типа «банан» и пружин над и под лампой «С» на 3 В.



Часть III. Запись данных — эксперимент с нитью накала

- ① Включите переключатель питания на задней панели усилителя мощности.
- ② Нажмите кнопку ON («ВКЛ.») в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ③ Нажмите на кнопку MON («Мониторинг») на окне Experiment Setup («Настройки эксперимента») для отслеживания данных. Наблюдайте на экране Scope («Осциллоскоп») за тем, как значение напряжения будет изменяться по отношению к силе тока при проведении эксперимента с нитью накала.
- ④ Подождите несколько секунд, а затем нажмите кнопку STOP («СТОП»).
- ⑤ Нажмите кнопку OFF («ВЫКЛ.») в окне Signal Generator («Генератор сигнала»). Выключите переключатель питания на задней панели усилителя мощности.

Вопросы

- ① Сравните значение наклона при использовании резистора на 10 Ом, как показано на экране Scope («Осциллоскоп») с заявленным значением сопротивления. Другими словами, насколько приближено значение наклона к значению сопротивления?
- ② Почему изменяется наклон осциллограммы лампы накаливания?
- ③ Имеет ли резистор постоянное сопротивление? А лампа? Почему ответ положительный или почему ответ отрицательный?
- ④ Наклон графика для лампы накаливания несимметричен. Почему наклон осциллограммы силы тока при нагреве нити накала отличается от осциллограммы силы тока при её охлаждении?

Эксперимент 12. RC-цепь

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Компьютер и интерфейс *Science Workshop™*
- Усилитель мощности CI-6552A
- Датчик напряжения CI-6503
- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока EM-8656: резистор на 100 Ом и конденсатор на 330 мкФ
- 2 коммутационных шнура с заглушками типа «банан» (например, SE-9750)
- Измеритель LRC (опционально)

Цель

Цель эксперимента — исследование характера изменения напряжения на конденсаторе во время его зарядки и определение ёмкостной временной константы.

Теоретическая информация

При подключении незаряженного конденсатора в источник питания постоянного тока скорость его зарядки снижается с течением времени. Сначала конденсатор заряжается быстро, поскольку уровень заряда на пластинах мал. После накопления заряда на пластинах источник напряжения должен проделать больше работы, чтобы передать дополнительный заряд пластинам, так как пластины уже имеют заряд аналогичной полярности. В результате этого конденсатор заряжается экспоненциально: быстро в начале и медленно в конце (когда конденсатор становится полностью заряжен). Заряд на пластинах в любой момент времени определяется с помощью следующей формулы:

$$q = q_0 \left(1 - e^{-t/\tau} \right),$$

где q_0 — максимальный заряд на пластинах, а τ — ёмкостная временная константа ($\tau = RC$, где R — сопротивление, а C — ёмкость).

► **ПРИМЕЧАНИЕ:** реальная ёмкость конденсатора может отличаться на $\pm 20\%$ от заявленного значения. Если взять предельные значения, то можно увидеть, что при $t = 0$ и $q = 0$ заряда на пластинах изначально не наблюдается. Обратите внимание, что когда t приближается к бесконечности, q приближается к q_0 , что указывает на то, что для полной зарядки конденсатора понадобится бесконечное количество времени.

Время зарядки конденсатора до половины ёмкости называется периодом полузарядки и соотносится с временной константой следующим образом:

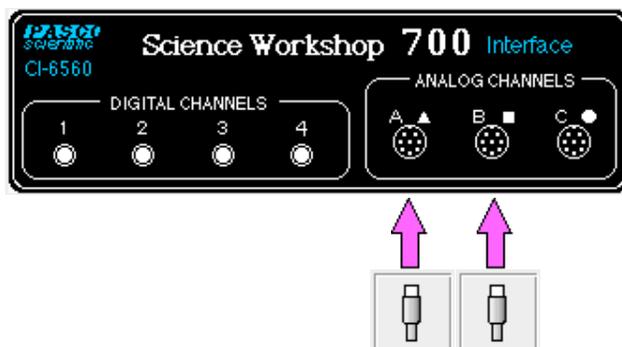
$$t_{1/2} = \tau \ln 2$$

В данном эксперименте заряд конденсатора будет измеряться косвенно посредством измерения напряжения на конденсаторе. Это возможно благодаря тому, что эти два значения пропорциональны друг другу, т. е. $q = CU$.

Порядок действий

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера

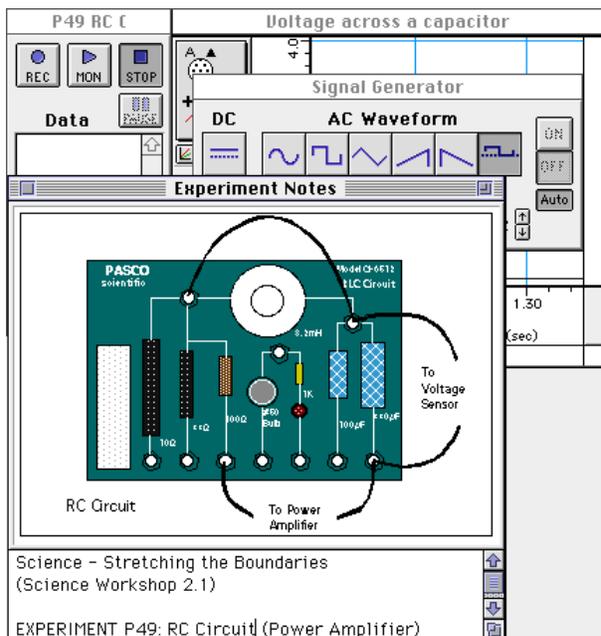
- ① Подсоедините интерфейс *Science Workshop* к компьютеру, включите интерфейс, а затем включите компьютер.
- ② Соедините датчик напряжения с аналоговым каналом «А». Соедините усилитель мощности с аналоговым каналом «В». Подключите шнур питания к разъёму на задней панели усилителя мощности, а затем — к розетке питания.



- ③ В папке «Physics» («Физика») экспериментальной библиотеки интерфейса *Science Workshop* откройте документ:

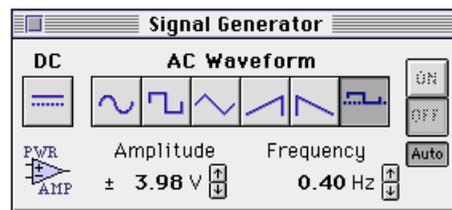
Macintosh — «P49 RC Circuit» / Windows — «P49_RCCI.SWS»

При открытии документа отобразится окно Graph («График») с графиком зависимости напряжения (В) от времени (с) и окно Signal Generator («Генератор сигнала»), на котором осуществляется управление усилителем мощности.



► Примечание: для получения справочной информации откройте окно Experiment Notes («Примечания к экспериментам»). Чтобы переместить экран на передний план, щелкните на его окне или выберите имя экрана из списка в конце меню Display («Экран»). Измените параметры окна Experiment Setup («Настройки эксперимента»), нажав на поле Zoom («Изменить масштаб») или на кнопку Restore («Восстановить») в правом верхнем углу окна.

- ④ Параметры окна Sampling Options («Режимы измерения») в данном эксперименте следующие: Periodic Samples («Периодическая выборка») = Fast at 1000 Hz («быстрая при частоте 1000 Гц»), а Stop Condition («Условие остановки») = 4,00 с.
- ⑤ Параметры окна Signal Generator («Генератор сигналов»): выходное значение напряжения — 4,00 В при 0,40 Гц, форма кривой переменного тока — прямоугольная, только положительная. Выберите для кнопки ON/OFF («ВКЛ./ ВЫКЛ.») режим Auto («Автоматич.»). Это позволит запускать генератор сигнала в автоматическом режиме нажатием MON («Мониторинг») или REC («Запись») и останавливать нажатием STOP («СТОП») или PAUSE («ПАУЗА»).

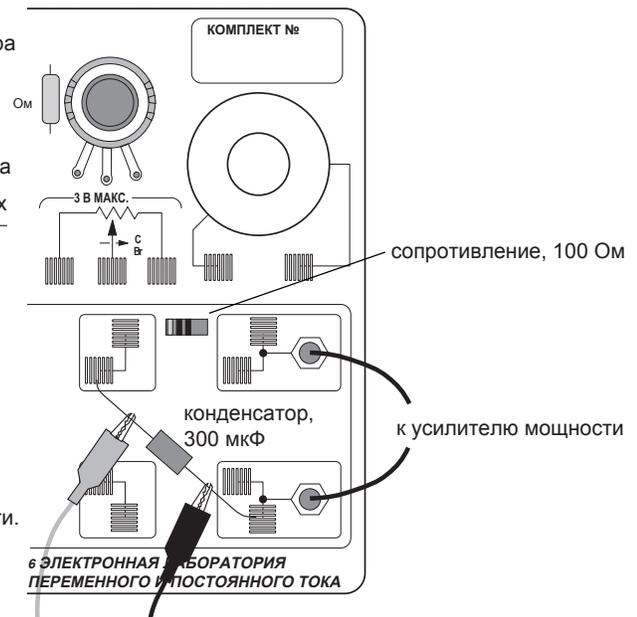


- ⑥ График имеет шкалу 0–5 В на вертикальной оси («Напряжение») и 0–4 с на горизонтальной оси («Время»).

ЧАСТЬ II. Калибровка датчика и настройка оборудования

• Датчик напряжения или усилитель мощности калибровать не требуется

- ① Установите резистор на 100 Ом (коричневый, чёрный, коричневый) в пару пружин, ближайших к верхним гнездам типа «банан» в нижнем правом углу панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока.
- ② Подключите конденсатор на 330 мкФ к пружине у левой части резистора на 100 Ом и к пружине, ближайшей к нижнему гнезду типа «банан».
- ③ Прикрепите зажимы типа «крокодил» на разъёмы типа «банан» датчика напряжения. Прикрепите зажимы типа «крокодил» к проводам на обоих концах конденсатора на 330 мкФ.
- ④ Подсоедините идущие от выхода усилителя коммутационные шнуры с заглушками типа «банан» к разъёмам типа «банан» на панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока.



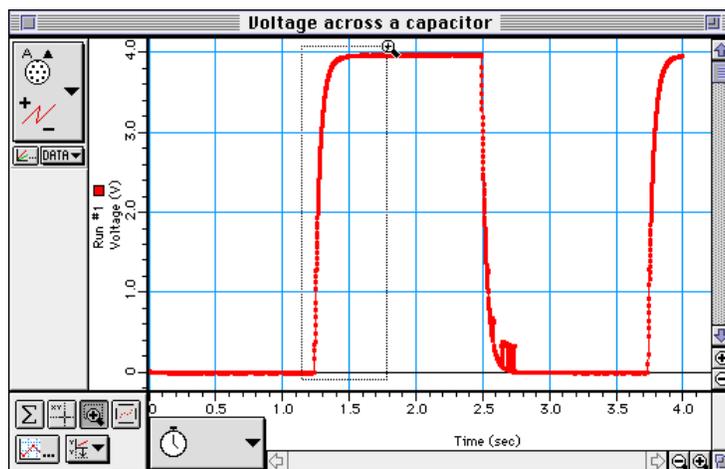
Часть III. Запись данных

- ① Включите переключатель питания на задней панели усилителя мощности.
 - ② Нажмите кнопку «Запись» () в окне Experiment Setup («Настройки эксперимента») для начала записи данных. В момент начала записи данных начнётся автоматическая генерация сигнала усилителем мощности.
 - ③ Запись данных будет продолжаться четыре секунды, а затем автоматически прекратится.
- В таблице данных окна Experiment Setup («Настройки эксперимента») появится надпись Run #1 («Прогон 1»).

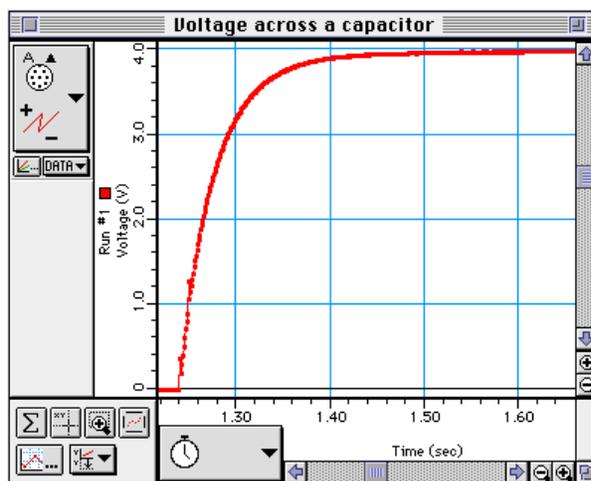
④ По завершении записи данных выключите переключатель на задней панели усилителя мощности.

Анализ данных

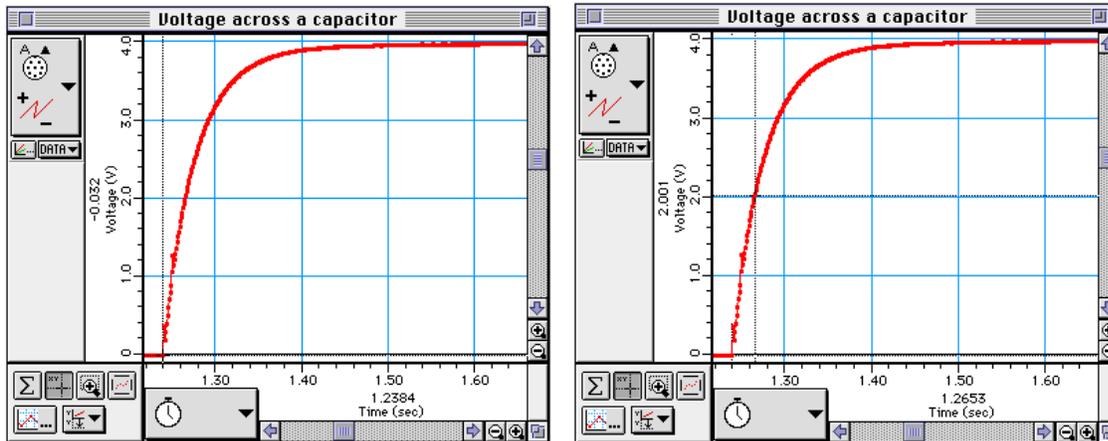
- ① Нажмите на кнопку Autoscale («Автомасштаб» — ) на экране Graph («График»). Это позволит изменить масштаб для того, чтобы представление данных входило на график.
- ② Нажмите на кнопку Magnifier («Увеличитель» — ) . Нажмите и удерживайте кнопку мыши, чтобы обвести прямоугольником участок графика зависимости напряжения от времени, отображающий увеличение напряжения с 0 В до максимального значения.



• Это повысит детализацию графика зависимости напряжения от времени для этого участка.



- ③ Нажмите на кнопку Smart Cursor («Интеллектуальный курсор» — ). При перемещении в зону отображения окна Graph («График») курсор меняет свой вид на крестообразный.
- Координата Y крестообразного курсора отображена возле вертикальной оси.
 - Координата X крестообразного курсора отображена возле горизонтальной оси.
- ④ Переместите курсор в точку на графике, где напряжение начинает расти. Зафиксируйте время, которое отображено в зоне под горизонтальной осью.



- ⑤ Переместите Smart Cursor («Интеллектуальный курсор») в точку, где напряжение приблизительно равно 2,00 В. Зафиксируйте новое время, которое будет отображено под горизонтальной осью.
- ⑥ Вычислите разность между двумя значениями времени и зафиксируйте это значение как «время до половины максимума» или $t_{1/2}$.

Данные

Время начала = _____ с

Время до 2,00 В = _____ с

Время до половины максимума ($t_{1/2}$) = _____ с

- ① Воспользуйтесь формулой $t_{1/2} = \tau \ln 2 = 0,693 RC$ для расчета ёмкости (C) конденсатора.

Ёмкость = _____ Ф

- ② При наличии измерителя ёмкости измерьте ёмкость конденсатора. Используя метод процентного различия, сравните измеренное значение с экспериментальным. Помните, что реальная ёмкость конденсатора может отличаться на $\pm 20\%$ от заявленного значения. Если измеритель ёмкости отсутствует, то используйте метод процентного различия для сравнения заявленного значения (например, 330 мкФ) с экспериментальным.

Вопросы

- ① Время до половины максимума напряжения — период времени, требуемый для зарядки конденсатора наполовину. Согласно результатам вашего эксперимента, сколько времени занимает зарядка конденсатора до уровня 75 % от максимума?
- ② По истечении четырёх периодов «полузаряда» (т. е. периодов до заряда наполовину), до какого процентного значения от максимального уровня будет заряжен конденсатор?
- ③ Каков максимальный заряд конденсатора в эксперименте?
- ④ Назовите несколько факторов, которые могут являться причиной процентного различия между заявленным и экспериментальным значениями?

Эксперимент 13. LR-цепь

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Компьютер и интерфейс *Science Workshop*™
- Усилитель мощности CI-6552A
- 2 датчика напряжения CI-6503
- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока EM-8656: катушка индуктивности и сердечник, резистор на 10 Ом, провода
- Мультиметр
- 2 коммутационных шнура с заглушками типа «банан» (например, SE-9750)
- LCR-измеритель (индуктивность, ёмкость и сопротивление; опционально)

Цель

Эксперимент позволяет отобразить значения напряжения на катушке индуктивности и резисторе в индуктивно-резистивной цепи (LR-цепи), отобразить силу тока, проходящего через катушку индуктивности, и изучить поведение катушки в цепи постоянного тока.

Теоретическая информация

При последовательном соединении катушки индуктивности и резистора с источником постоянного тока установится следующее значение тока:

$$I_{\max} = \frac{U_0}{R}$$

где U_0 — приложенное напряжение, а R — общее сопротивление в цепи. Тем не менее для получения такого установившегося тока требуется время, поскольку катушка индуктивности создает обратную ЭДС в ответ на рост силы тока. Сила тока растет экспоненциально:

$$I = I_{\max} (1 - e^{-(R/L)t}) = I_{\max} (1 - e^{-t/\tau})$$

где L — это индуктивность, а величина $L/R = \tau$ — постоянная времени для катушки индуктивности. Постоянная времени для катушки индуктивности соответствует временному отрезку, требуемому для установления тока. Одно значение постоянной времени для катушки индуктивности — это время, за которое ток возрастает до 63 % от максимального значения (или падает до 37 % от максимального значения). Время, за которое ток возрастает или падает до половины максимума, соотносится с постоянной времени для катушки индуктивности следующим образом:

$$t_{1/2} = \tau(\ln 2)$$

Поскольку формула для напряжения на резисторе — $U_R = IR$, напряжение на резисторе устанавливается экспоненциально:

$$U_R = U_0 (1 - e^{-t/\tau})$$

Поскольку формула для напряжения на катушке индуктивности — $U_L = L \left(\frac{dI}{dt} \right)$, напряжение на катушке индуктивности изначально максимально, а затем снижается экспоненциально:

$$U_L = U_0 e^{-t/\lambda}$$

По прошествии времени $t \gg \lambda$ устанавливается ток I_{max} , а напряжение на резисторе становится равным подаваемому напряжению U_0 . Напряжение на катушке индуктивности будет равно нулю. Если после достижения и поддержания максимального значения тока источник напряжения будет выключен, то сила тока будет снижаться экспоненциально до нуля, в то время как напряжение на резисторе останется прежним, а катушка индуктивности будет вновь создавать обратную ЭДС, которая будет экспоненциально снижаться до нуля. В итоге получаем:

Напряжение постоянного тока включено

$$I = I_{max} \left(1 - e^{-t/\lambda} \right)$$

$$U_R = U_0 \left(1 - e^{-t/\lambda} \right)$$

$$U_L = U_0 e^{-t/\lambda}$$

Напряжение постоянного тока отключено

$$I = I_{max} e^{-t/\lambda}$$

$$U_R = U_0 e^{-t/\lambda}$$

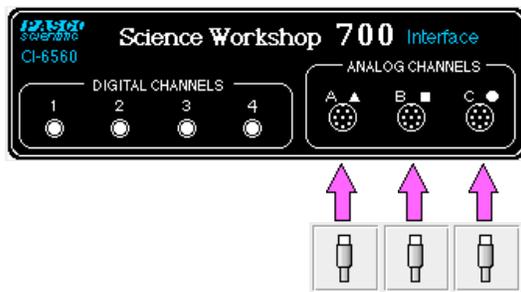
$$U_L = U_0 \left(1 - e^{-(t/\tau)} \right)$$

В любой момент применимо правило Кирхгофа (правило контуров): алгебраическая сумма всех напряжений в последовательно соединенной цепи равна нулю. Другими словами, напряжение на резисторе плюс напряжение на катушке индуктивности составляют в сумме напряжение источника.

Порядок действий

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера

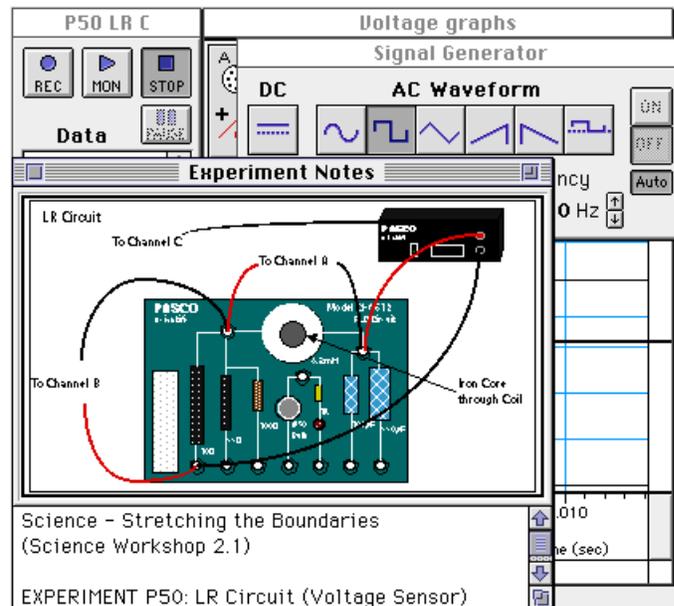
- ① Подсоедините интерфейс *Science Workshop* к компьютеру, включите интерфейс, а затем включите компьютер.
- ② Соедините один датчик напряжения с аналоговым каналом «А». Этот датчик будет называться «датчик напряжения „А“». Соедините второй датчик напряжения с аналоговым каналом «В». Этот датчик будет называться «датчик напряжения „В“».
- ③ Соедините усилитель мощности с аналоговым каналом «С». Подключите шнур питания к разъёму на задней панели усилителя мощности, а затем — к розетке питания.



- ④ В папке «Physics» («Физика») экспериментальной библиотеки интерфейса *Science Workshop* откройте документ:

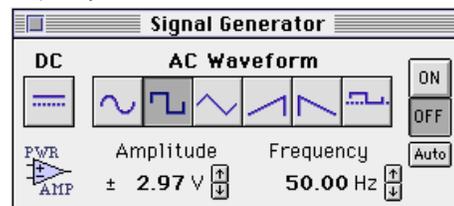
Macintosh — «P50 LR Circuit» / Windows — «P50_LRCL.SWS»

При открытии документа отобразится окно Graph («График») с графиком зависимости напряжения (В) от времени (с) и окно Signal Generator («Генератор сигнала»), на котором осуществляется управление усилителем мощности.



► **ПРИМЕЧАНИЕ:** для получения справочной информации откройте окно Experiment Notes («Примечания к экспериментам»). Чтобы переместить экран на передний план, щелкните на его окне или выберите имя экрана из списка в конце меню Display («Экран»). Измените параметры окна Experiment Setup («Настройки эксперимента»), нажав на поле Zoom («Изменить масштаб») или на кнопку Restore («Восстановить») в правом верхнем углу окна.

- ⑤ Параметры окна Sampling Options («Режимы измерения») в данном эксперименте следующие: Periodic Samples («Периодическая выборка») = Fast at 10000 Hz («быстрая при частоте 1000 Гц»), Start Condition («Условие пуска») — при напряжении аналогового канала «С» 0 В, а Stop Condition («Условие остановки») = 0,02 с.
- ⑥ Параметры окна Signal Generator («Генератор сигналов»): выходное значение напряжения — 3,00 В при 50,00 Гц, форма кривой переменного тока — прямоугольная.

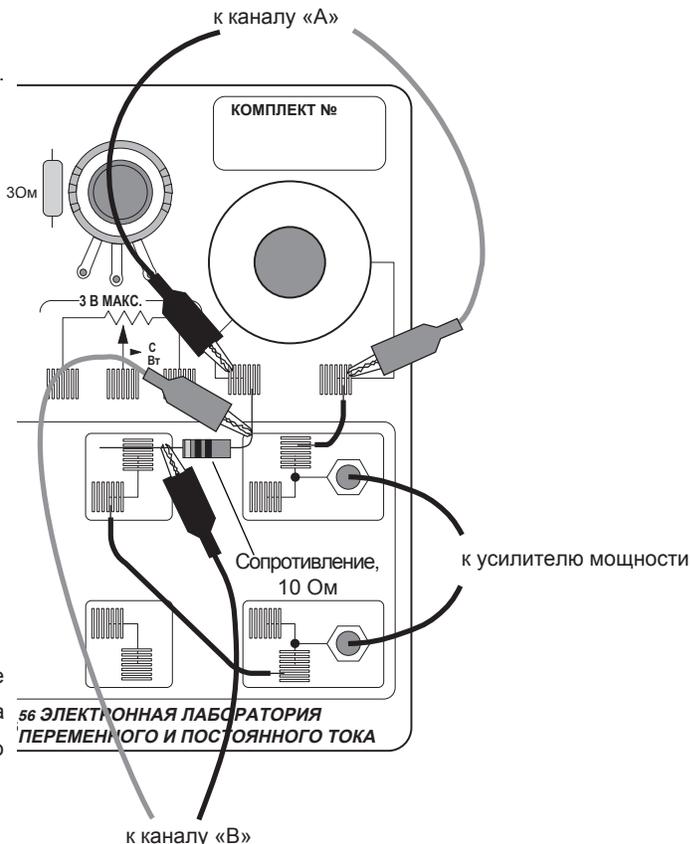


- ⑥ Расположите экран Graph («График») и окно Signal Generator («Генератор сигналов») таким образом, чтобы можно было видеть их информацию одновременно.

ЧАСТЬ II. Калибровка датчика и настройка оборудования

- Датчики напряжения или усилитель мощности калибровать не требуется.
- ① Подсоедините провод длиной 13 см к пружине возле верхнего разъёма типа «банан» и пружине с правой стороны катушки индуктивности.

- ② Подключите резистор на 10 Ом (коричневый, чёрный, чёрный) к пружине у левой части катушки индуктивности и ко второй пружине слева от верхнего разъёма типа «банан».
- ③ Подсоедините другой провод длиной 13 см к пружине, ближайшей к той, к которой с одного конца подсоединен резистор на 10 Ом, и к пружине, ближайшей к нижнему разъёму типа «банан» в правом нижнем углу электронной лаборатории переменного и постоянного тока.
- ④ Прикрепите зажимы типа «крокодил» на разъёмы типа «банан» обоих датчиков напряжения. Прикрепите зажимы типа «крокодил» датчика напряжения «А» к пружинам на обеих сторонах катушки индуктивности.
- ⑤ Прикрепите зажимы типа «крокодил» датчика напряжения «В» к проводам на обоих концах резистора на 10 Ом.
- ⑥ Подсоедините идущие от выхода усилителя коммутационные шнуры с заглушками типа «банан» к разъёмам типа «банан» на панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока.



Часть III. Запись данных

- ① Используйте мультиметр для измерения сопротивления катушки индуктивности. Запишите значение сопротивления в таблицу данных.
- ② С помощью мультиметра проверьте напряжение резистора на 10 Ом. Запишите значение сопротивления в таблицу данных.
- ③ Включите переключатель питания на задней панели усилителя мощности.
- ④ Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»). Усилитель мощности начнёт генерировать сигнал.
- ⑤ Нажмите кнопку REC («Запись» —) для записи данных.

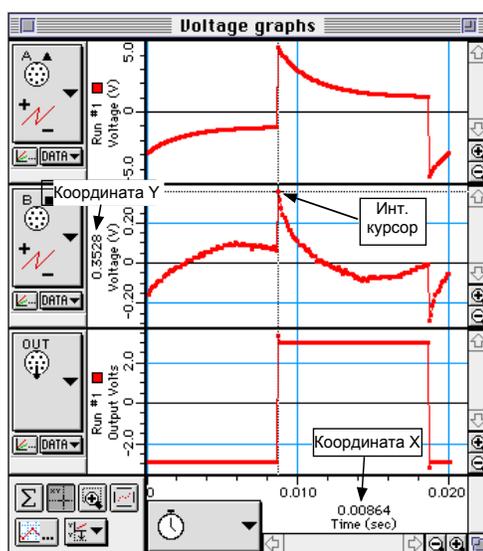
• Запись данных прекратится автоматически через 0,02 сек. В таблице данных окна Experiment Setup («Настройки эксперимента») появится надпись Run #1 («Прогон 1»).

- ⑥ Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»). Выключите переключатель питания на задней панели усилителя мощности.

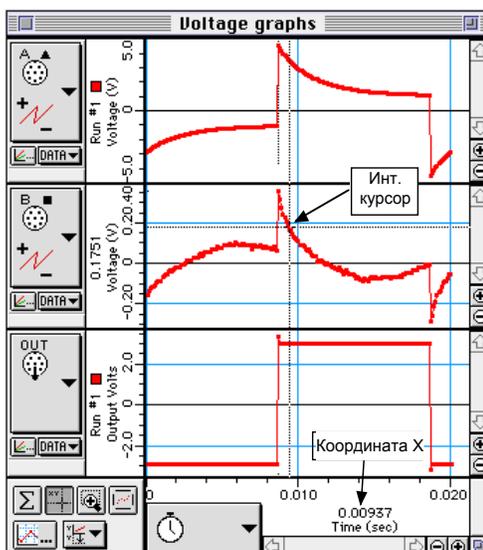
Анализ данных

- Напряжение на резисторе синфазно току и пропорционально силе тока (т. е. $U = IR$). Таким образом, поведение тока изучается косвенно путем наблюдения за поведением напряжения на резисторе, которое измеряется на аналоговом канале «В».

- ① Нажмите на кнопку Smart Cursor («Интеллектуальный курсор» — ) на экране Score («Осциллоскоп»). Курсор изменит вид на крестообразный. Переместите курсор в область отображения экрана Score («Осциллоскоп»).
- Координата Y крестообразного курсора отображается возле вертикальной оси.
 - Координата X крестообразного курсора отображается возле горизонтальной оси.
- ② Переместите крестообразный курсор к точке в верхней части экспоненциального участка кривой, где график напряжения на резисторе (сигнал аналогового канала «В») достигает максимума. Зафиксируйте в таблице данных пиковое значение напряжения (по координате Y) и время (по координате X) в этой точке. Определите напряжение на полупике (половина максимального напряжения).



- ③ Перемещайте курсор вниз к экспоненциальному участку графика напряжения резистора до достижения половины максимального (пикового) значения напряжения. Зафиксируйте значение координаты X (времени) для этой точки.



- ④ Вычтите время пикового напряжения из времени полумаксимального напряжения, чтобы получить время, за которое напряжение достигает половины максимума. Занесите полученное время в таблицу данных.
- ⑤ На основании значения общего сопротивления в цепи и заявленного значения индуктивности катушки (8,2 миллигенри или 0,0082 мГн) вычислите значение t следующим образом: $t=LR$.

Таблица данных

Сопротивление индуктора	Ом
Сопротивление резистора	Ом
Пиковое напряжение (для резистора)	В
Время на пиковом напряжении	с
Время периода полумаксимального напряжения	с
Время до достижения полумаксимума.	с
$\tau = L/R$	

Вопросы

- ① Как значение постоянной времени для катушки индуктивности, определённое в данном эксперименте, отличается от теоретического значения, вычисляемого по формуле $t = L/R$? На забывайте, что R — это суммарное сопротивление цепи и, следовательно, оно должно включать сопротивление катушки и сопротивление резистора.
- ① Применимо ли ко всем случаям правило Кирхгофа (правило контуров)? Воспользуйтесь графиками для проверки этого правила как минимум в трёх разных точках времени: равна ли сумма напряжений на резисторе и катушки индуктивности значению напряжения источника в каждой отдельно взятой точке времени?

Удлинение цепи

Поместите железный сердечник в катушку и повторите действия раздела «Часть III. Регистрация данных». Из соотношения $\tau=L/R$ и $t_{1/2} = \tau \ln(2)$ найдите новое значение индуктивности.

Эксперимент 14. LRC-цепь

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Компьютер и интерфейс *Science Workshop*™
- Усилитель мощности CI-6552A
- Датчик напряжения CI-6503
- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока EM-8656: катушка индуктивности и сердечник, резистор 10 Ом, конденсатор 100 мкФ, провод.
- LCR-измеритель (индуктивность, ёмкость и сопротивление) SB-9754
- 2 коммутационных шнура с заглушками типа «банан» (например, SE-9750)
- диаграммная бумага

Цель

Цель эксперимента — изучить явление резонанса в индуктивно-резистивноёмкостной цепи (LRC-цепи), определяя зависимость силы тока в цепи от частоты подаваемого напряжения.

Теоретическая информация

Амплитуда переменного тока (I_o) в последовательной LRC-цепи зависит от амплитуды подаваемого напряжения (U_o) и импеданса (Z), т. е. полного сопротивления цепи.

$$I_o = \frac{U_o}{Z}$$

Поскольку импеданс зависит от частоты, сила тока тоже изменяется в зависимости от частоты:

$$Z = \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2},$$

где X_L — индуктивное реактивное сопротивление, равное ωL , X_C — ёмкостное реактивное сопротивление, равное $1/(\omega C)$, R — сопротивление, а ω — угловая частота, равная $2\pi\nu$ (ν — линейная частота). Ток будет на максимуме, когда возникает резонансная частота в цепи:

$$\omega_{\text{сопр}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Отметим, что при резонансе $X_L = X_C$. Отсюда следует, что импеданс Z равен R . Следовательно, при резонансе полное сопротивление имеет наименьшее возможное значение, а сила тока — наибольшее возможное значение.

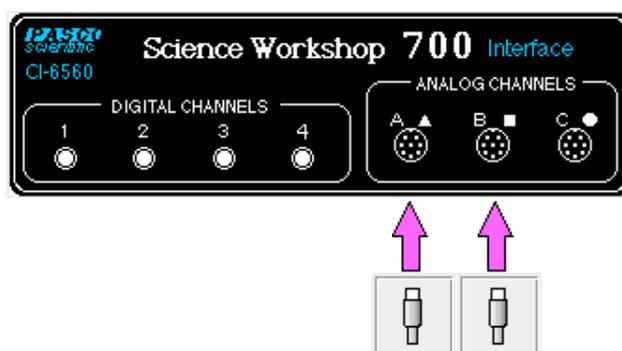
В данном эксперименте составляется график зависимости амплитуды силы тока и частоты. Поскольку на резонансной частоте сила тока максимальна, а на меньшей или большей частоте сила тока снижается, можно предположить, что пик графика проявляется на резонансной частоте.

Порядок действий

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера

- ① Подсоедините интерфейс *Science Workshop* к компьютеру, включите интерфейс, а затем включите компьютер.
- ② Соедините усилитель мощности с аналоговым каналом «А». Подключите шнур питания к разъёму на задней панели усилителя мощности, а затем — к розетке питания.
- ③ Соедините датчик напряжения с аналоговым каналом «В». Напряжение, измеренное на аналоговом канале «В», будет использоваться для расчета силы тока I , которая зависит от напряжения на резисторе:

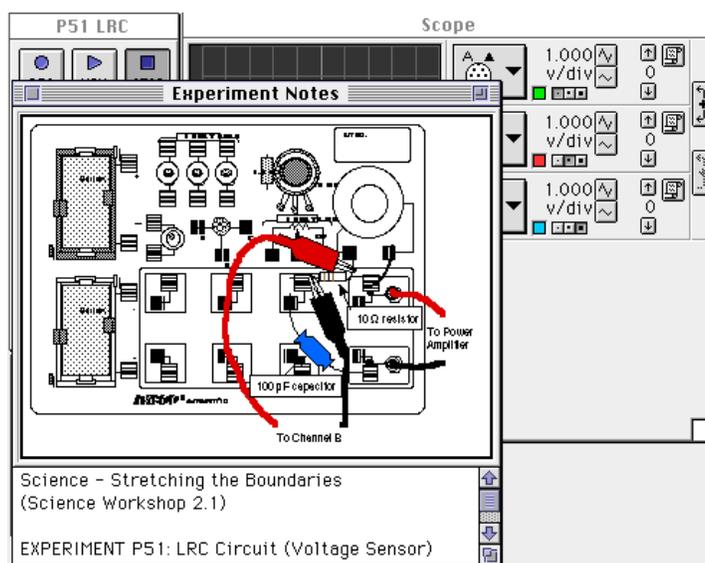
$$I = \frac{U_R}{R}$$



- ④ В папке «Physics» («Физика») экспериментальной библиотеки интерфейса *Science Workshop* откройте документ:

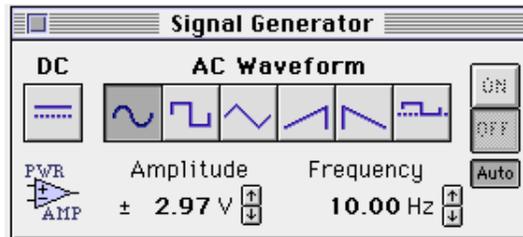
Macintosh — «P51 LRC Circuit» / Windows — «P51_LRCC.SWS»

При открытии документа отобразится окно Scope («Осциллоскоп») с графиком зависимости напряжения (В) от времени (мс) и окно Signal Generator («Генератор сигнала»), на котором осуществляется управление усилителем мощности.



► **ПРИМЕЧАНИЕ:** для получения справочной информации откройте окно Experiment Notes («Примечания к экспериментам»). Чтобы переместить экран на передний план, щелкните на его окне или выберите имя экрана из списка в конце меню Display («Экран»). Измените параметры окна Experiment Setup («Настройки эксперимента»), нажав на поле Zoom («Изменить масштаб») или на кнопку Restore («Восстановить») в правом верхнем углу окна.

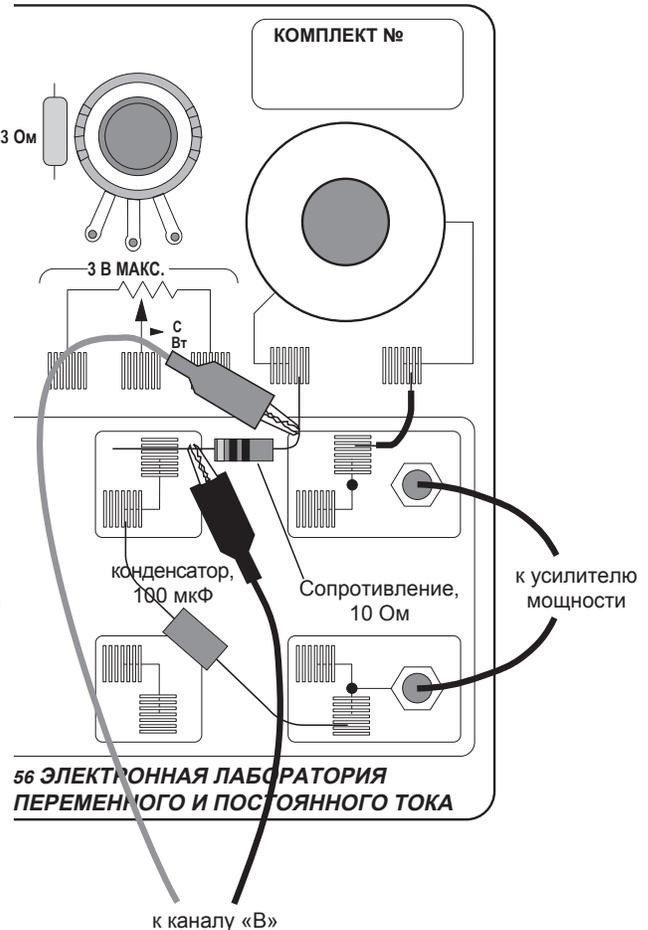
- ④ Параметры окна Signal Generator («Генератор сигналов»): выходное значение напряжения — 3,00 В при 10,00 Гц, форма кривой переменного тока — синусоидальная. Выберите для кнопки ON/OFF («ВКЛ./ВЫКЛ.») режим Auto («Автоматич.»). Это позволит запускать генератор сигнала в автоматическом режиме нажатием MON («Мониторинг») или REC («Запись») и останавливать нажатием STOP («Стоп») или PAUSE («Пауза»).



- ⑤ Расположите экран Scope («Осциллоскоп») и окно Signal Generator («Генератор сигналов») таким образом, чтобы можно было видеть их информацию одновременно.

ЧАСТЬ II. Калибровка датчика и настройка оборудования

- Усилитель мощности калибровать не требуется.
- ① Подсоедините провод длиной 13 см к пружине возле верхнего разъёма типа «банан» и пружине с правой стороны катушки индуктивности.
 - ② Подключите резистор на 10 Ом (коричневый, чёрный, чёрный) к пружине у левой части катушки индуктивности и 3 Ом ко второй пружине слева от верхнего разъёма типа «банан».
 - ③ Подключите конденсатор на 100 мкФ к пружине, ближайшей к той, к которой с одного конца подсоединен резистор на 10 Ом, и к пружине, ближайшей к нижнему разъёму типа «банан» в правом нижнем углу электронной лаборатории переменного и постоянного тока.
 - ④ Прикрепите зажимы типа «крокодил» на разъёмы типа «банан» датчика напряжения. Прикрепите зажимы типа «крокодил» датчика напряжения к проводам на обоих концах резистора на 10 Ом.
 - ⑤ Подсоедините идущие от выхода усилителя коммутационные шнуры с заглушками типа «банан» к разъёмам типа «банан» на панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока.



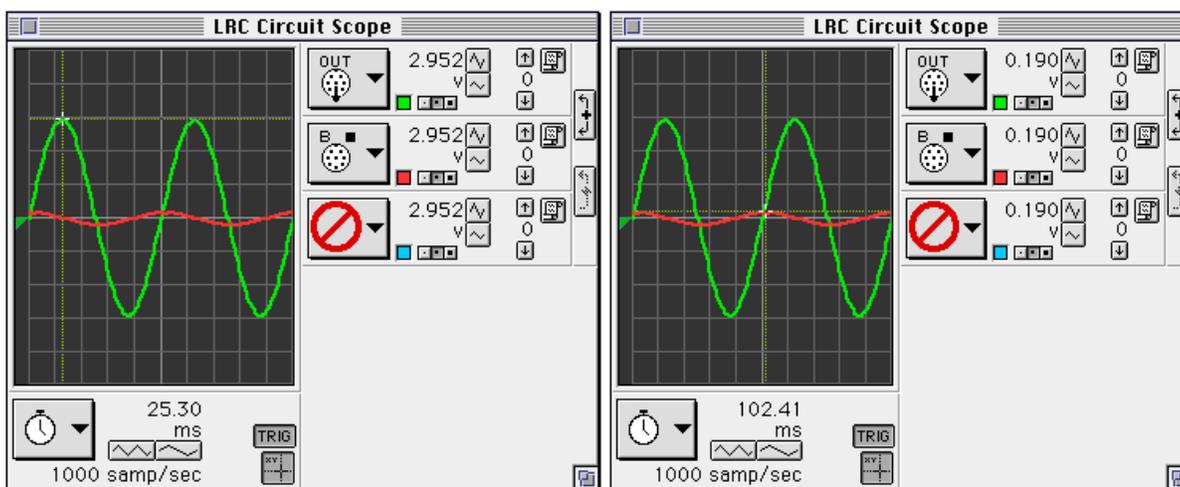
Часть III. Запись данных

① Включите переключатель питания на задней панели усилителя.

② Нажмите кнопку MON («Мониторинг» — ) для отслеживания данных. Запишите значение частоты в таблицу данных.

• Воспользуйтесь Smart Cursor («Интеллектуальный курсор») на экране Scope («Осциллоскоп») для измерения напряжения источника и резистора. Для того, чтобы найти резонансную частоту LRC-цепи, отрегулируйте частоту в окне Signal Generator («Генератор сигналов») до достижения максимума напряжения на резисторе.

③ Для измерения выходного напряжения, нажмите на кнопку «Smart Cursor» («Интеллектуальный курсор» — ) на экране Scope («Осциллоскоп»). Курсор изменит вид на крестообразный. Переместите крестообразный курсор на точку пикового выходного напряжения U_o (осциллограмма для канала «А»). Запишите значение напряжения, которое отображается у кнопки Input Menu («Меню входного сигнала»).



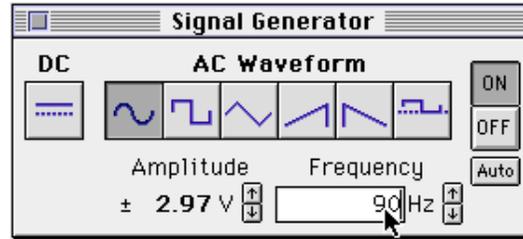
④ Для измерения напряжения на резисторе переместите крестообразный курсор на точку пикового напряжения на резисторе, U_R (осциллограмма для канала «В»). Запишите значение напряжения.

⑤ В окне Signal Generator («Генератор сигнала»), нажмите на стрелку вверх () для увеличения частоты на 10 Гц. Запишите новую частоту в таблицу данных. Повторите данный процесс для определения других значений напряжения для выходного сигнала U_o и резистора U_R с помощью «Интеллектуального курсора».

⑥ Повторяйте процесс до достижения значения 150 Гц. При увеличении частоты отрегулируйте скорость развертки на экране Scope («Осциллоскоп»), используя кнопку Increase Speed («Увеличить скорость» — ) по мере необходимости.

⑦ По таблице данных определите приблизительное значение резонансной частоты (при ней напряжение на резисторе достигает максимума).

⑧ Нажмите на значение частоты в окне Signal Generator («Генератора сигнала»). Значение выделится. Введите приблизительное значение резонансной частоты и нажмите клавишу ввода («Enter»).



- ⑨ Производите тонкую настройку частоты до тех пор, пока осциллограмма напряжения канала «В» не станет синфазной осциллограмме выходного напряжения. Настроить частоту можно нажатием на стрелки «вверх» и «вниз», расположенные у параметра частоты. При этом можно зажимать клавиши из таблицы для изменения шага.

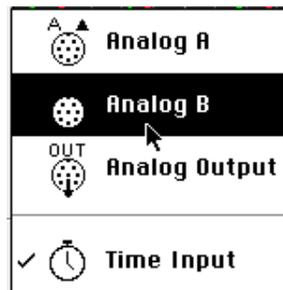
Шаг частоты при щелчке	Удерживайте клавишу
1 Гц	Ctrl
0,1 Гц	Option
0,01 Гц	Command или Alt

- ⑩ Для проверки синфазности осциллограммы напряжения канала «В» и осциллограммы выходного напряжения переключите экран Score («Осциллоскоп») в режим «X-Y».

а. Нажмите кнопку STOP («СТОП» — ). Нажмите на кнопку меню Horizontal Axis Input

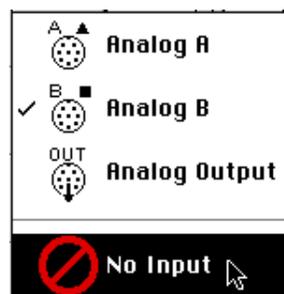
(«Входной сигнал горизонт. оси» — ). Выберите функцию «Analog В» («Аналог. А») в меню Horizontal Axis Input

(«Входной сигнал горизонт. оси»).

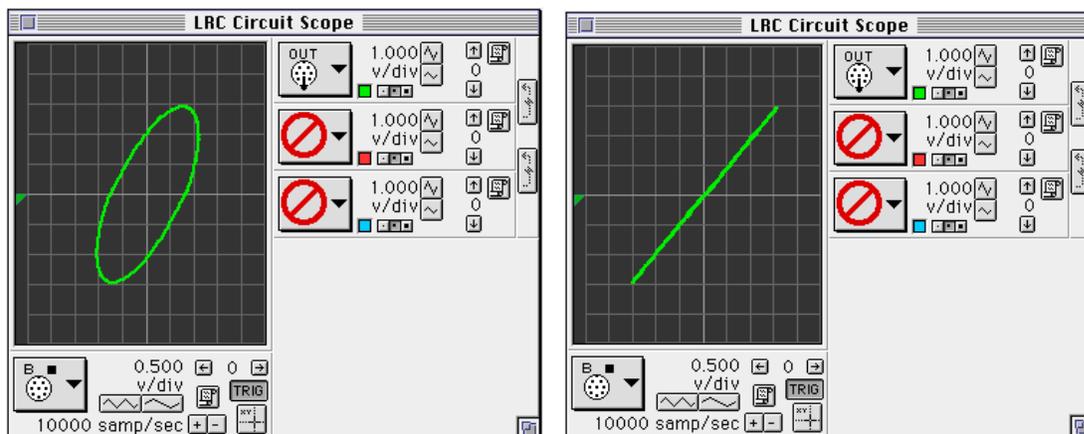


б. Нажмите на кнопку меню Channel B Input («Входной сигнал канала В» — ) справа на экране Score

(«Осциллоскоп»). Выберите No Input («Без входного сигнала») в меню Channel B Input («Входной сигнал канала В»).



- с. Нажмите на кнопку MON («Мониторинг») для продолжения отслеживания данных. Отрегулируйте частоту в окне Signal Generator («Генератор сигнала») до достижения резонансной частоты. Запишите значение резонансной частоты.
- Когда два входных сигнала синфазны, на экране Scope («Осциллоскоп») в режиме «X-Y» отобразится диагональная линия. Любые изменения фазы отразятся на форме: осциллограмма примет форму овала.
- Режим «XY» на 40 Гц
- Режим «XY» на резонансной частоте



- 11 Нажмите кнопку STOP («СТОП»). Выключите переключатель питания на задней панели усилителя мощности.
- 12 Используя LCR-измеритель, измерьте индуктивность катушки с сердечником и ёмкость конденсатора на 100 мкФ. занесите эти значения в таблицу данных.

Анализ данных

- 1 На отдельном листе диаграммной бумаги постройте график зависимости силы тока (или напряжения на резисторе, делённого на выходное напряжение (U_R / U_o)) и линейной частоты. **ПРИМЕЧАНИЕ:** частота в окне Signal Generator («Генератор сигнала») — линейная.
- 2 Используя значение резонансной частоты, найденное на экране Scope («Осциллоскоп»), вычислите резонансную угловую частоту и запишите полученное значение в таблицу данных:

$$\omega_{сопр} = 2\pi\nu_{сопр}$$

- 3 Вычислите теоретическую резонансную угловую частоту, используя следующую формулу:

$$\omega_{сопр} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Таблица данных

Част.(Гц)	U_o	U_R	Част.(Гц)	U_o	U_R
10			90		
20			100		
30			110		
40			120		
50			130		
60			140		
70			150		
80					

Параметр	Значение
Резонансная частота	Гц
Резонансная угловая частота	Гц
Индуктивность	мГн
Ёмкость	мкФ
Теоретическая резонансная угловая частота	Гц

Вопросы

- ① Как измеренное значение резонансной угловой частоты отличается от теоретического значения резонансной угловой частоты?

Напоминание: разница в процентах = $(\text{теоретическое} - \text{фактическое}) / \text{теоретическое} * 100 \%$

- ② Симметричен ли график соотношения силы тока (U_R/U_o) и частоты относительно резонансной частоты? Поясните свой ответ.
- ③ При резонансной частоте реактивные сопротивления индуктора и конденсатора взаимно уничтожаются. Таким образом, полное сопротивление (Z) будет равняться просто сопротивлению (R). Вычислите сопротивление цепи, используя амплитуду силы тока при резонансе в уравнении $R = \frac{U}{I}$, (где U — амплитуда подаваемого напряжения). Равно ли это сопротивление 10 Ом? Почему нет?

Опционально

- ① Используйте датчик напряжения в аналоговом канале «В» для измерения пикового напряжения на каждом элементе цепи отдельно. Сумма пиковых напряжений не равна подаваемому пиковому напряжению. Почему? Составьте векторную диаграмму для пояснения.
- ② Определите, зависит ли резонансная частота от сопротивления.

Для того чтобы проверить воздействие сопротивления, установите осциллоскоп на резонансную частоту и замените резистор на 10 Ом резистором на 100 Ом. Резонансная частота при этом увеличивается, уменьшается или остается неизменной?

Эксперимент 15. Диодная лаборатория. Часть 1

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Компьютер и интерфейс *Science Workshop*™
- Усилитель мощности CI-6552A
- 2 датчика напряжения CI-6503
- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока EM-8656
- 2 коммутационных шнура с заглушками типа «банан» (например, SE-9750)

Цель

В данном эксперименте исследуются свойства различных типов диодов.

Теоретическая информация

Диод (или полукристаллический выпрямитель $p-n$) — это электронное устройство, позволяющее току протекать только в одном направлении после установления определенного прямого напряжения. Если напряжение слишком низкое, то ток не будет протекать через диод. При обратном напряжении ток не протекает через диод (за исключением слишком низкого значения обратного тока).

Светодиод испускает свет при прохождении тока в прямом направлении. Красно-зелёный диод фактически представляет собой два диода, соединенные вместе противоположно таким образом, что красный диод позволяет току проходить в одном направлении, а зелёный диод — в обратном направлении. Таким образом, при подаче постоянного тока красно-зелёный диод будет гореть только красным или только зелёным цветом в зависимости от полярности подаваемого напряжения постоянного тока. При подаче напряжения переменного тока на красно-зелёный диод (двухцветный светодиод), диод будет мигать попеременно красным и зелёным цветом одновременно со сменой направления тока.

Двухцветный светодиод является примером зенеровского диода. Зенеровский диод позволяет току протекать в одном направлении при достаточном прямом напряжении и в обратном — при достаточно большом обратном напряжении (пробивном напряжении, как правило в несколько вольт).

Общее описание

Эксперимент с диодами разделён на несколько разделов. Первая часть (текущая) содержит первые два раздела. Вторая часть (следующая) содержит третий и четвёртый разделы.

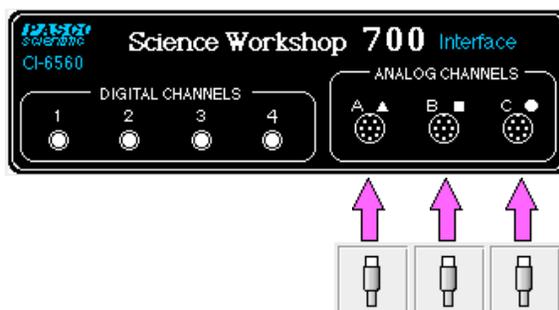
Раздел	Выполняемые операции
1	свойства диода
2	светодиод и зенеровский диод
3	выпрямление синусоидальной волны
4	базовый источник питания

В первом разделе вы будете исследовать общие свойства диода. Во втором разделе вы будете исследовать различные типы диодов, включая светодиоды и зенеровские диоды. В третьем разделе вы выполните выпрямление синусоидальной волны, генерируемой усилителем мощности. В последнем разделе вы создадите базовую схему источника питания.

ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ. Раздел 1. Свойства диода

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера

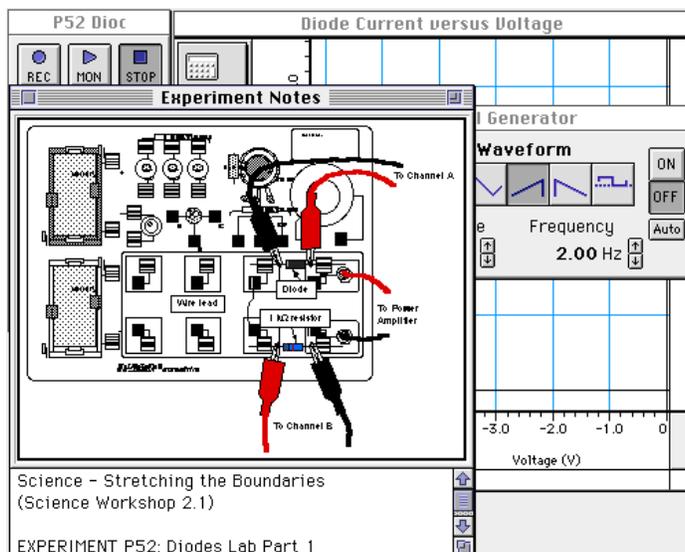
- ① Подсоедините интерфейс *Science Workshop* к компьютеру, включите интерфейс, а затем включите компьютер.
- ② Соедините один датчик напряжения с аналоговым каналом «А». Соедините второй датчик напряжения с аналоговым каналом «В».
- ③ Соедините усилитель мощности с аналоговым каналом «С». Подключите шнур питания к разъёму на задней панели усилителя мощности, а затем — к розетке питания.



- ④ В папке «Physics» («Физика») экспериментальной библиотеки интерфейса *Science Workshop* откройте документ:

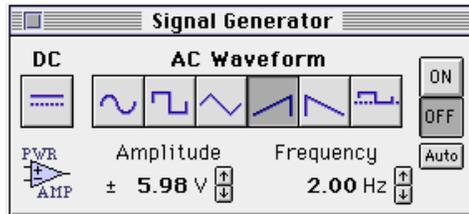
Macintosh — «P52 Diodes» / Windows — «P52_DIOD.SWS»

При открытии документа отобразится окно Graph («График») с графиком зависимости силы тока (mA) от напряжения (V) и окно Signal Generator («Генератор сигнала»), на котором осуществляется управление усилителем мощности. Здесь сила тока — это расчетное значение на основании перепада напряжения на резисторе на 1000 Ом (измеренное на канале «В»).



► **ПРИМЕЧАНИЕ:** для получения справочной информации откройте окно Experiment Notes («Примечания к экспериментам»). Чтобы переместить экран на передний план, щелкните на его окне или выберите имя экрана из списка в конце меню Display («Экран»). Измените параметры окна Experiment Setup («Настройки эксперимента»), нажав на поле Zoom («Изменить масштаб») или на кнопку Restore («Восстановить») в правом верхнем углу окна.

- ⑤ Параметры окна Signal Generator («Генератор сигналов»): выходное значение напряжения — 6,00 В при 2,00 Гц, форма кривой переменного тока — линейно-нарастающая.

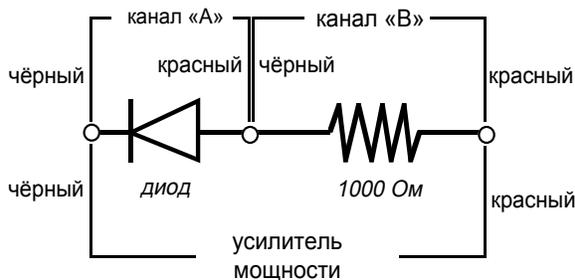


- ⑥ Параметры окна Sampling Options («Режимы измерения») следующие: Periodic Samples («Периодическая выборка») установлена в Fast at 500 Hz («Быстрая при частоте 500 Гц»), Start Condition («Условие пуска») — при Analog Output («Аналоговый выходной сигнал»), равному -5,9 В, а Stop Condition («Условие остановки») — значение Samples («Замеры») равно 250.
- ⑦ Расположите экран Graph («График») и окно Signal Generator («Генератор сигналов») таким образом, чтобы можно было видеть их информацию одновременно.

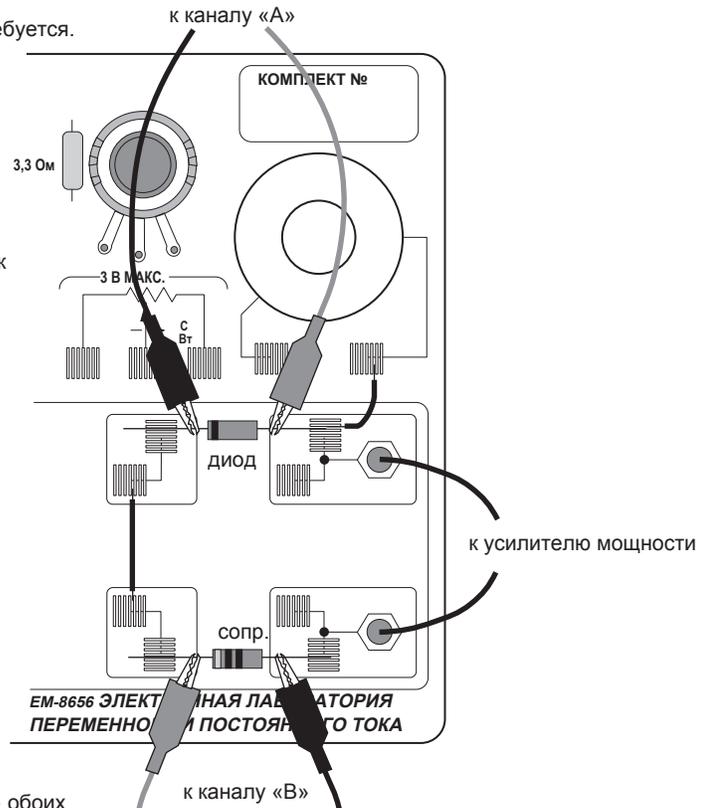
ЧАСТЬ II. Калибровка датчика и настройка оборудования

• Датчики напряжения или усилитель мощности калибровать не требуется.

- ① Подключите диод 1N-4007 (чёрный с серой полоской на одном конце) к пружине возле верхнего гнезда типа «банан» и к пружине для элементов, расположенной слева от гнезда типа «банан». Расположите диод так, чтобы серая полоска находилась у его левого конца.
- ② Подключите резистор на 1 кОм (коричневый, чёрный, красный) к пружине возле нижнего разъёма типа «банан» и к пружине слева от нижнего разъёма типа «банан».
- ③ Подсоедините провод длиной 13 см к пружине у левой части диода и пружине у левой части резистора на 1 кОм.



- ④ Прикрепите зажимы типа «крокодил» на разъёмы типа «банан» обоих датчиков напряжения. Прикрепите зажимы типа «крокодил» с канала «А» датчика напряжения к проводам с обоих концов диода.



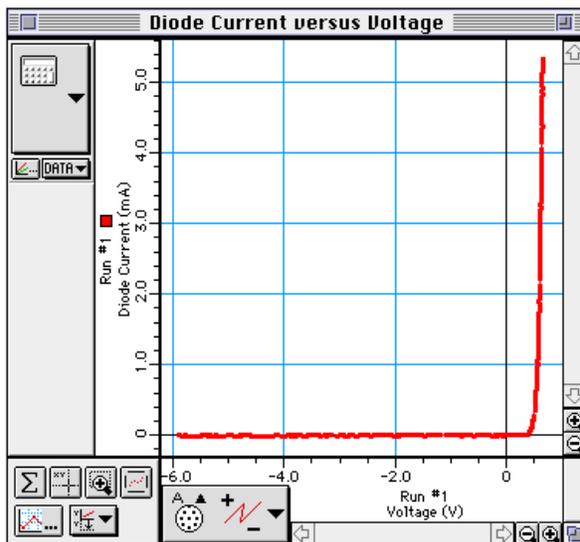
- ⑤ Прикрепите зажимы типа «крокодил» канала «В» датчика напряжения к проводам на обоих концах резистора на 1 кОм.
- ⑥ Подсоедините идущие от выхода усилителя коммутационные шнуры с заглушками типа «банан» к разъёмам типа «банан» на панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока.

Часть III. Запись данных — диод и резистор на 1 кОм

- ① Включите переключатель питания на задней панели усилителя.
- ② Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ③ Нажмите кнопку REC («Запись» — ) для записи данных.
 - Запись данных автоматически завершится после 250 замеров. В таблице данных окна Experiment Setup («Настройки эксперимента») появится надпись Run #1 («Прогон 1»).
- ④ Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»). Выключите переключатель питания на задней панели усилителя мощности.

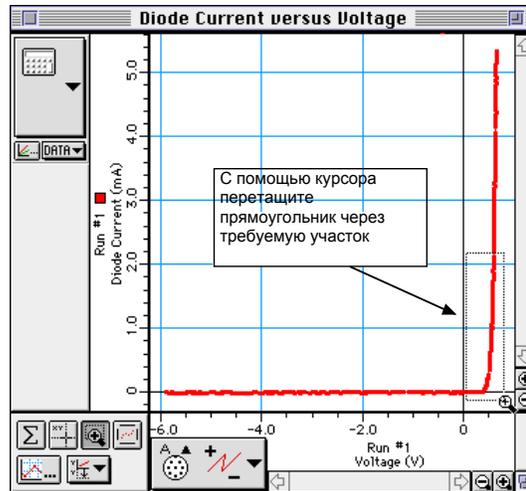
АНАЛИЗ ДАННЫХ. Диод и резистор на 1 кОм

- ① Нажмите на кнопку Autoscale («Автомасштаб» — ), чтобы изменить размер графика для размещения данных.
- На вертикальной оси отображена сила тока в миллиамперах на основании расчетов с учетом перепада напряжения на резисторе на 1 кОм. На горизонтальной оси показано напряжение на диоде.



- ② Выберите Save As («Сохранить как») из меню File («Файл») для того, чтобы сохранить данные. Выберите Print Active Display («Печать активного экрана») в меню File («Файл») для печати полученного графика.
- ③ Нажмите на кнопку Magnifier («Увеличитель» — ). Курсор примет вид увеличительного стекла.

- ④ С помощью курсора перетащите прямоугольник через участок с возрастающей силой тока на графике зависимости силы тока от напряжения. Прямоугольник должен быть достаточно большим: его верхняя граница должна проходить за пределы 2 мА.

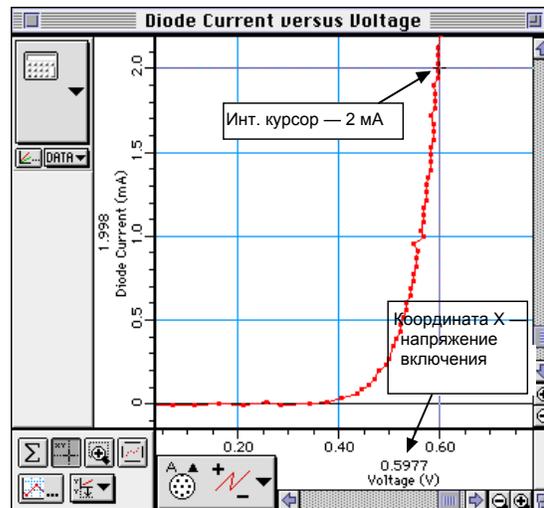


- Масштаб графика изменится сам для того, чтобы представление данных входило на участок графика.

- ⑤ Нажмите на кнопку Smart Cursor («Интеллектуальный курсор» — ).

- Курсор изменит вид на крестообразный. Координата Y крестообразного курсора отображается возле вертикальной оси. Координата X крестообразного курсора отображается под горизонтальной осью.

- ⑥ Переместите курсор в точку на графике, где ток достигает 2 мА. Запишите значение напряжения включения (координата X) при токе 2 мА в таблице данных.



ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ. Раздел 2. Светодиоды

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера

- Настройку компьютера изменять не требуется.

ЧАСТЬ II. Калибровка датчика и настройка оборудования

- ① Подготовьте красный, жёлтый и зелёный светодиоды, осторожно согнув их ножки для того, чтобы установить светодиоды в пружинах вместо диода, которым вы пользовались в первом модуле.
 - ② Замените диод, с которым вы работали в первом модуле, на первый светодиод (красный). Расположите первый светодиод таким образом, чтобы короткая ножка (катод) располагалась слева.
- Ножка катода светодиода немного короче, а у основания диода у неё есть скошенный уголок.



ЧАСТЬ IIIA. Запись данных — светодиоды

- ① Включите переключатель питания на задней панели усилителя.
 - ② Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
 - ③ Нажмите кнопку REC («Запись» — ) для записи данных.
- Запись данных автоматически завершится после 250 замеров. В таблице данных окна Experiment Setup («Настройки эксперимента») появится надпись Run #2 («Прогон 2»).
- ④ Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
 - ⑤ Замените первый светодиод (красный) на следующий (жёлтый).
 - ⑥ Нажмите кнопку ON («ВКЛ.») в окне Signal Generator («Генератор сигнала»). Повторите процедуру записи данных. Нажмите кнопку OFF («ВЫКЛ.») в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
 - ⑦ Замените второй светодиод (жёлтый) последним (зелёным). Нажмите кнопку ON («ВКЛ.») в окне Signal Generator («Генератор сигнала»). Повторите процедуру записи данных. Нажмите кнопку OFF («ВЫКЛ.») в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- В таблице данных окна Experiment Setup («Настройки эксперимента») должно быть установлено четыре прогона.

АНАЛИЗ ДАННЫХ. Светодиоды

- ① Выберите Save As («Сохранить как») из меню File («Файл») для того, чтобы сохранить данные.
- Экран Graph («График») отображает три последних прогона данных (по одному прогону для каждого светодиода).
- ② Выберите Run #2 («Прогон 2») в нижней части меню Experiment («Эксперимент»).
- Экран Graph (График) отобразит только второй прогон.
- ③ Нажмите на кнопку Autoscale («Автомасштаб» — ), чтобы изменить размер графика для размещения данных.

- ④ Нажмите на кнопку Magnifier («Увеличитель» — ). Курсор примет вид увеличительного стекла.
- ⑤ С помощью курсора перетащите прямоугольник через участок с возрастающей силой тока на графике зависимости силы тока от напряжения. Прямоугольник должен быть достаточно большим: его верхняя граница должна проходить за пределы 2 мА.
- ⑥ Нажмите на кнопку Smart Cursor («Интеллектуальный курсор» — ).
- ⑦ Переместите курсор в точку на графике, где ток достигает 2 мА. Запишите в таблицу данных 1 значение напряжения включения (координата X) при 2 мА.
- ⑧ Выберите Run #3 («Прогон 3») в нижней части меню Experiment («Эксперимент»). Проанализируйте таким же образом второй светодиод и начертите для него график зависимости силы тока от напряжения.
- ⑨ Выберите Run #4 («Прогон 4») в нижней части меню Experiment («Эксперимент»). Проанализируйте таким же образом последний светодиод и начертите для него график зависимости силы тока от напряжения.

ТАБЛИЦА ДАННЫХ 1: светодиоды

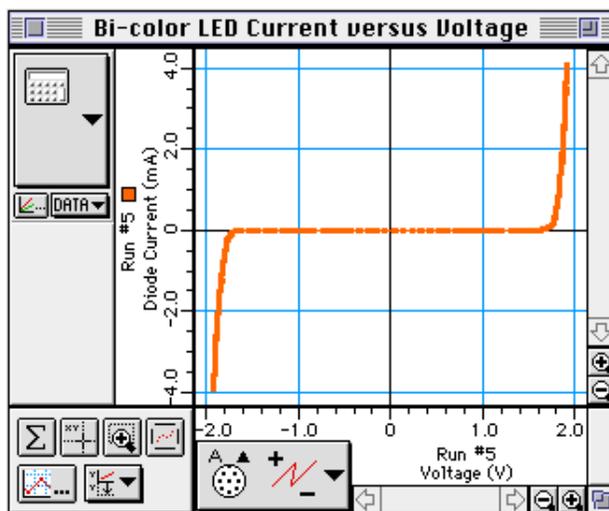
Описание	Напряжение (В) при 2 мА
1. Диод и резистор на 1 кОм	
2. Красный светодиод	
3. Жёлтый светодиод	
4. Зелёный светодиод	

ЧАСТЬ IIIВ. Запись данных — двухцветный диод

- ① Осторожно согните ножки ПРОЗРАЧНОГО (двухцветного) светодиода, чтобы зажать их в пружинах и заменить последний диод, использованный в части IIIА данного раздела.
- ② Замените зелёный светодиод двухцветным светодиодом.
- ③ Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ④ Нажмите кнопку REC («Запись») () для записи данных.
- Запись данных автоматически завершится после 250 замеров. В таблице данных окна Experiment Setup («Настройки эксперимента») появится надпись Run #5 («Прогон 5»).
- ⑤ Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ⑥ Опишите поведение двухцветного светодиода в период регистрации данных. Занесите наблюдения в таблицу данных.
- ⑦ Выключите переключатель питания на задней панели усилителя мощности.

АНАЛИЗ ДАННЫХ. Двухцветный светодиод

- ① Выберите Save As («Сохранить как») из меню File («Файл») для того, чтобы сохранить данные.
- ② Выберите Run #5 («Прогон 5») в нижней части меню Experiment («Эксперимент»).
- ③ Нажмите на кнопку Autoscale («Автомасштаб» — ) , чтобы изменить размер графика для размещения данных.



- ④ Нажмите на кнопку Magnifier («Увеличитель» — ) . Курсор примет вид увеличительного стекла.
- ⑤ С помощью курсора перетащите прямоугольник через участок с возрастающей силой тока с ПРАВОЙ стороны на графике зависимости силы тока от напряжения. Прямоугольник должен быть достаточно большим: его верхняя граница должна проходить за пределы 2 мА.
- ⑥ Нажмите на кнопку Smart Cursor («Интеллектуальный курсор» — ) .
- ⑦ Переместите курсор в точку на графике, где ток достигает 2 мА. Запишите в таблицу данных 2 значение напряжения включения (координата X) при 2 мА.
- ⑧ Нажмите на кнопку Magnifier («Увеличитель» — ) ещё раз.
- ⑨ С помощью курсора перетащите прямоугольник через участок с возрастающей силой тока с ЛЕВОЙ стороны на графике зависимости силы тока от напряжения. Прямоугольник должен быть достаточно большим: его нижняя граница должна проходить за пределы -2 мА.
- ⑩ Нажмите на кнопку Smart Cursor («Интеллектуальный курсор» — ) .
- ⑪ Переместите крестообразный курсор в точку на графике, где ток достигает -2 мА. Запишите в таблицу данных 2 значение напряжения включения (координата X) при -2 мА.

ТАБЛИЦА ДАННЫХ 2: Двухцветный светодиод

Описание	Напряжение (В) при 2 мА	Напряжение (В) при -2 мА
5. Двухцветный светодиод		

Вопросы

- ① Что означает график зависимости тока от напряжения в первом разделе?
- ② Какой светодиод имеет наименьшее напряжение включения во втором разделе? Какой из светодиодов имеет наибольшее напряжение включения?
- ③ Как отличается прямое напряжение включения двухцветного светодиода от напряжения любого из цветных светодиодов во втором разделе? Как отличается обратное напряжение включения двухцветного светодиода от напряжения любого из цветных светодиодов?
- ④ Сопоставьте и сравните двухцветный светодиод с зенеровским светодиодом.

Эксперимент 16. Диодная лаборатория. Часть 2

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Компьютер и интерфейс *Science Workshop*™
- Усилитель мощности CI-6552A
- 2 датчика напряжения CI-6503
- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока EM-8656
- 2 коммутационных шнура с заглушками типа «банан» (например, SE-9750)

Цель

В данном эксперименте диоды используются для выпрямления сигнала переменного тока и составления части базовой схемы питания.

Теоретическая информация

Диод (или поликристаллический выпрямитель $p-n$) — это электронное устройство, позволяющее току протекать только в одном направлении после установления определенного прямого напряжения. Если напряжение слишком низкое, то ток не будет протекать через диод. При обратном напряжении ток не протекает через диод (за исключением слишком низкого значения обратного тока).

Для подачи постоянного тока от источника переменного тока может использоваться диод. Другими словами, диод выпрямляет напряжение переменного тока.

При сглаживании выпрямленного тока электронными фильтрами используются диоды, которые помещаются в цепь источника питания.

Общее описание

Эксперимент с диодами разделён на несколько разделов. Вы завершили эксперимент, рассмотренный в двух первых разделах первой части (предыдущий эксперимент). Сейчас вы выполните эксперимент, рассматриваемый в разделах 3 и 4 второй части (текущий эксперимент).

Раздел	Выполняемые операции
3	выпрямление синусоидальной волны
4	базовый источник питания

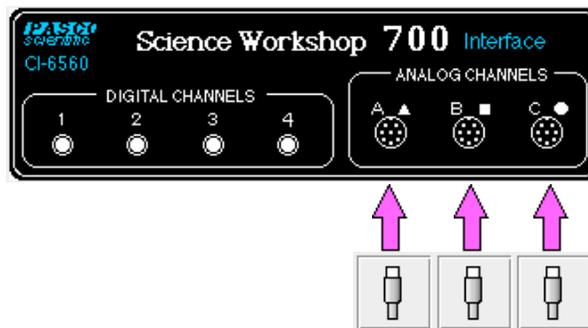
В третьем разделе вы выполните выпрямление синусоидальной волны, генерируемой усилителем мощности. В последнем разделе вы создадите базовую схему источника питания.

ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ. Раздел 3. Выпрямление синусоидальной волны

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера

- ① Подсоедините интерфейс *Science Workshop* к компьютеру, включите интерфейс, а затем включите компьютер.
- ② Соедините один датчик напряжения с аналоговым каналом «А». Соедините второй датчик напряжения с аналоговым каналом «В».

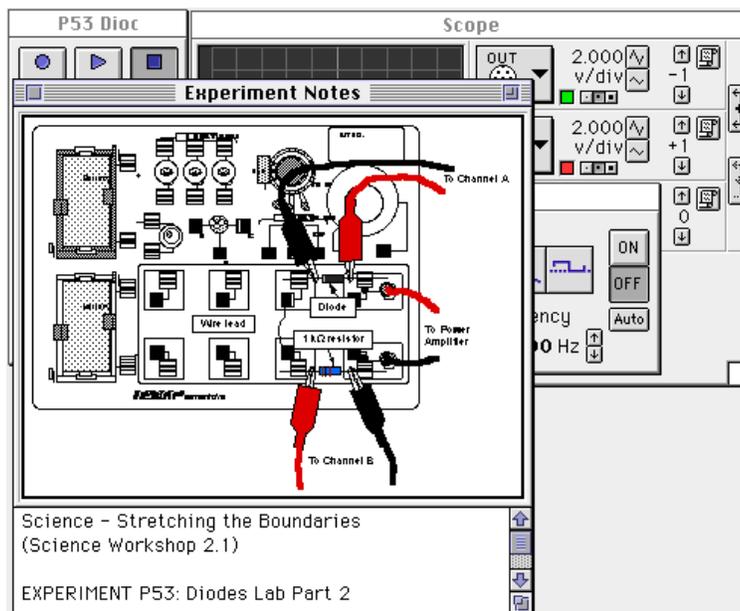
- ③ Соедините усилитель мощности с аналоговым каналом «С». Подключите шнур питания к разъёму на задней панели усилителя мощности, а затем — к розетке питания.



- ④ В папке «Physics» («Физика») экспериментальной библиотеки интерфейса *Science Workshop* откройте документ:

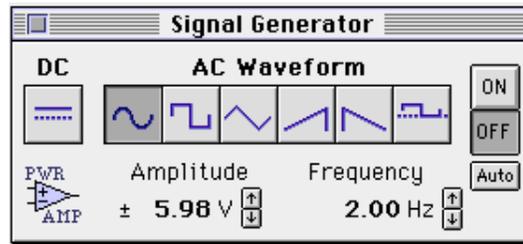
Macintosh — «P53 Diodes Part 2» / Windows — «P53_DIO2.SWS»

При открытии документа отобразится окно Scope («Осциллоскоп») с осциллограммой напряжения аналогового канала «А» (вольты) и аналогового канала «В» (вольты) и окно Signal Generator («Генератор сигнала»), на котором осуществляется управление усилителем мощности.



► **ПРИМЕЧАНИЕ:** для получения справочной информации откройте окно Experiment Notes («Примечания к экспериментам»). Чтобы переместить экран на передний план, щелкните на его окне или выберите имя экрана из списка в конце меню Display («Экран»). Измените параметры окна Experiment Setup («Настройки эксперимента»), нажав на поле Zoom («Изменить масштаб») или на кнопку Restore («Восстановить») в правом верхнем углу окна.

- ⑤ Параметры окна Signal Generator («Генератор сигналов»): выходное значение напряжения — 6,00 В при 2,00 Гц, форма кривой переменного тока — синусоидальная.



- ⑥ Периодическая скорость измерений определяется скоростью развертки, установленной на экране Scope («Осциллоскоп»).
- ⑦ Расположите экран Scope («Осциллоскоп») и окно Signal Generator («Генератор сигналов») таким образом, чтобы можно было видеть их информацию одновременно.

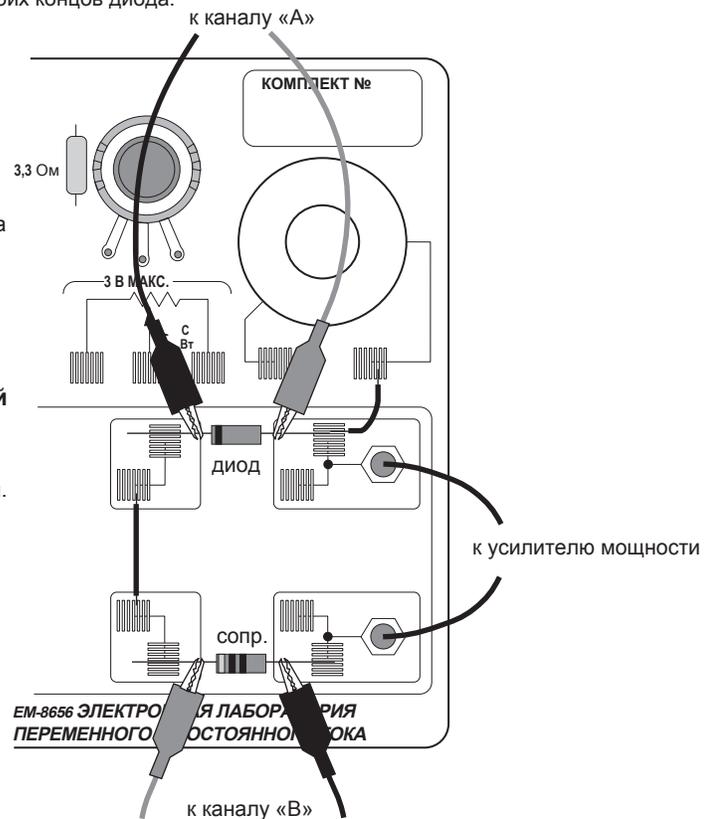
ЧАСТЬ II. Калибровка датчика и настройка оборудования

• Датчики напряжения или усилитель мощности калибровать не требуется.

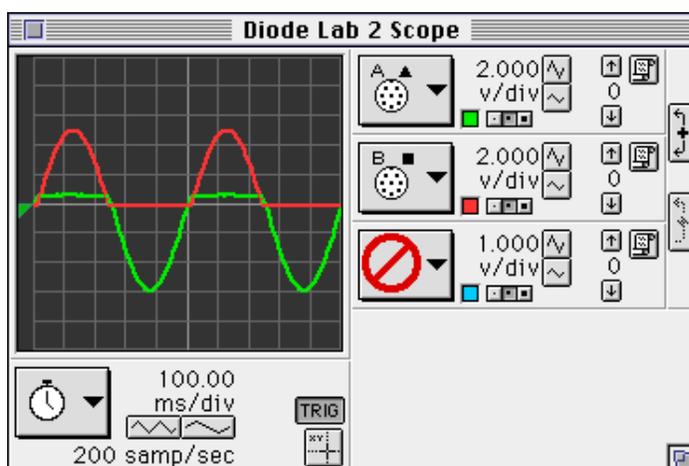
- ① Подключите диод 1N-4007 (чёрный с серой полоской на одном конце) к пружине возле верхнего разъёма типа «банан» и к пружине слева от разъёма типа «банан». Расположите диод так, чтобы серая полоска находилась с левой стороны.
- ② Подключите резистор на 1 кОм (коричневый, чёрный, красный) к пружине возле нижнего разъёма типа «банан» и к пружине слева от нижнего разъёма типа «банан».
- ③ Подключите провод длиной 13 см к пружине у левой части диода и к пружине у левой части резистора на 1 кОм.
- ④ Прикрепите зажимы типа «крокодил» на разъёмы типа «банан» обоих датчиков напряжения. Прикрепите зажимы типа «крокодил» с канала «А» датчика напряжения к проводам с обоих концов диода.
- ⑤ Прикрепите зажимы типа «крокодил» канала «В» датчика напряжения к проводам на обоих концах резистора на 1 кОм.
- ⑥ Подсоедините идущие от выхода усилителя коммутационные шнуры с заглушками типа «банан» к разъёмам типа «банан» на панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока.

ЧАСТЬ IIIA. Запись данных — выпрямление синусоидальной волны с помощью диода

- ① Включите переключатель питания на задней панели усилителя.
- ② Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ③ Нажмите кнопку MON («Мониторинг» — ) для отслеживания данных.



- Осциллограмма канала «А» на экране Scope («Осциллоскоп») представляет напряжение на диоде. Осциллограмма канала «В» отображает напряжение на резисторе.



- ④ Для «захвата» данных, отображаемых на экране Scope («Осциллоскоп»), нажмите на кнопку «ПАУЗА» (). Это позволит приостановить отслеживание данных, а обе осциллограммы будут полностью показаны на экране Scope («Осциллоскоп»).
- ⑤ Для сохранения данных верхней осциллограммы нажмите на кнопку Data Snapshot («Снимок данных» — ) в верхнем правом углу экрана Scope («Осциллоскоп»). После этого появится окно Data Cache Information («Информация кеша данных»).

 **Enter Data Cache Information**

Long Name:

Short Name:

Units:

Number Of Points:
 97

- ⑦ Введите информацию в поле Long Name («Полное название»), Short Name («Сокращенное название») и Units («Ед. измерения»), а затем нажмите «OK».

- ⑧ Сохраните данные второй осциллограммы с экрана Scope («Осциллоскоп»). Нажмите на кнопку Data Snapshot («Снимок данных»), расположенную посередине окна. Введите необходимую информацию в окне Data Cache Information («Информация кеша данных») и нажмите «ОК».

Enter Data Cache Information

Long Name:
Resistor Voltage

Short Name:
Resistor V

Units:
V

Number Of Points:
97

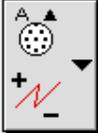
Cancel

OK

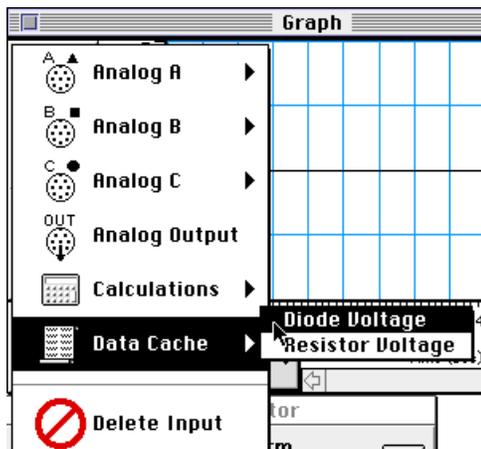
- В таблице данных окна Experiment Setup («Настройки эксперимента») появятся сокращенные названия кешей данных.
- ⑨ Нажмите кнопку STOP («СТОП»). Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).

АНАЛИЗ ДАННЫХ. Выпрямление синусоидальной волны с помощью диода

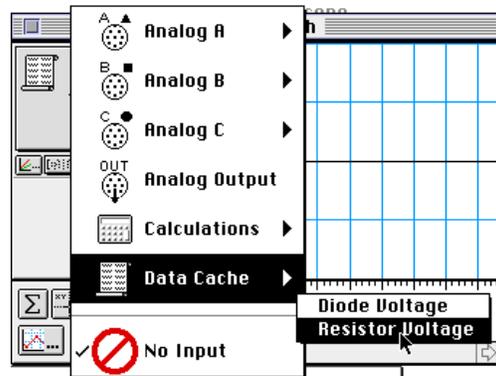
- ① Выберите Save As («Сохранить как») из меню File («Файл») для того, чтобы сохранить данные.
- ② Выберите функцию New Graph («Новый график») в меню Display («Экран»).

- ③ Измените входной сигнал. Нажмите на кнопку «Input Menu» («Меню входного сигнала» — ).

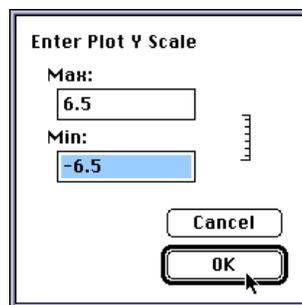
Выберите Data Cache («Кеш данных»), а затем Diode Voltage («Напряжение диода») в меню входного сигнала.



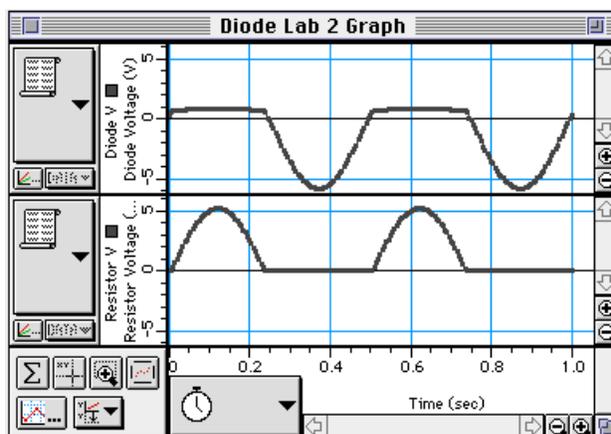
- ④ Нажмите на кнопку меню Add Plot («Добавить график» — ) в нижнем левом углу графика. Выберите Data Cache («Кеш данных»), а затем Resistor Voltage («Напряжение резистора») в меню Add Plot («Добавить график»).



- ⑤ Нажмите на любую точку вертикальной оси верхнего графика («Напряжение диода»). Откроется окно Enter Plot Y Scale («Масштаб Y»).



- ⑥ Введите «6.5» для максимального значения и «-6.5» для минимального значения, а затем нажмите «OK». Повторите аналогичные действия для нижнего графика («Напряжение резистора»).
- Оба графика будут иметь приблизительно одинаковый масштаб вертикальной оси.



- Опционально: если у вас есть принтер, то вы можете выбрать Print Active Display («Печать активного экрана») в меню File («Файл»).

ЧАСТЬ IIIВ. Запись данных — выпрямление синусоидальной волны с помощью светодиода

- ① Извлеките диод из пружин. Осторожно установите цветной светодиод в пружины.
- ② Повторите процедуру записи данных, описанную в части IIIА.
- ③ После окончания записи данных выключите переключатель питания на задней панели усилителя мощности.

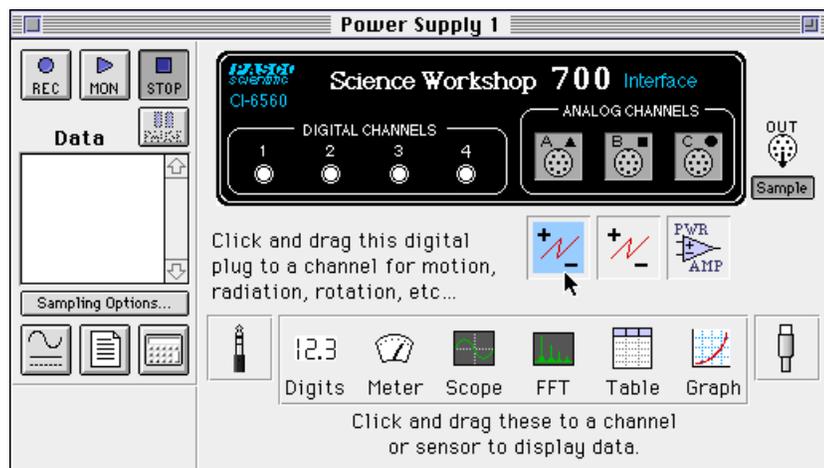
АНАЛИЗ ДАННЫХ. Выпрямление синусоидальной волны с помощью светодиода

- ① Повторите процедуру анализа данных, описанную в части IIIА.
- **Опционально:** если у вас есть принтер, то вы можете выбрать Print Active Display («Печать активного экрана») в меню File («Файл»).

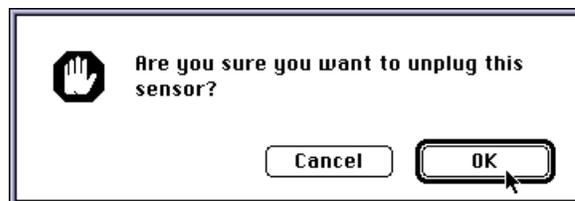
ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ «А». Раздел 4. Источник питания и один диод

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера

- ① Отключите датчик напряжения от аналогового канала «А» интерфейса.
- ② Увеличьте окно Experiment Setup («Настройки эксперимента») до полноэкранного размера, нажав на поле Zoom («Изменить масштаб») или на кнопку Restore («Восстановить»).
- ③ Нажмите на иконку датчика напряжения под аналоговым каналом «А», чтобы выделить её.



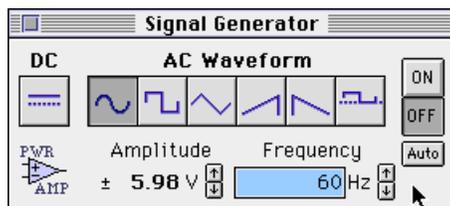
Нажмите на кнопку «Delete» на клавиатуре. Нажмите «OK» в открывшемся диалоговом окне с предупреждением.



- ④ Удалите кешы данных в таблице данных окна Experiment Setup («Настройки эксперимента»). Нажмите на кеше данных и на кнопку «Delete» на клавиатуре. Нажмите «OK» в открывшемся диалоговом окне с предупреждением.

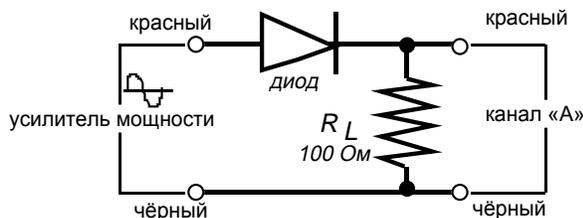
► **ПРИМЕЧАНИЕ:** для удаления обоих кешей данных одновременно нажмите и удерживайте клавишу «Shift» и выберите оба кеша данных.

- ⑤ Нажмите на окно Signal Generator («Генератор сигнала») или выберите его из меню Experiment («Эксперимент»). Нажмите на параметр Frequency («Частота»), чтобы выделить его. Введите «60» в качестве нового значения и нажмите клавишу ввода («Enter») на клавиатуре.



ЧАСТЬ II. Калибровка датчика и настройка оборудования

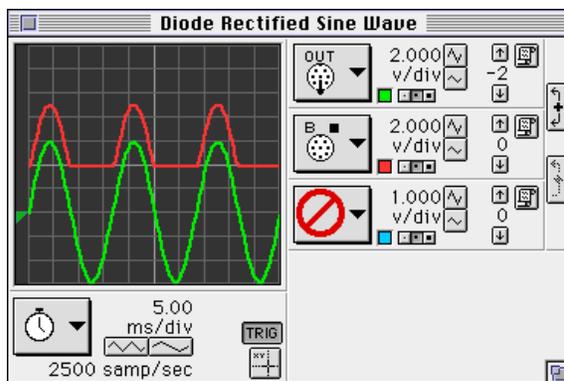
- Датчики калибровать не требуется.
- ① Замените резистор на 1 кОм резистором на 100 Ом в пружинах возле нижнего разъёма типа «банан». Резистор на 100 Ом будет являться резистором-нагрузкой.



- ② Подготовьте следующее оборудование для эксперимента: конденсатор на 470 мкФ, резистор на 10 Ом и три диода 1N-4007.

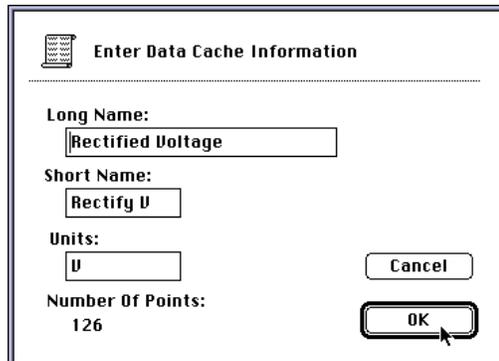
ЧАСТЬ IIIA. Запись данных — один диод-выпрямитель

- ① Включите переключатель питания на задней панели усилителя.
 - ② Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
 - ③ Нажмите кнопку MON («Мониторинг» — ) для отслеживания данных.
- Осциллограмма канала OUT («ВЫХОД») на экране Scope («Осциллоскоп») отображает выходное напряжение усилителя мощности. Осциллограмма канала «В» отображает напряжение на резисторе.



► **ПРИМЕЧАНИЕ:** осциллограмма выходного напряжения была смещена вниз для видимости обеих осциллограмм.

- ④ Нажмите кнопку STOP («СТОП»).
- ⑤ Нажмите на кнопку Data Snapshot («Снимок данных» — ) для канала «В». Введите требуемую информацию кеша данных в поле Long Name («Полное название»), Short Name («Сокращенное название») и Units («Ед. измерения») для сохранения данных для анализа.



Enter Data Cache Information

Long Name:
Rectified Voltage

Short Name:
Rectify U

Units:
U

Number Of Points:
126

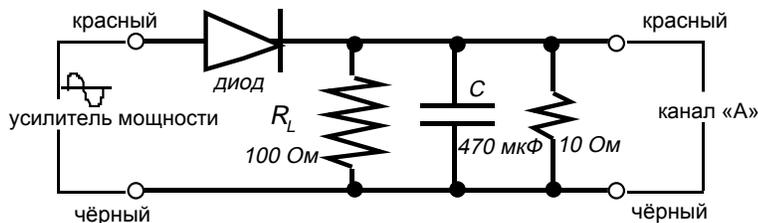
Cancel

OK

- ⑥ Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).

ЧАСТЬ IIIВ. Запись данных — диод и резистор

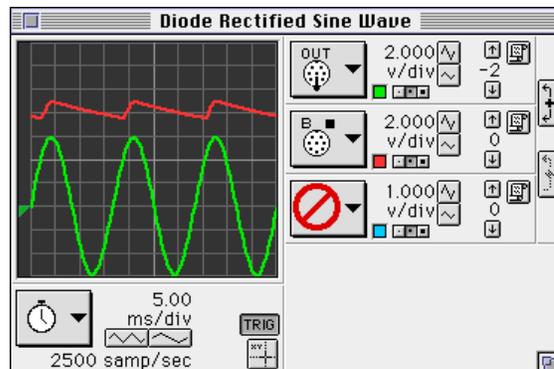
- ① Подключите конденсатор на 470 мкФ параллельно с резистором на 100 Ом. Осторожно согните ножки конденсатора, чтобы установить их в пружинах вместо резистора. Поместите короткую ножку конденсатора в правую пружину. Конденсатор будет работать в качестве фильтра.



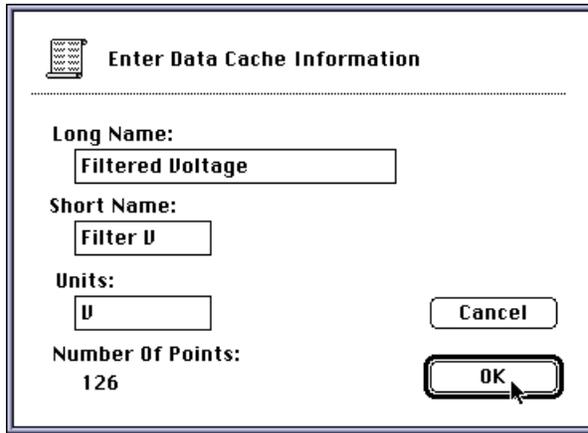
- ② Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).

- ③ Нажмите кнопку MON («Мониторинг» — ) для отслеживания данных.

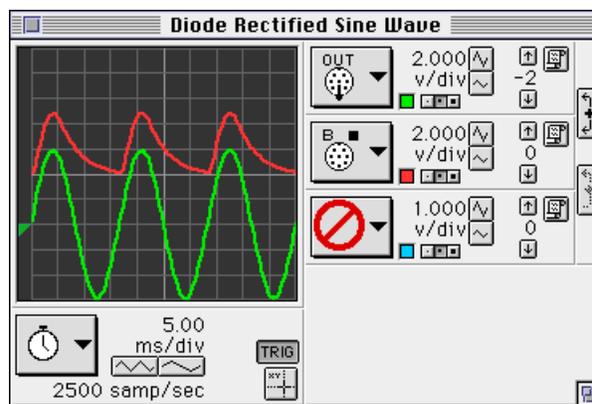
- Верхняя осциллограмма отображает напряжение на резисторе-нагрузке.



- ④ Нажмите кнопку STOP («СТОП»).
- ⑤ Нажмите на кнопку Data Snapshot («Снимок данных» — ) для канала «В». Введите требуемую информацию кеша данных в поле Long Name («Полное название»), Short Name («Сокращенное название») и Units («Ед. измерения») для сохранения данных для анализа.



- ⑥ Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ⑦ Соедините резистор на 10 Ом параллельно с резистором на 100 Ом и конденсатором на 470 мкФ. Резистор на 10 Ом имитирует двигатель или небольшую лампу накаливания.
- ⑧ Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ⑨ Нажмите кнопку MON («Мониторинг» — ) для отслеживания данных.



- ⑩ Нажмите кнопку STOP («СТОП»).
- ⑪ Нажмите на кнопку Data Snapshot («Снимок данных» — ) для канала «В». Введите требуемую информацию кеша данных в поле Long Name («Полное название»), Short Name («Сокращенное название») и Units («Ед. измерения») для сохранения данных для анализа.

Enter Data Cache Information

Long Name:
Load Resistor Voltage

Short Name:
Load V

Units:
V

Number Of Points:
126

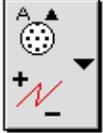
Cancel

OK

- ⑫ Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»). Выключите переключатель питания на задней панели усилителя мощности.

АНАЛИЗ ДАННЫХ. Источник питания и один диод

- ① Выберите Save As («Сохранить как») из меню File («Файл») для того, чтобы сохранить данные.
- ② Выберите функцию New Graph («Новый график») в меню Display («Экран»).

- ③ Измените входной сигнал. Нажмите на кнопку «Input Menu» («Меню входного сигнала» — ). Выберите Data Cache («Кеш данных»), а затем Rectified Voltage («Выпрямленное напряжение») в меню входного сигнала.

- ④ Нажмите на кнопку меню Add Plot («Добавить график» — ) в нижнем левом углу графика. Выберите Data Cache («Кеш данных»), а затем Filtered Voltage («Отфильтрованное напряжение») в меню Add Plot («Добавить график»).

- ⑤ Снова нажмите на кнопку меню Add Plot («Добавить график» — ) в нижнем левом углу графика. Выберите Data Cache («Кеш данных»), а затем Load Resistor Voltage («Напряжение резистора-нагрузки») в меню Add Plot («Добавить график»).

- ⑥ Нажмите на любую точку вертикальной оси верхнего графика («Выпрямленное напряжение»). Откроется окно Enter Plot Y Scale («Масштаб Y»).

Enter Plot Y Scale

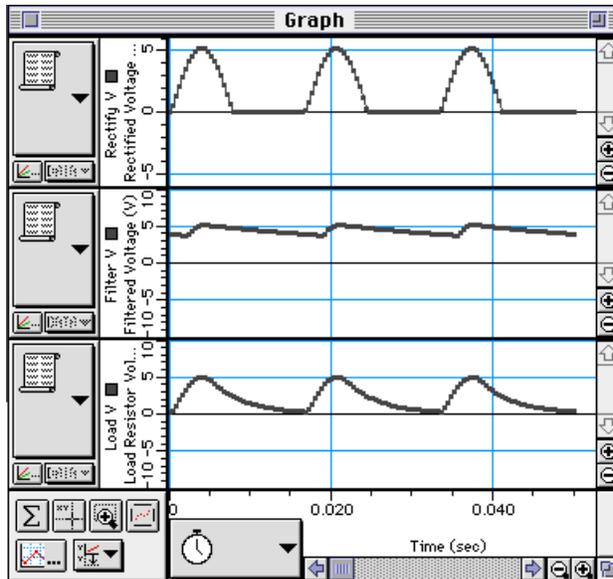
Max:
6.5

Min:
-6.5

Cancel

OK

- ⑦ Введите «6.5» для максимального значения и «-6.5» для минимального значения, а затем нажмите «ОК».
- ⑧ Нажмите на любую точку вертикальной оси среднего графика («Отфильтрованное напряжение»). Введите «10» для максимального значения и «-10» для минимального значения и нажмите «ОК». Повторите процедуру для нижнего графика («Напряжение резистора-нагрузки»).



- **Опционально:** если у вас есть принтер, то вы можете выбрать Print Active Display («Печать активного экрана») в меню File («Файл»).

ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ. Раздел 4. Источник питания

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера

- Настройку компьютера изменять не требуется.

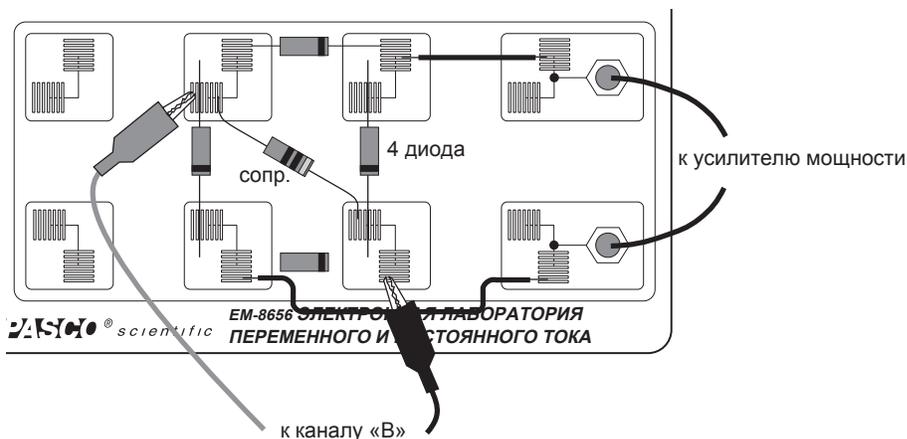
ЧАСТЬ II. Калибровка датчика и настройка оборудования

- ① Снимите резистор на 100 Ом с панели лаборатории переменного и постоянного тока.
- ② Поместите диод между второй и третьей пружинами слева от верхнего разъёма типа «банан». Установите диод таким образом, чтобы серая полоска (катод) была справа (ближе к разъёму типа «банан»).
- ③ Подключите второй диод параллельно первому между второй и третьей пружинами слева от нижнего разъёма типа «банан». Установите диод таким образом, чтобы конец с серой полоской (катод) был справа (ближе к разъёму типа «банан»).
- ④ Установите третий диод между пружиной у правой части верхнего диода и пружиной у правой части нижнего диода. Установите диод таким образом, чтобы серая полоска (катод) была направлена вниз.
- ⑤ Установите четвёртый диод между пружиной у левой части верхнего диода и пружиной у левой части нижнего диода. Установите диод таким образом, чтобы серая полоска (катод) была направлена вниз.

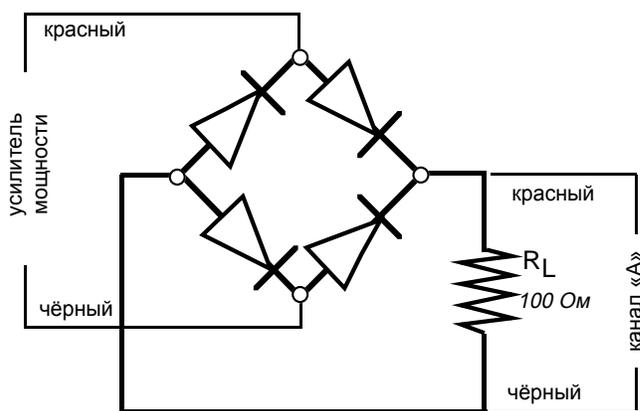
- Расположение диодов образует прямоугольник.

- ⑥ Поместите резистор на 100 Ом диагонально между верхним левым углом и нижним правым углом прямоугольника из диодов.

- ⑦ Подсоедините провод длиной 13 см к пружине возле верхнего разъёма типа «банан» и к пружине у ПРАВОЙ части первого диода.



- ⑧ Подсоедините провод длиной 25 см к пружине возле нижнего разъёма типа «банан» и к пружине у ЛЕВОЙ части второго диода.

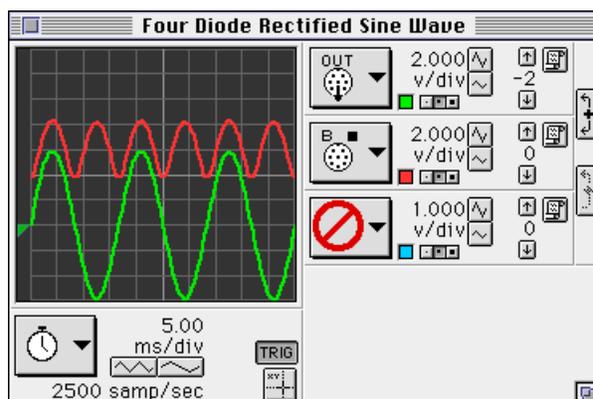


- ⑤ Подключите зажим типа «крокодил» с щупом с красным проводом датчика напряжения к пружине в левом верхнем углу прямоугольника из диодов («диодного моста»). Подключите зажим типа «крокодил» с щупом чёрного провода датчика напряжения к пружине в правом нижнем углу диодного моста.

Часть III. Запись данных — четырёхдиодный мостовой выпрямитель

- ① Включите переключатель питания на задней панели усилителя.
- ② Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ③ Нажмите кнопку MON («Мониторинг» — ) для отслеживания данных.

- Верхняя осциллограмма отображает напряжение на резисторе-нагрузке (вторая осциллограмма отображает выходное напряжение).



- Нажмите кнопку STOP («СТОП»).
- Нажмите на кнопку Data Snapshot («Снимок данных» — ) для канала «В». Введите требуемую информацию кеша данных в поле Long Name («Полное название»), Short Name («Сокращенное название») и Units («Ед. измерения») для сохранения данных для анализа.

 **Enter Data Cache Information**

Long Name:

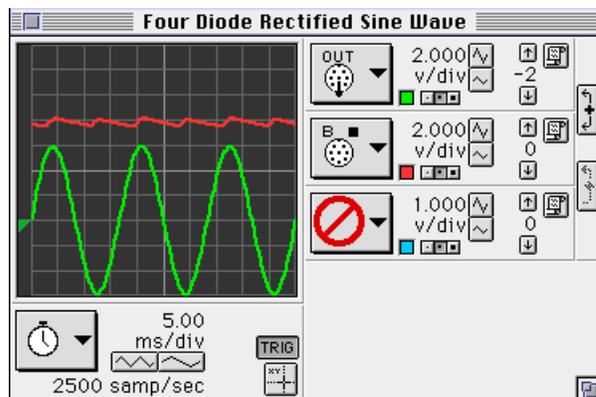
Short Name:

Units:

Number Of Points:
 126

- Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- Подключите конденсатор на 470 мкФ параллельно с резистором на 100 Ом.
- Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).

- ⑨ Нажмите кнопку MON («Мониторинг» — ) для отслеживания данных.



- ⑩ Нажмите кнопку STOP («СТОП»).
- ⑪ Нажмите на кнопку Data Snapshot («Снимок данных» — ) для канала «B». Введите требуемую информацию кеша данных в поле Long Name («Полное название»), Short Name («Сокращенное название») и Units («Ед. измерения») для сохранения данных для анализа.

 **Enter Data Cache Information**

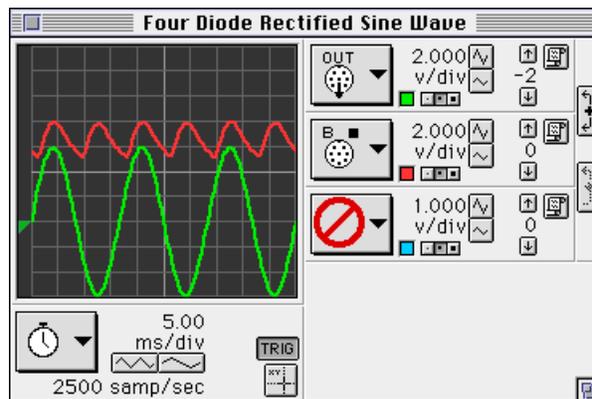
Long Name:

Short Name:

Units:

Number Of Points:
 126

- ⑫ Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ⑬ Соедините резистор на 10 Ом параллельно с конденсатором на 470 мкФ и резистором на 100 Ом.
- ⑭ Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ⑮ Нажмите кнопку MON («Мониторинг» — ) для отслеживания данных.



- ⑩ Нажмите кнопку STOP («СТОП»).
- ⑪ Нажмите на кнопку Data Snapshot («Снимок данных» — ) для канала «B». Введите требуемую информацию кеша данных в поле Long Name («Полное название»), Short Name («Сокращенное название») и Units («Ед. измерения») для сохранения данных для анализа.

 **Enter Data Cache Information**

Long Name:

Short Name:

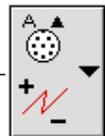
Units:

Number Of Points:
 126

- ⑫ Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»). Выключите переключатель питания на задней панели усилителя мощности.

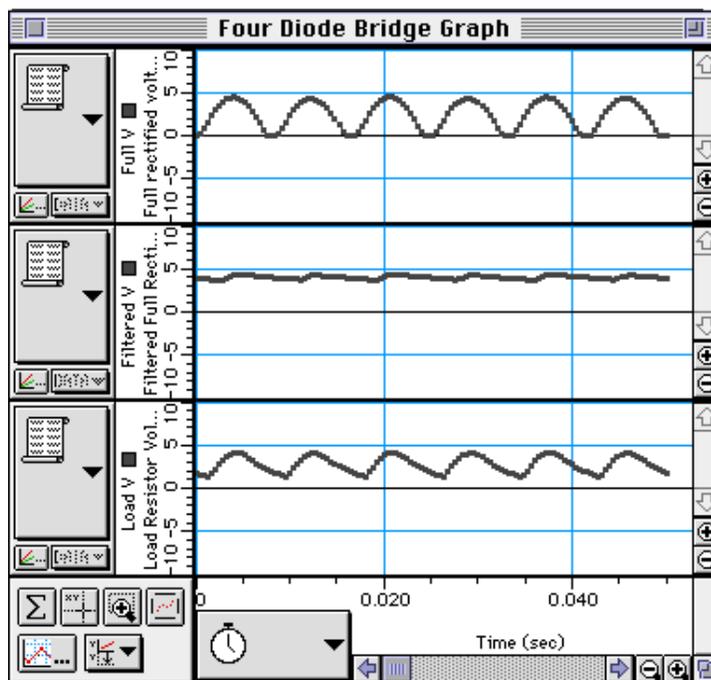
АНАЛИЗ ДАННЫХ. Четырёхдиодный мост

- ① Выберите Save As («Сохранить как») из меню File («Файл») для того, чтобы сохранить данные.
- ② Выберите функцию New Graph («Новый график») в меню Display («Экран»).

- ③ Измените входной сигнал. Нажмите на кнопку «Input Menu» («Меню входного сигнала» — )

Выберите Data Cache («Кеш данных»), а затем Full Rectified Voltage («Полное выпрямленное напряжение») в меню входного сигнала.

- ④ Нажмите на кнопку меню Add Plot («Добавить график» — ) в нижнем левом углу графика. Выберите Data Cache («Кеш данных»), а затем Filtered Full Rectified Voltage («Отфильтрованное полное выпрямленное напряжение») в меню Add Plot («Добавить график»).
- ⑤ Снова нажмите на кнопку меню Add Plot («Добавить график» — ) в нижнем левом углу графика. Выберите Data Cache («Кеш данных»), а затем Load Resistor Voltage («Напряжение резистора-нагрузки») в меню Add Plot («Добавить график»).
- ⑥ Нажмите на любую точку вертикальной оси верхнего графика («Полное выпрямленное напряжение»). Откроется окно Enter Plot Y Scale («Масштаб Y»).
- ⑦ Введите «10» для максимального значения и «-10» для минимального значения, а затем нажмите «ОК».
- ⑧ Нажмите на любую точку вертикальной оси среднего графика («Отфильтрованное полное выпрямленное напряжение»). Введите «10» для максимального значения и «-10» для минимального значения и нажмите «ОК». Повторите процедуру для нижнего графика («Напряжение резисторанагрузки»).



- **Опционально:** если у вас есть принтер, то вы можете выбрать Print Active Display («Печать активного экрана») в меню File («Файл»).

Вопросы

- ① В чём разница между графиками напряжения на диоде и напряжения на резисторе и полной синусоидальной волной (раздел 3)?
- ② Основываясь на ответах на предыдущих экспериментах с диодами, объясните, почему у графиков напряжения на диоде и напряжения на резисторе именно такая форма кривой и размер (часть 1, раздел 3).
- ③ Как графики напряжения на диоде и напряжения на резисторе изменяются при замене диода светодиодом (раздел 3)? Поясните свой ответ.
- ④ Что происходит с осциллограммой напряжения на диоде при подключении конденсатора на 470 мкФ параллельно резистору на 100 Ом (часть 1, раздел 4)? Почему конденсатор считается фильтром?
- ⑤ Что происходит с осциллограммой напряжения на диоде при подключении резистора на 10 Ом параллельно конденсатору на 470 мкФ и резистору на 100 Ом (часть 1, раздел 4)?
- ⑥ В чём разница между осциллограммой напряжения на резисторе 100 Ом из четырёхдиодного моста и осциллограммой напряжения на одном диоде (часть 2, раздел 3)?
- ⑦ Что происходит с осциллограммой напряжения четырёхдиодного моста при подключении конденсатора на 470 мкФ параллельно резистору на 100 Ом? В чём разница между этой осциллограммой и подобной отфильтрованной осциллограммой из третьей части третьего раздела?
- ⑧ Что происходит с осциллограммой напряжения на четырёхдиодном мосте при параллельном подключении резистора на 10 Ом? В чём разница между этой осциллограммой и подобной осциллограммой напряжения резистора-нагрузки (часть 3, модуль 3)?
- ⑨ Сравните характеристики цепи с одним диодом и четырёхдиодного моста в плане обеспечения постоянного, стабильного напряжения постоянного тока при подсоединении нагрузки с низким сопротивлением.

Эксперимент 17. Эксперимент с транзисторами № 1 — транзистор n-p-n в качестве цифрового переключателя

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Компьютер и интерфейс *Science Workshop*™
- Усилитель мощности CI-6552A
- Датчик напряжения CI-6503
- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока EM-8656
- Регулируемый источник питания постоянного тока (минимум +5 В)
- Коммутационные шнуры с заглушками типа «банан» (например, SE-9750)

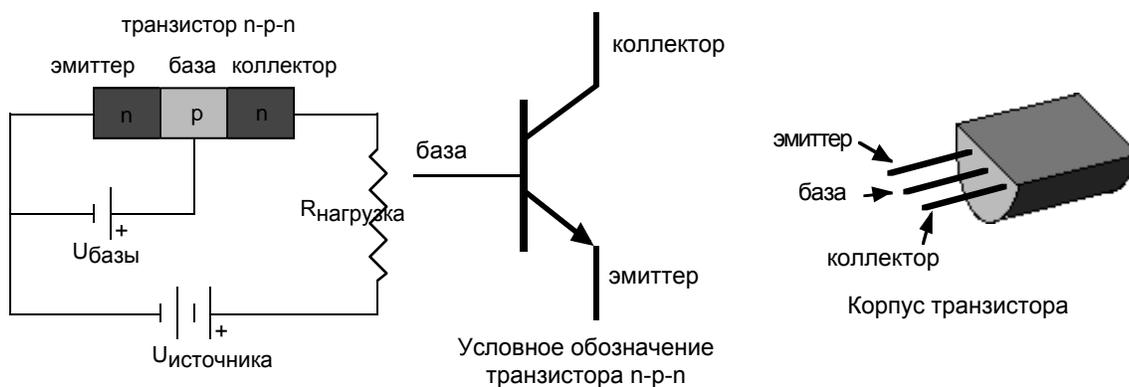
Цель

Цель эксперимента — исследовать работу транзистора n-p-n в качестве цифрового переключателя.

Теоретическая информация

Транзистор является важным компонентом каждой электронной цепи, которую используют как простейшие усилители и осцилляторы, так и самые сложные цифровые компьютеры. Интегрированные цепи, которые в значительной мере заменили цепи, состоящие из отдельных транзисторов, фактически представляют собой массивы транзисторов и других компонентов, созданных из одной тончайшей детали или «кристалла» полупроводникового материала.

Транзистор — это полупроводниковое устройство, включающее в себя два pn-перехода в трёхслойной структуре, которая может быть типа p-n-p или, как в данном эксперименте, типа n-p-n. Эти три основных участка транзистора называются эмиттером, базой и коллектором.



В цепи транзистора ток, проходящий через контур коллектора, контролируется током, поступающим к базе.

Напряжение коллектора может быть значительно выше, чем напряжение базы. Следовательно, мощность, рассеиваемая резистором, может быть значительно выше мощности, подаваемой на базу источником напряжения. Устройство представляет собой усилитель мощности (сравните: повышающий трансформатор — это усилитель напряжения, а не усилителем мощности). Выходной сигнал имеет большую мощность, чем входной сигнал. Дополнительное питание поступает от внешнего источника (источника питания). Контур транзистора может повысить силу тока или напряжение. Цепь может работать как источник постоянного тока или постоянного напряжения.

Цепь транзистора может работать как «цифровой» электрический переключатель. Для пуска электрических приборов (например, двигателей), которые могут генерировать большие объёмы мощностей, используются механические электропереключатели, включение которых не требует большого количества энергии. В «цифровой» транзисторной цепи небольшая мощность, подаваемая на базу, используется для «пуска» гораздо большего объёма мощности, подаваемой от коллектора.

В данном разделе представлена общая информация. Транзистор — это трёхполюсный прибор. Условное обозначение напряжения на выходе транзистора относительно земли указывается одной буквой, например U_c — напряжение коллектора. Напряжение между двумя выходами указывается двумя буквами: U_{be} , например, означает перепад напряжения от базы к эмиттеру. Если одна и та же буква повторяется, то это означает напряжение питания: U_{cc} — положительное напряжение питания коллектора.

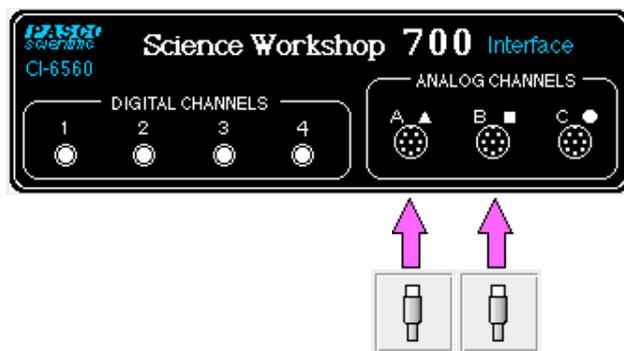
Стандартный транзистор n-p-n обладает следующими свойствами:

- ① коллектор должен иметь большее положительное напряжение, чем эмиттером;
- ② принцип действия цепей база-эмиттер и база-коллектор аналогичен диодам. Базово-эмиттерная цепь (диод) проводит напряжение в номинальном режиме, если напряжение на базе выше, чем на эмиттере на 0,6–0,8 В (стандартное прямое напряжение «включения» для диода).
Базово-коллекторная цепь (диод) имеет обратное смещение (для получения информации о диодах см. предыдущие эксперименты);
- ③ у транзистора максимальны значения I_c , I_b , и V_{ce} и другие предельные значения, такие как рассеивание ($I_c U_{ce}$) и температура;
- ④ при соблюдении правил 1–3 коэффициент усиления по току будет равным отношению тока коллектора I_c к току базы I_b . Небольшое количество тока, протекающего в базу, управляет гораздо большим количеством тока, протекающего в коллектор. Это отношение, обозначаемое буквой бета, как правило, составляет около 100.

ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера

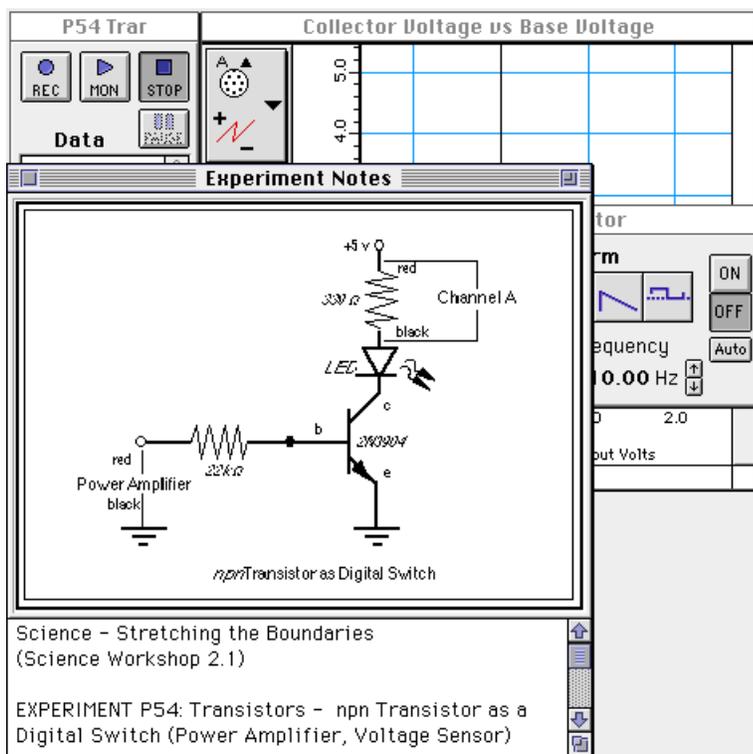
- ① Подсоедините интерфейс *Science Workshop* к компьютеру, включите интерфейс, а затем включите компьютер.
- ② Соедините датчик напряжения с аналоговым каналом «А».
- ③ Соедините усилитель мощности с аналоговым каналом «В». Подключите шнур питания к разъёму на задней панели усилителя мощности, а затем — к розетке питания.



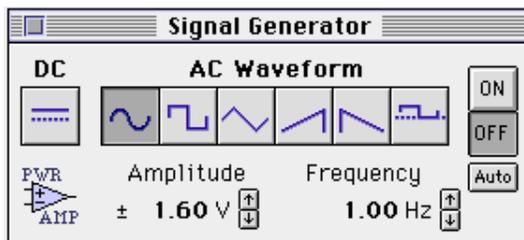
- ④ В папке «Physics» («Физика») экспериментальной библиотеки интерфейса *Science Workshop* откройте документ:

Macintosh — «P54 Transistor Lab 1» / Windows — «P54_TRN1.SWS»

При открытии документа отобразится окно Graph («График») с графиком зависимости V_{base} (напряжения в базе, В) от времени (с), графика соотношения $V_{collector}$ (напряжения в коллекторе, В) от времени (с), а также окно Signal Generator («Генератор сигнала»), на котором осуществляется управление усилителем мощности.



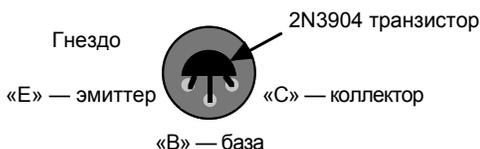
- **ПРИМЕЧАНИЕ:** для получения справочной информации откройте окно Experiment Notes («Примечания к экспериментам»). Чтобы переместить экран на передний план, щелкните на его окне или выберите имя экрана из списка в конце меню Display («Экран»). Измените параметры окна Experiment Setup («Настройки эксперимента»), нажав на поле Zoom («Изменить масштаб») или на кнопку Restore («Восстановить») в правом верхнем углу окна.
- ⑤ Параметры окна Sampling Options («Режимы измерения») следующие: Periodic Samples («Периодическая выборка») равно 200 Гц, Start Condition («Условие пуска») — при Analog Output («Аналоговый выходной сигнал»), равному 0,01 В, а Stop Condition («Условие остановки») — значение Samples («Замеры») равно 200.
- ⑥ Параметры окна Signal Generator («Генератор сигналов»): выходное значение напряжения — $\pm 1,60$ В при 1 Гц, форма кривой переменного тока — синусоидальная.



- ⑦ Расположите экран Graph («График») и окно Signal Generator («Генератор сигналов») таким образом, чтобы можно было видеть их информацию одновременно.
- График зависимости V_{base} (напряжения базы) от времени отображает выходной сигнал от усилителя мощности (аналоговый выходной сигнал). График $V_{collector}$ (напряжения коллектора) отображает перепад напряжения на резисторе 330 Ом (аналоговой канал «А»).

ЧАСТЬ II. Калибровка датчика и настройка оборудования

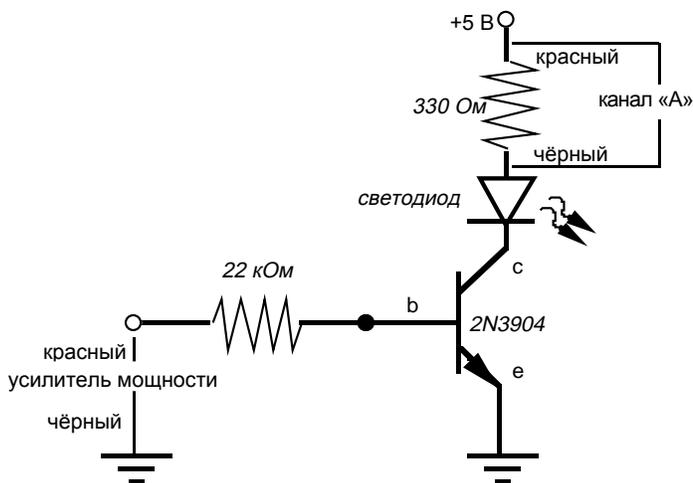
- Датчик напряжения или усилитель мощности калибровать не требуется.
- ① Установите транзистор 2N3904 в гнездо на панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока. Транзистор имеет форму полуцилиндра с одной плоской стороной. Гнездо имеет три отверстия с маркировкой: «Е» (эмиттер), «В» (база) и «С» (коллектор). Если смотреть на плоскую сторону транзистора, то ножки будут внизу: ножка слева будет эмиттером, посередине — базой, а справа — коллектором.



▶ **ВНИМАНИЕ:** неправильное подключение может привести к выходу из строя транзистора.

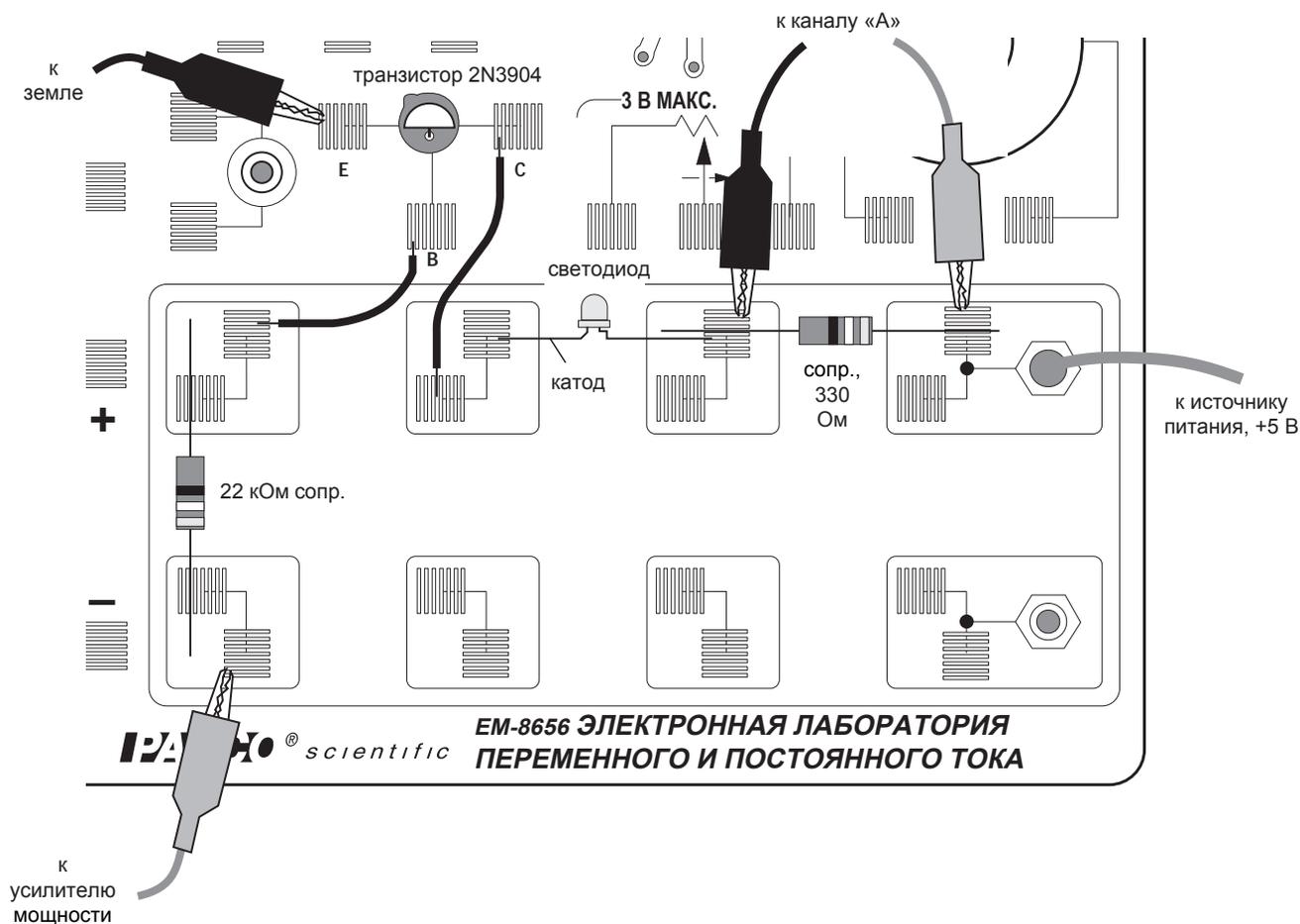
Гнездо транзистора (вид сверху)

- ② Подсоедините резистор на 22 кОм (красный, красный, оранжевый) вертикально к пружинам на левом краю посадочной зоны.
- ③ Подсоедините резистор на 330 Ом (оранжевый, оранжевый, коричневый) горизонтально к пружинами слева от верхнего разъёма типа «банан».
- ④ Осторожно согните ножки красного светодиода, чтобы разместить их в пружинах. Подсоедините светодиод к пружинам слева от резистора на 330 Ом. Расположите диод таким образом, чтобы его катод (короткая ножка) был направлен влево (от резистора).
- ⑤ Подсоедините один провод к пружине у базы транзистора и к пружине сверху от резистора на 22 кОм.
- ⑥ Подсоедините другой провод к пружине у коллектора транзистора и к пружине у левой части светодиода.
- ⑦ Подсоедините красный коммутационный шнур с заглушкой типа «банан» к верхнему разъёму типа «банан» и к положительному выходу (+) источника питания постоянного тока.
- ⑧ Подсоедините чёрный коммутационный шнур с заглушкой типа «банан» к отрицательному выходу (-) питания постоянного тока и к пружине на эмиттерном выходе транзистора.



п-р-п Транзистор в качестве цифрового переключателя

- ⑨ Подсоедините чёрный коммутационный шнур с заглушкой типа «банан» к отрицательному выходу (-) усилителя и к отрицательному выходу источника питания постоянного тока.
- ⑩ Прикрепите зажимы типа «крокодил» на разъёмы типа «банан» датчика напряжения. Подсоедините красный щуп датчика к пружине у правой части резистора на 330 Ом, а чёрный щуп — к левому концу этого резистора.
- ⑪ Подсоедините красный провод (+) от усилителя мощности с зажимом типа «крокодил» к нижней части резистора на 22 кОм.



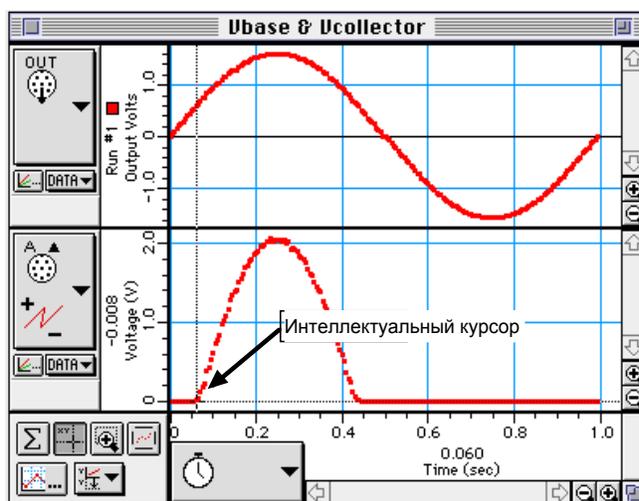
Часть III. Запись данных

- ① Включите источник питания постоянного тока и отрегулируйте выходное напряжение, установив его точно на +5 В.
- ② Включите переключатель питания на задней панели усилителя.
- ③ Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- Наблюдайте за поведением светодиода. Опишите увиденное.
- ④ Нажмите кнопку REC («Запись» — ) для записи данных. Запись данных автоматически завершится после 200 замеров.
- В таблице данных окна Experiment Setup («Настройки эксперимента») появится надпись Run #1 («Прогон 1»).

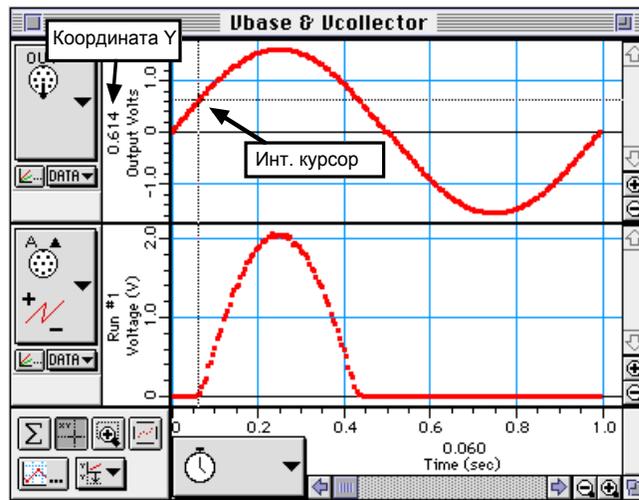
- ⑤ Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ⑥ Выключите переключатель питания на задней панели усилителя мощности. Отключите питание постоянного тока.

АНАЛИЗ ДАННЫХ

- ① Нажмите на экран Graph («График») для его активации. Выберите Save As («Сохранить как») из меню File («Файл») для того, чтобы сохранить данные.
 - ② Нажмите на кнопку Autoscale («Автомасштаб» — ), чтобы изменить размер графика для размещения данных.
- **Опционально:** если у вас есть принтер, то вы можете выбрать Print Active Display («Печать активного экрана») в меню File («Файл»).
- ③ Нажмите на кнопку «Smart Cursor» («Интеллектуальный курсор») Курсор меняет свой вид на крестообразный при перемещении на зону отображения.
 - Координата X крестообразного курсора отображается под горизонтальной осью. Координата Y крестообразного курсора отображается возле вертикальной оси.
 - ④ Поместите курсор в точку на графике Vcollector (напряжения коллектора), где напряжение впервые переходит в положительное значение. Удерживайте клавишу «Shift».



- ⑤ Удерживая кнопку Shift, переместите крестообразный курсор вертикально вдоль пунктирной линии до достижения точки на графике Vbase (напряжения базы), соответствующей аналогичной точке на графике Vcollector (напряжения коллектора).



- ⑥ Запишите координату Y этой точки на графике Vbase (напряжения базы).

напряжение: _____ (В)

ВОПРОСЫ

- ① Как себя ведёт светодиод при токе в цепи?
- ② В чём разница между формой кривой графика Vbase (напряжение базы) и формой кривой графика Vcollector (напряжение коллектора)?
- ③ Какое напряжение отображается на графике Vbase (напряжение базы) при включении светодиода (т. е. когда напряжение Vcollector (напряжение коллектора) начинает переходить в положительное значение)?
- ④ Как соотносится поведение светодиода и отображение точки на графике Vcollector (напряжение коллектора) при переходе напряжения в положительное значение?

Эксперимент 18. Эксперимент с транзисторами № 2 — коэффициент усиления по току. Эмиттерный повторитель n-p-n

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

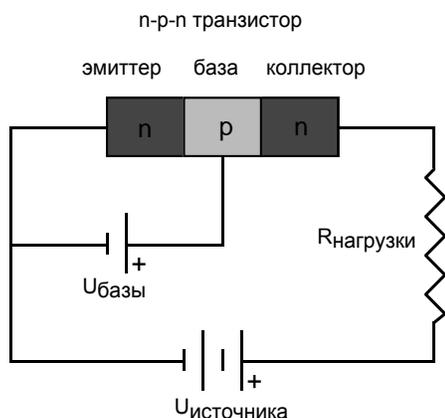
- Компьютер и интерфейс *Science Workshop™*
- Усилитель мощности CI-6552A
- 2 датчика напряжения CI-6503
- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока EM-8656
- Регулируемый источник питания постоянного тока (минимум +5 В)
- Коммутационный шнур с заглушками типа «банан» (например, SE-9750)

Цель

Цель эксперимента заключается в исследовании характеристик передачи постоянного тока транзистора n-p-n, а также определение коэффициента усиления по току транзистора.

Теоретическая информация

Транзисторы — это базовые элементы современных электронных усилителей любого типа. В цепи транзистора ток, проходящий через контур коллектора, контролируется током, поступающим к базе.



Напряжение, подаваемое на базу, называется напряжением смещения на базе. Если оно положительно, то электроны из эмиттере дрейфуют в базу. Поскольку база имеет весьма малую толщину (около 1 микрона), большинство электронов в эмиттере проходят сквозь неё в коллектор, на котором поддерживается положительное напряжение. Ток относительно большой силы I_c протекает между коллектором и эмиттером, а ток значительно меньшей силы I_b протекает через базу.

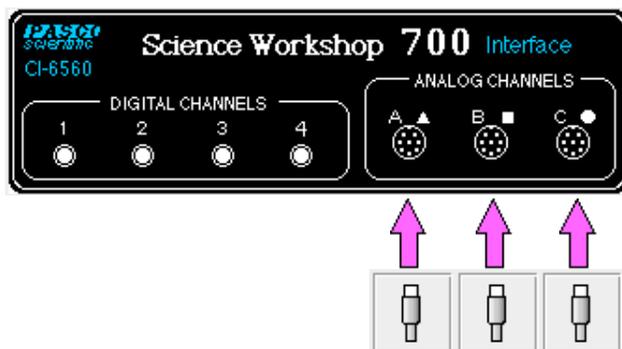
Небольшое изменение базового напряжения, вызванное входным сигналом, приводит к значительному изменению силы тока коллектора, и, следовательно, значительному перепаду напряжения на выходном резисторе $R_{нагрузки}$. Мощность, рассеянная резистором, может быть значительно выше мощности, подаваемой на базу её источником напряжения. Данное устройство работает в качестве усилителя мощности. Для усиления (или коэффициента усиления) важно изменение тока коллектора на соответствующее изменение в токе базы. *Коэффициент усиления* можно определить как соотношение выходного тока и входного тока.

Контур транзистора может повысить силу тока или напряжение.

ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера

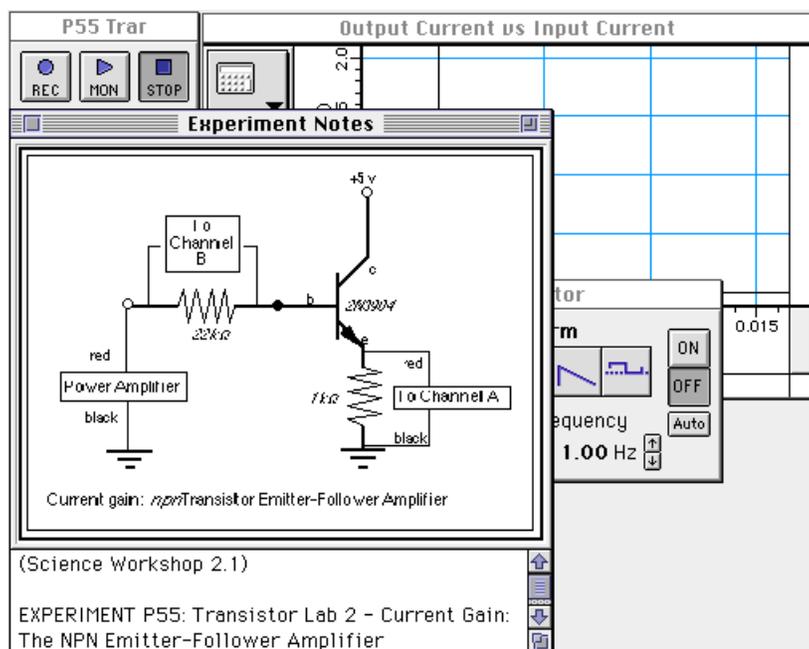
- ① Подключите интерфейс *экспериментальной библиотеки интерфейса Science Workshop* к компьютеру, включите его и включите компьютер.
- ② Соедините один датчик напряжения с аналоговым каналом «А». Соедините другой датчик напряжения с аналоговым каналом «В».
- ③ Соедините усилитель мощности с аналоговым каналом «С». Подключите шнур питания к разъёму на задней панели усилителя мощности, а затем — к розетке питания.



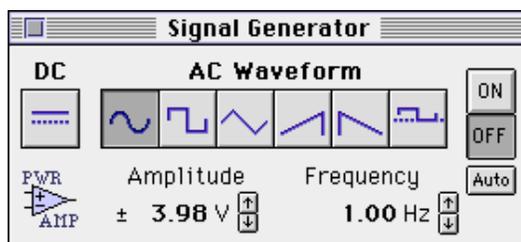
- ④ В папке «Physics» («Физика») экспериментальной библиотеки интерфейса *Science Workshop* откройте документ:

Macintosh — «P55 Transistor Lab 2» / Windows — «P55_TRN2.SWS»

При открытии документа отобразится окно Graph («График») с графиком зависимости выходного тока (мА) для аналогового канала «В» от входного тока (мА) для аналогового канала «А», а также окно Signal Generator («Генератор сигнала»), в котором осуществляется управление усилителем мощности (аналоговым выходом).



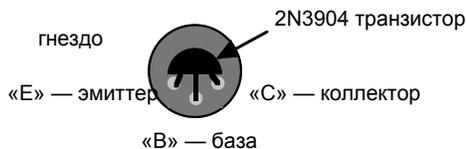
- **ПРИМЕЧАНИЕ:** для получения справочной информации откройте окно Experiment Notes («Примечания к экспериментам»). Чтобы переместить экран на передний план, щелкните на его окне или выберите имя экрана из списка в конце меню Display («Экран»). Измените параметры окна Experiment Setup («Настройки эксперимента»), нажав на поле Zoom («Изменить масштаб») или на кнопку Restore («Восстановить») в правом верхнем углу окна.
- ⑤ Параметры окна Sampling Options («Режимы измерения») следующие: Periodic Samples («Периодическая выборка») равно 200 Гц, Start Condition («Условие пуска») — при Analog Output («Аналоговый выходной сигнал»), равному 0,01 В, а Stop Condition («Условие остановки») — значение Samples («Замеры») равно 200.
- ⑥ Параметры окна Signal Generator («Генератор сигналов»): выходное значение напряжения — 3,98 В при 1,00 Гц, форма кривой переменного тока — синусоидальная.



- ⑦ Расположите экран Graph («График») и окно Signal Generator («Генератор сигналов») таким образом, чтобы можно было видеть их информацию одновременно.
- Выходной ток (вертикальная ось) вычисляется делением значения перепада напряжения на резисторе 1 кОм (аналогового канала «В») на значение сопротивления. Входной ток (горизонтальная ось) вычисляется делением значения перепада напряжения на резисторе 22 кОм (аналогового канала «А») на значение сопротивления.

ЧАСТЬ II. Калибровка датчика и настройка оборудования

- Датчик напряжения или усилитель мощности калибровать не требуется.
- ① Установите транзистор 2N3904 в гнездо на панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока. Транзистор имеет форму полупцилиндра с одной плоской стороной. Гнездо имеет три отверстия с маркировкой: «Е» (эмиттер), «В» (база) и «С» (коллектор). Если смотреть на плоскую сторону транзистора, то ножки будут внизу: ножка слева будет эмиттером, посередине — базой, а справа — коллектором.

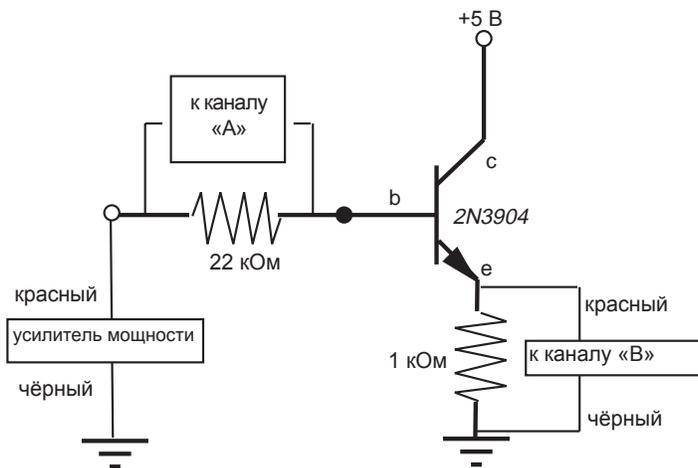
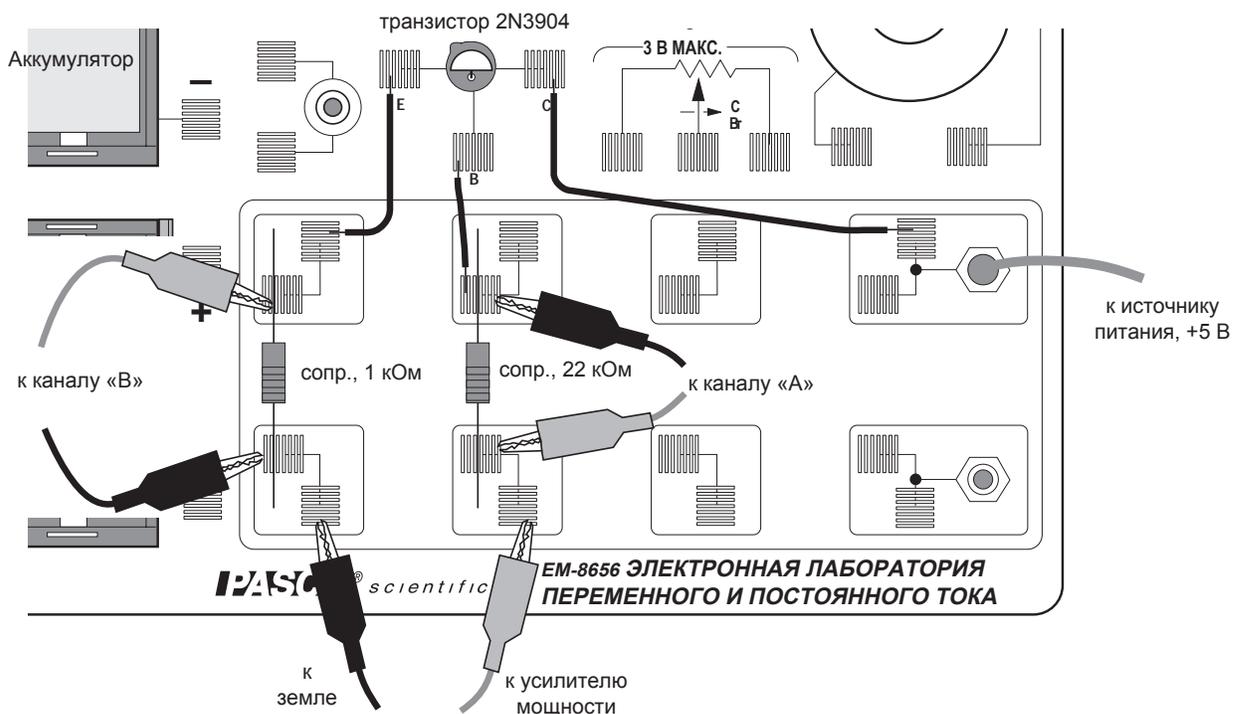


► **ВНИМАНИЕ:** неправильное подключение может привести к выходу из строя транзистора.

Гнездо транзистора (вид сверху)

- ② Подсоедините резистор на 1 кОм (коричневый, чёрный, красный) вертикально к пружине у левого края посадочной зоны на панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока.
- ③ Подсоедините резистор на 22 кОм (красный, красный, оранжевый) вертикально к пружинам вправо от резистора на 1 кОм.
- ④ Подсоедините провод к пружине возле выхода эмиттера транзистора и к пружине у верхнего конца резистора на 1 кОм.
- ⑤ Подсоедините дополнительный провод к пружине у базы транзистора и к пружине у верхней части резистора на 22 кОм.
- ⑥ Подсоедините ещё один провод к пружине у коллектора транзистора и к пружине у верхнего разъёма типа «банан».

- ⑦ Подсоедините красный коммутационный шнур с заглушкой типа «банан» к положительному выходу (+) источника питания постоянного тока и к верхнему разъёму типа «банан».
- ⑧ Подсоедините красный коммутационный шнур с заглушкой типа «банан» к положительному выходу (+) усилителя мощности и к пружине на нижнем конце резистора на 22 кОм.
- ⑨ Подсоедините чёрный коммутационный шнур с заглушкой типа «банан» к отрицательному выходу (-) источника питания и к пружине на нижнем конце резистора на 1 кОм.
- ⑩ Подсоедините чёрный коммутационный шнур с заглушкой типа «банан» к отрицательному выходу (-) усилителя и к отрицательному выходу источника питания постоянного тока.



Усиление по току: эмиттерный повторитель транзистора n-p-n

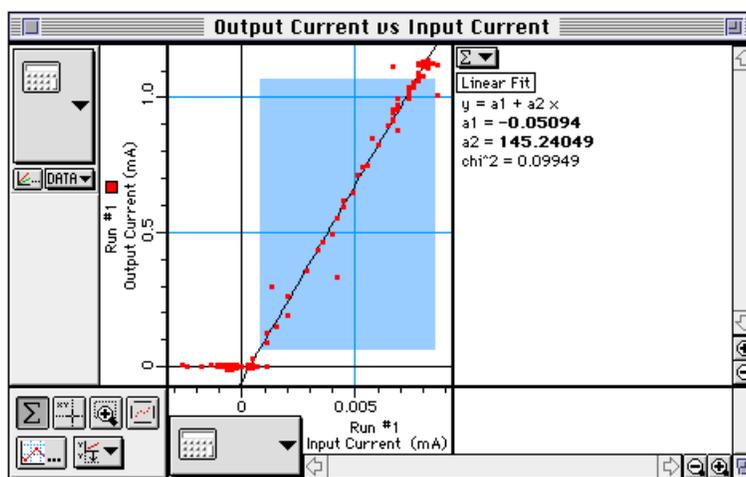
- ⑪ Прикрепите зажимы типа «крокодил» на разъёмы типа «банан» обоих датчиков напряжения. Подсоедините чёрный зажим типа «крокодил» датчика напряжения в аналоговом канале «А» к пружине у верхней части резистора на 22 кОм, а красный зажим — к пружине у нижней части этого резистора.
- ⑫ Подсоедините красный зажим типа «крокодил» датчика напряжения в аналоговом канале «В» к пружине у верхней части резистора на 1 кОм, а чёрный зажим — к пружине у нижней части этого резистора.

ЧАСТЬ IIIA. Запись данных — $\pm 1,5$ В

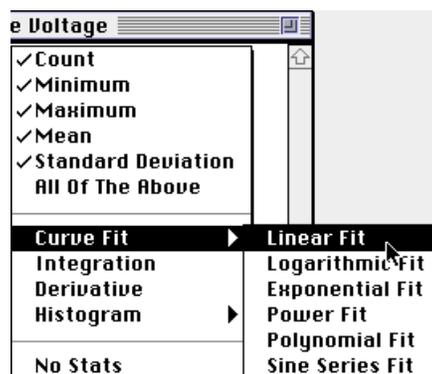
- ① Включите источник питания постоянного тока и отрегулируйте выходное напряжение, установив его точно на +5 В.
- ② Включите переключатель питания на задней панели усилителя.
- ③ Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ④ Нажмите кнопку REC («Запись» — ) для записи данных. Запись данных автоматически завершится после 200 замеров.
 - В таблице данных окна Experiment Setup («Настройки эксперимента») появится надпись Run #1 («Прогон 1»).
- ⑤ Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ⑥ Выключите переключатель питания на задней панели усилителя мощности. Отключите питание постоянного тока.

Анализ данных

- ① Нажмите на экран Graph («График») для его активации. Выберите Save As («Сохранить как») из меню File («Файл») для того, чтобы сохранить данные.
 - Поскольку в окне Graph («График») отображается график напряжения на резисторе 1 кОм и напряжения на резисторе на 22 кОм, то график представляет собой кривую выходного тока, т. е. ток коллектора I_c и входной ток «базы» (I_b).
 - Наклон линейной зоны графика позволяет найти коэффициент усиления по току транзистора.
- ② Нажмите на кнопку «Статистика» (). Затем нажмите на кнопку Autoscale («Автомасштаб» — ) , чтобы изменить размер графика для размещения данных.
- ③ На экране Graph («График») с помощью курсора перетащите прямоугольник по линейному участку графика.



- ④ В разделе «Статистика» в правой части экрана Graph («График») нажмите на кнопку меню «Статистика» (). Выберите пункт Curve Fit («Форма кривой»), а затем «Linear Fit» («Линейная форма») в меню Statistics («Статистика»).



- **Опционально:** если у вас есть принтер, то вы можете выбрать Print Active Display («Печать активного экрана») в меню File («Файл»).

- ⑤ Коэффициент a_2 функции Linear Fit («Линейная форма») — это наклон её линейной части. Зафиксируйте значение наклона.
- Наклон можно вычислить следующим образом:

наклон = $\Delta I_c / \Delta I_b = \beta$, где β — коэффициент усиления по току транзистора.

- ⑥ Запишите значение коэффициента усиления по току транзистора 2N3904.

коэффициент усиления по току = _____

Вопросы

- ① В чём разница между кривой графика транзистора и кривой графика зависимости силы тока от напряжения диода?
- ② Каково значение коэффициента усиления по току транзистора 2N3904?

Эксперимент 19. Эксперимент с транзисторами № 3 — усилитель с общим эмиттером

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

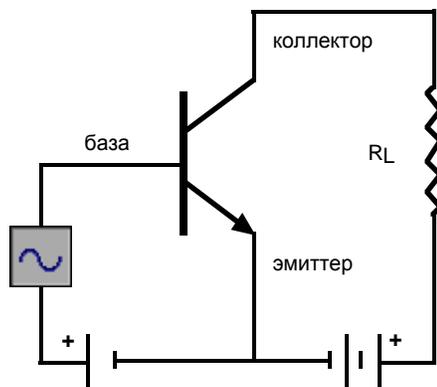
- Компьютер и интерфейс *Science Workshop™*
- Усилитель мощности CI-6552A
- Датчик напряжения CI-6503
- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока EM-8656
- Регулируемый источник питания постоянного тока (минимум +5 В)
- Коммутационный шнур с заглушками типа «банан» (например, SE-9750)

Цель

Цель эксперимента — исследовать характеристики усиления напряжения и тока транзистора *n-p-n* в цепи усилителя с общим эмиттером.

Теоретическая информация

В транзисторе *n-p-n* ток, поступающий к базе, имеет значительно меньшую силу, чем ток, поступающий к коллектору. Это свойство позволяет использовать транзистор в качестве усилителя. Транзистор может повысить ток и напряжение.

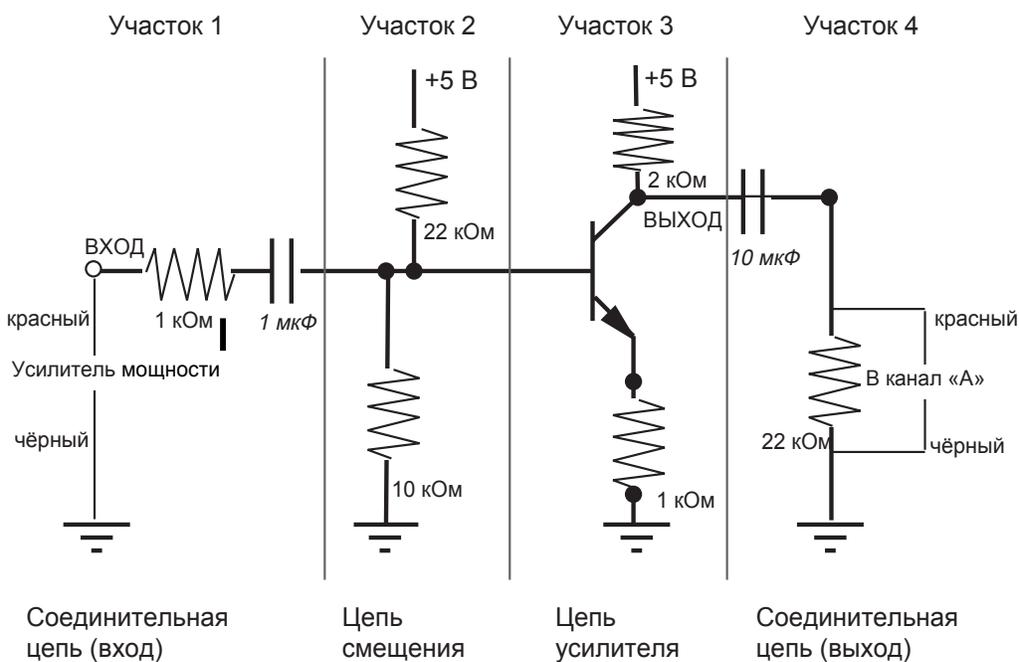


Усилитель *n-p-n* с общим эмиттером

Если напряжение на входе достаточно низкое и гораздо ниже, чем напряжение прямого смещения на соединении эмиттера, то ток на входе встретит малый импеданс. Входное напряжение не должно быть высоким для получения больших значений тока.

Кроме того, поскольку выходное напряжение на резисторе-нагрузке R_L — это произведение выходного тока (тока коллектора) и значения R_L , выходное напряжение тоже может быть высоким. В результате этого выходное напряжение может быть значительно выше, чем входное.

Название «усилитель с общим эмиттером» означает, что провод базы транзистора и провод коллектора транзистора соединяются на проводе эмиттера, т. е. эмиттерный провод является общим для них.

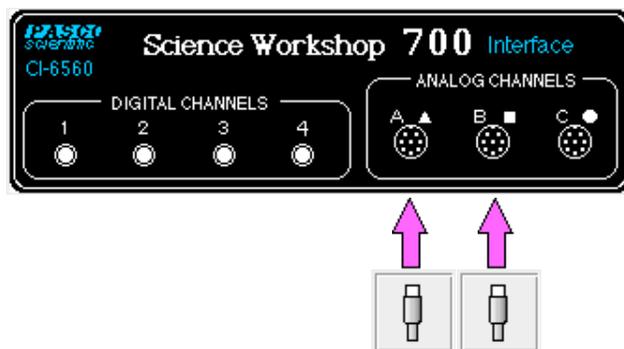


Каждый участок цепи усилителя с общим эмиттером выполняет отдельную функцию. На участке 1 входная соединительная цепь не даёт напряжению постоянного тока вызывать изменения в цепи смещения. Участок 2 (цепи смещения) подаёт напряжение, которое поддерживает работу транзистора в активной зоне. Участок 3 — это цепь усилителя. Участок 4 — это входная соединительная цепь, которая пропускает сигнал переменного тока от транзистора к резистору-нагрузке таким образом, что сопротивление нагрузки не влияет на рабочее напряжение.

ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера

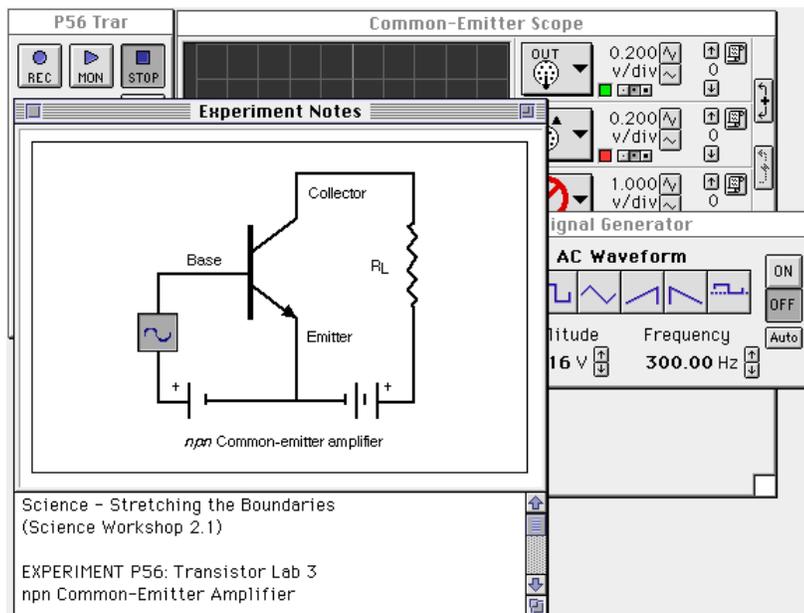
- ① Подсоедините интерфейс *Science Workshop* к компьютеру, включите интерфейс, а затем включите компьютер.
- ② Соедините датчик напряжения с аналоговым каналом «А».
- ③ Соедините усилитель мощности с аналоговым каналом «В». Подключите шнур питания к разъёму на задней панели усилителя мощности, а затем — к розетке питания.



④ В папке «Physics» («Физика») экспериментальной библиотеки интерфейса *Science Workshop* откройте документ:

Macintosh — «P56 Transistor Lab 3» / Windows — «P56_TRN3.SWS»

При открытии документа отобразится окно Score («Осциллоскоп») с графиком зависимости аналогового выходного напряжения (В) и напряжения аналогового канала «А» (В) от времени (мс), а также окно Signal Generator («Генератор сигнала»), которое управляет услителем мощности.



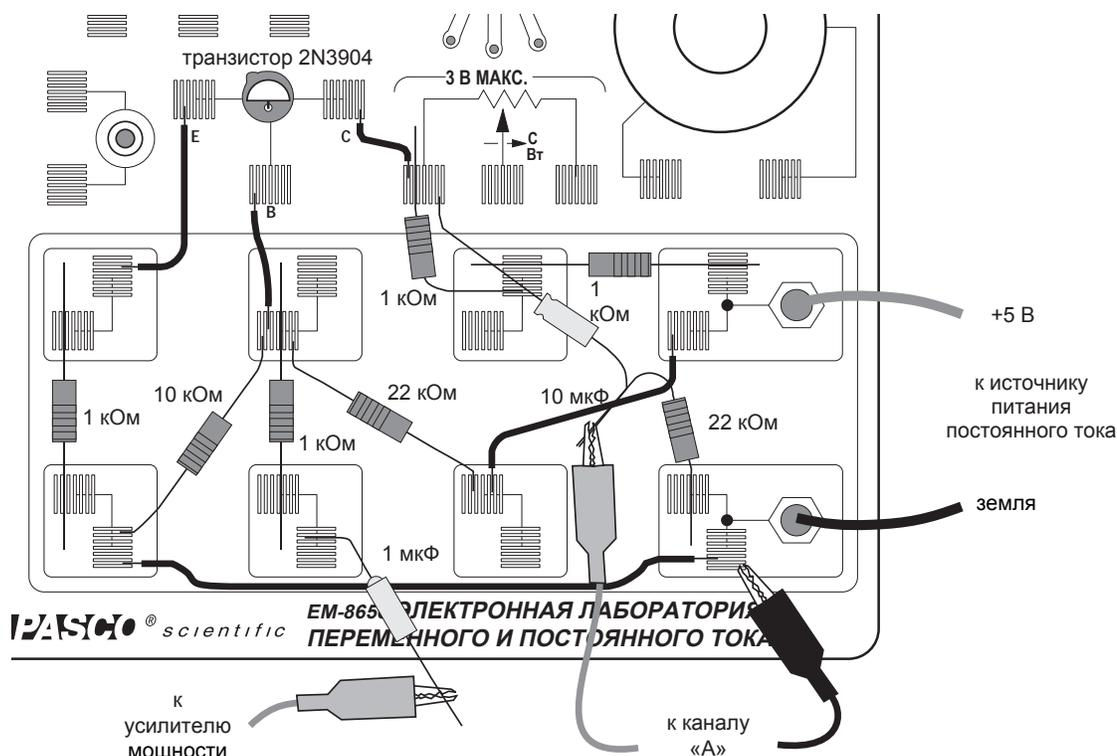
► **ПРИМЕЧАНИЕ:** для получения справочной информации откройте окно Experiment Notes («Примечания к экспериментам»). Чтобы переместить экран на передний план, щелкните на его окне или выберите имя экрана из списка в конце меню Display («Экран»). Измените параметры окна Experiment Setup («Настройки эксперимента»), нажав на поле Zoom («Изменить масштаб») или на кнопку Restore («Восстановить») в правом верхнем углу окна.

- ⑤ Параметры окна Signal Generator («Генератор сигналов»): выходное значение напряжения — $\pm 0,20$ В при 300 Гц, форма кривой переменного тока — синусоидальная.
- ⑥ Расположите экран Score («Осциллоскоп») и окно Signal Generator («Генератор сигналов») таким образом, чтобы можно было видеть их информацию одновременно.

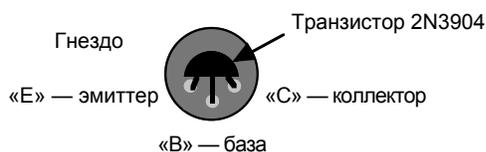
ЧАСТЬ II. Калибровка датчика и настройка оборудования

• Датчики напряжения или усилитель мощности калибровать не требуется. Вам понадобятся компоненты, указанные ниже.

Элемент	Количество	Описание	Количество
Резистор на 1 кОм	4	Конденсатор на 10 мкФ	1
Резистор на 10 кОм	1	Провод, 13 см	4
Резистор на 22 кОм	2	Провод, 25 см	1
Конденсатор на 1 мкФ	1	Транзистор 2N3904	1



- Установите транзистор 2N3904 в гнездо на панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока. Транзистор имеет форму полупцилиндра с одной плоской стороной. Гнездо имеет три отверстия с маркировкой: «Е» (эмиттер), «В» (база) и «С» (коллектор). Если смотреть на плоскую сторону транзистора, то ножки будут внизу: ножка слева будет эмиттером, посередине — базой, а справа — коллектором.



Гнездо транзистора (вид сверху)

► **ВНИМАНИЕ:** неправильное подключение может привести к выходу из строя транзистора.

- Подсоедините один провод длиной 13 см к пружине у ножки базы транзистора и к пружине под ножкой базы транзистора.
- Подсоедините один резистор на 1 кОм к пружине у нижнего конца провода от ножки базы транзистора и к пружине, расположенной непосредственно снизу (у нижнего края панели электронной лаборатории постоянного и переменного тока).
- Подсоедините провод от отрицательной ножки конденсатора на 1 мкФ к той же пружине у нижнего края панели электронной лаборатории постоянного и переменного тока. Не подсоединяйте другой провод от конденсатора куда-либо.

► **ПРИМЕЧАНИЕ:** у отрицательной ножки конденсатора на 1 мкФ есть небольшая округлая выпуклость.

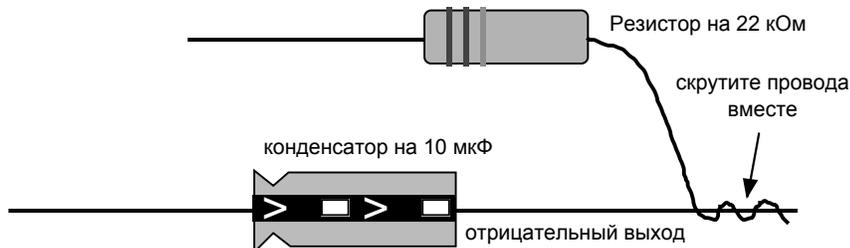


- ⑤ Подсоедините один провод длиной 13 см к пружине возле ножки эмиттера транзистора и к пружине в верхнем левом углу посадочной зоны панели электронной лаборатории постоянного и переменного тока.
- ⑥ Подсоедините резистор на 1 кОм к пружине в верхнем левом углу посадочной зоны и пружиной, находящейся непосредственно внизу.
- ⑦ Подсоедините один провод длиной 13 см к пружине возле коллектора транзистора и к пружине справа, расположенной немного ниже.
- ⑧ Подсоедините резистор на 1 кОм к пружине на конце провода от коллектора и к пружине, которая расположена внизу и немного правее пружины, находящейся на конце провода от коллектора.
- ⑨ Подсоедините один резистор на 1 кОм к пружине, находящейся справа от верхнего разъёма типа «банан», и к пружине, расположенной непосредственно слева от первой пружины.
- ⑩ Подсоедините красный коммутационный шнур с заглушкой типа «банан» положительного выхода (+) источника питания постоянного тока к верхнему разъёму типа «банан» на панели электронной лаборатории постоянного и переменного тока.
- ⑪ Подсоедините чёрный коммутационный шнур с заглушкой типа «банан» отрицательного выхода (-) питания постоянного тока к нижнему разъёму типа «банан» на панели электронной лаборатории постоянного и переменного тока.
- ⑫ Подсоедините провод длиной 25 см к пружине нижнего разъёма типа «банан» и к пружине на нижнем конце резистора на 1 кОм, подсоединенного к ножке эмиттера транзистора.
- ⑬ Найдите пружину на конце провода, который подсоединён к пружине у ножки базы транзистора. Подсоедините резистор на 10 кОм к пружине, расположенной у конца проводника и к пружине, расположенной в нижнем левом углу панели.

► **ПРИМЕЧАНИЕ:** можно подсоединить одну ножку резистора на 10 кОм к той же пружине, которая удерживает конец проводника длиной 25 см.

- ⑭ Вернитесь к пружине, расположенной на конце провода, подсоединенного к ножке базы транзистора. Подсоедините один резистор на 22 кОм к пружине, расположенной на конце провода, и к пружине справа внизу (на краю панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока).
- ⑮ Подсоедините провод длиной 13 см к пружине у резистора на 22 кОм и к пружине возле верхнего разъёма типа «банан».
- ⑯ Прикрепите зажим типа «крокодил» на конце красного коммутационного шнура с заглушкой типа «банан». Подсоедините зажим типа «крокодил» с проводом у конца конденсатора на 1 мкФ. Подсоедините другой конец коммутационного шнура к положительному выходу (+) усилителя мощности.
- ⑰ Подсоедините чёрный коммутационный шнур с заглушкой типа «банан» к отрицательному выходу (-) усилителя и к отрицательному выходу источника питания постоянного тока.
- ⑱ Прикрепите зажимы типа «крокодил» на разъёмы типа «банан» датчика напряжения. Подключите зажим типа «крокодил» чёрного провода датчика напряжения к пружине возле нижнего разъёма типа «банан» в правом нижнем углу панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока.
- ⑲ Скрутите провод, который идёт от отрицательного выхода конденсатора на 10 мкФ, с проводом у конца резистора на 22 кОм.

- **ПРИМЕЧАНИЕ:** У конденсатора на 10 мкФ ножка с отрицательного выхода имеет небольшую выпуклость. Ножка с положительного выхода — с углублением. На боковой стороне конденсатора есть полоса со стрелками, указывающими на отрицательный полюс.



- ⑩ Соедините провод, идущий от положительного выхода конденсатора на 10 мкФ, к пружине на конце проводника, соединенного с коллектором транзистора. Соедините провод от резистора на 22 кОм к пружине возле нижнего разъема типа «банан» в нижнем правом углу панели электронной лаборатории постоянного и переменного тока.
- ⑪ Осторожно подключите зажим типа «крокодил» красного провода датчика напряжения к скрученным проводам конденсатора на 10 мкФ и резистора на 22 кОм.

Часть III. Запись данных

- ① Включите источник питания постоянного тока и отрегулируйте выходное напряжение, установив его точно на +5 В.
- ② Включите переключатель питания на задней панели усилителя.
- ③ Нажмите кнопку «ВКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).
- ④ Нажмите кнопку MON («Мониторинг» — ) для отслеживания данных.
- Наблюдайте за осциллограммой напряжения, поступающего к базе транзистора от усилителя мощности (осциллограмма с маркировкой «OUT» («ВЫХОД»)). Сравните эту осциллограмму с осциллограммой напряжения, измеренного датчиком напряжения, подсоединенного к каналу «А».
- ⑤ Нажмите на кнопку Smart Cursor («Интеллектуальный курсор» — ). Это временно приостановит отслеживание данных и позволит измерить значения напряжения. Курсор меняет свой вид на крестообразный при его перемещении в зону отображения экрана Scope («Осциллоскоп»).
- ⑥ Переместите крестообразный курсор к первому пику осциллограммы с маркировкой «OUT» («ВЫХОД»). Напряжение в этой точке отображается возле элементов управления чувствительностью (В/дел.). Зафиксируйте пиковое значение напряжения.
- ⑦ Удерживайте клавишу «Shift». Переместите крестообразный курсор к первому пику осциллограммы с маркировкой «А» (непосредственно под пиком осциллограммы OUT («ВЫХОД»)). Зафиксируйте пиковое значение напряжения.
- ⑧ Нажмите кнопку «СТОП» () для окончания отслеживания данных.
- ⑨ Нажмите кнопку «ВЫКЛ.» () в окне Signal Generator («Генератор сигнала»).

- ⑩ Выключите переключатель питания на задней панели усилителя мощности. Отключите питание постоянного тока.

Напряжение (пиковое) на «OUT» = _____ В

Напряжение (пиковое) на «A» = _____ В

Анализ данных

- ① Используя записанные значения, вычислите соотношение входного напряжения (напряжения на «OUT») и выходного напряжения (напряжение для «A»).

$$\frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вых}}} = \frac{\text{Напряжение на «OUT»}}{\text{Напряжение на «A»}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- ② Теоретическое выходное напряжение равно:

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{вх}} * R_C / R_E = \underline{\hspace{2cm}},$$

где R_C — это сопротивление резистора, последовательно соединенного с выходом коллектора (2000), а R_E — это сопротивление резистора, последовательно соединенного с выходом эмиттера (1000). Вычислите теоретическое выходное напряжение для усилителя с общим эмиттером.

Вопросы

- ① Каково фазовое соотношение между входным и выходным сигналом?
 ② Как фактическое выходное напряжение соотносится с теоретическим?

Опционально

- ① Постепенно увеличивайте значение Amplitude («амплитуда») в окне Signal Generator («Генератор сигнала») на 0,02 В. Наблюдайте за формой кривой выходного сигнала.
 ② Увеличьте значение Frequency («частота») в окне Signal Generator («Генератор сигнала»). Наблюдайте за формой кривой выходного сигнала.

Дополнительные вопросы

- ① Как форма выходного сигнала изменяется при увеличении входной амплитуды?
 ② Зависит ли коэффициент усиления напряжения усилителя от частоты или нет? Обоснуйте свой ответ.

Эксперимент 20. Индукция — движение магнита через катушку

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Компьютер и интерфейс *Science Workshop*™
- Датчик напряжения CI-6503
- Панель электронной лаборатории переменного и постоянного тока EM-8656
- Стержневой магнит из сплава альнико EM-8620
- ОПЦИОНАЛЬНО Фотодиодная рамка (ME-9204A или ME-9498)

Цель

В ходе эксперимента демонстрируется электродвижущая сила (ЭДС), возбуждаемая катушкой, через центр которой пропускается магнит.

Теоретическая информация

При пропускании магнита через катушку происходит изменение магнитного потока через неё, что приводит к возникновению в ней электродвижущей силы (ЭДС). В соответствии с законом Фарадея об индукции:

$$\varepsilon = -N\Delta\phi/\Delta\tau,$$

где ε — индуцируемая ЭДС, N — количество витков проволоки на катушке и $\Delta\phi/\Delta\tau$ — скорость изменения потока, проходящего через катушку.

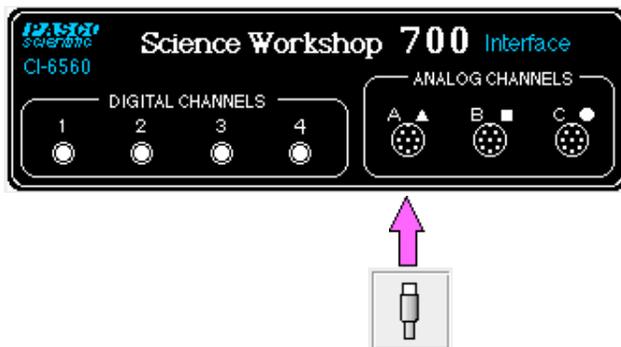
В данном эксперименте составляется график зависимости ЭДС от времени, а область под кривой определяется с помощью интегрирования. Эта область представляет собой поток, так как

$$\varepsilon\Delta\tau = -N\Delta\phi$$

ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ

ЧАСТЬ I. Настройка компьютера

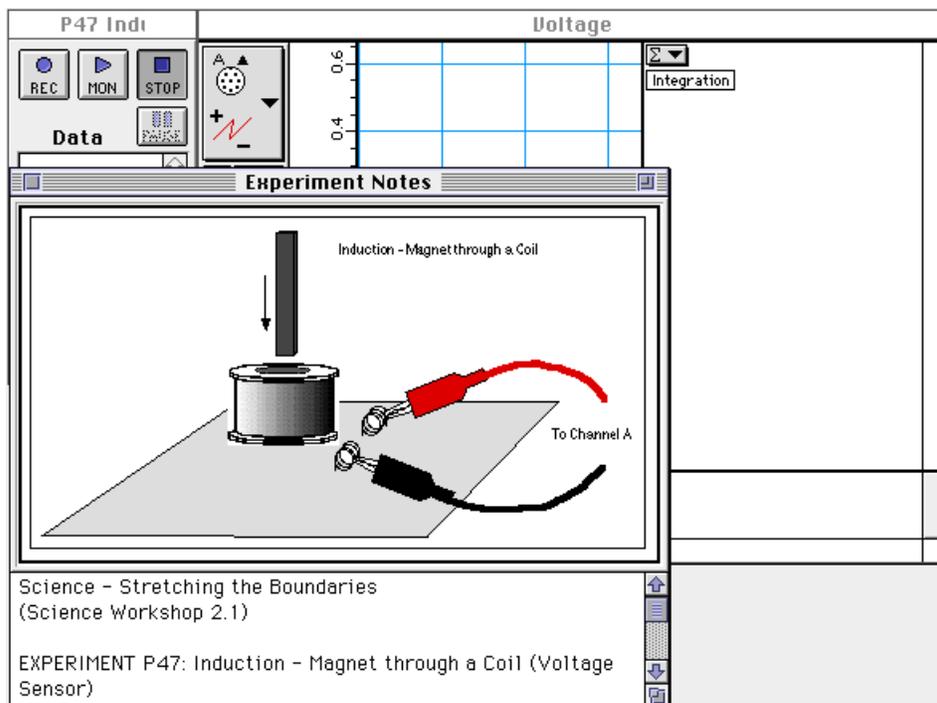
- ① Подсоедините интерфейс *Science Workshop* к компьютеру, включите интерфейс, а затем включите компьютер.
- ② Подключите DIN-заглушку датчика напряжения в аналоговый канал «А».



- ③ В папке «Physics» («Физика») экспериментальной библиотеки интерфейса *Science Workshop* откройте документ:

Macintosh — «P47 Induction-Magnet» / Windows — «P47_INDU.SWS»

При открытии документа отобразится окно Graph («График») с графиком зависимости напряжения (V) от времени (с).

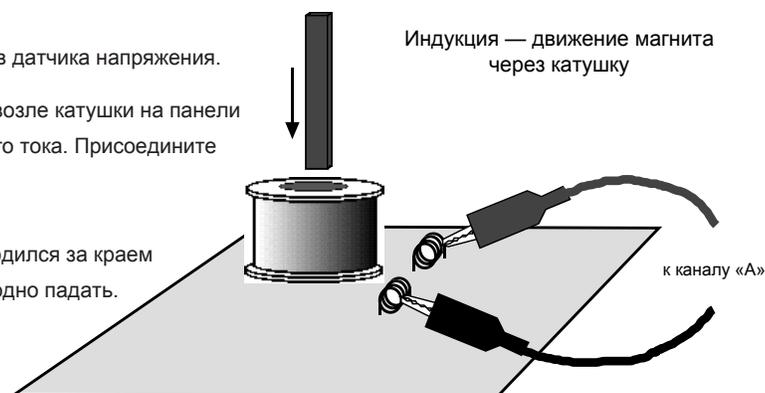


- **ПРИМЕЧАНИЕ:** для получения справочной информации откройте окно Experiment Notes («Примечания к экспериментам»). Чтобы переместить экран на передний план, щелкните на его окне или выберите имя экрана из списка в конце меню Display («Экран»). Измените параметры окна Experiment Setup («Настройки эксперимента»), нажав на поле Zoom («Изменить масштаб») или на кнопку Restore («Восстановить») в правом верхнем углу окна.

- ④ Параметры окна Sampling Options («Режимы измерения») в данном эксперименте следующие: Periodic Samples («Периодическая выборка») = Fast at 1000 Hz («быстрая при частоте 1000 Гц»), Start Condition («Условие пуска») — при напряжении аналогового канала «С» 0.08 V, a Stop Condition («Условие остановки») = 0,5 с.

ЧАСТЬ II. Калибровка датчика и настройка оборудования

- Датчик напряжения калибровать не требуется.
- ① Прикрепите зажимы типа «крокодил» на концы щупов датчика напряжения.
 - ② Подсоедините один зажим к компонентной пружине возле катушки на панели электронной лаборатории переменного и постоянного тока. Присоедините другой зажим к другой пружине возле катушки.
 - ③ Расположите панель так, чтобы угол с катушкой находился за краем стола, а магнит, бросаемый через катушку, мог свободно падать.



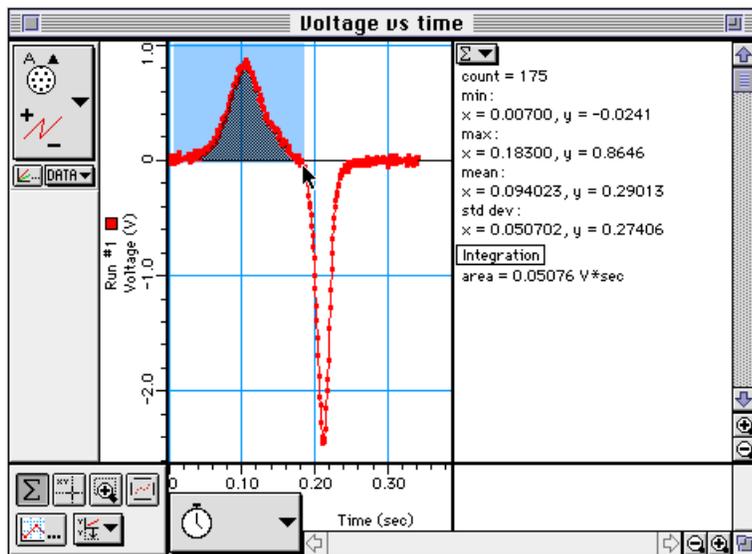
► **ПРИМЕЧАНИЕ:** будет необходимо бросать стержневой магнит в катушку. Предотвратите соударение магнита с поверхностью пола во избежании повреждения магнита.

Часть III. Запись данных

- ① Удерживайте магнит таким образом, чтобы его положительный полюс находился в 5 см над катушкой. Если используется стержневой магнит из сплава альнико (EM-8620), то его положительный полюс будет обозначен узкой горизонтальной выемкой.
- ② Нажмите «Запись» (), а затем быстро отпустите магнит для того, чтобы он прошел через катушку.
 - Запись данных начнется, когда магнит начнет падать через катушку и создавать напряжение возбуждения. Запись данных прекратится автоматически через 0,5 с.
 - В таблице данных окна Experiment Setup («Настройки эксперимента») должна появиться надпись Run #1 («Прогон 1»).

АНАЛИЗ ДАННЫХ

- ① Нажмите на экран Graph («График») для его активации. Выберите Save As («Сохранить как») из меню File («Файл») для того, чтобы сохранить данные.
- ② На экране Graph («График») с помощью курсора перетащите прямоугольник через первый пик графика напряжения.



- Под кривой для первого пика в зоне Statistics («Статистика») появятся данные.
- ③ Запишите значение Integration («Интегрирование») для первого пика.

Интегрирование (первый пик) = _____ В*с

- ④ Повторите этот эксперимент, чтобы определить значение площади под вторым пиком. Запишите значение.

Интегрирование (второй пик) = _____ В*с

Вопросы

- ① Равен ли входящий поток выходящему потоку?
- ② Почему выходящий поток выше входящего?
- ③ Почему пики имеют противоположные направления?

Опционально

Повторите запись и анализ данных для следующего процесса.

- ① Скрепите лентой два стержневых магнита вместе так, чтобы положительные полюсы были направлены в одну сторону.
- ② Теперь скрепите два стержневых магнита таким образом, чтобы положительный полюс одного из них был рядом с отрицательным полюсом другого.
- ③ Попробуйте ронять магнит с разной высоты.

Приложение. Советы и устранение неполадок

Правильно собранная цепь не функционирует

- Проверьте, действительно ли цепь собрана правильно и полностью.
- Убедитесь, что аккумулятор подает полное напряжение.
- Проверьте, есть ли контакт каждого провода с пружиной. При использовании магнитного провода эмалевое покрытие требует удаления, т. к. оно предотвращает электрическое соединение. В некоторых случаях ученики могут попытаться соединить провода через изоляцию при создании замкнутой цепи.

Необычные результаты экспериментов

В некоторых случаях могут отсутствовать различия между замерами в разных точках цепи. Это не означает, что измерения являются ненужными и неважными. Возможно, это поможет ученику сделать самому выводы по собственной лабораторной работе. Не все изменения должны отличаться.

Освещение и относительная яркость

Электролампы № 14 для данной экспериментальной панели рассчитаны на 2,5 В и 0,3 А. Одна аккумуляторная батарея D-типа не обеспечит максимальной яркости лампы, но две аккумуляторные батареи, соединенные последовательно, обеспечат очень яркое свечение.

В экспериментах, где требуется оценить относительную яркость, необходимо рассматривать относительную, а не абсолютную яркость. Эту часть эксперимента лучше проводить в затемнённом помещении. Дополнительные лампы можно приобрести в компании PASCO, в сети магазинов RadioShack, в магазинах электрооборудования, магазинах автозапчастей и, возможно, в местном дисконт-магазине.

Аккумуляторы

Панель экспериментов с цепями была разработана для эксплуатации с подключением одного или двух аккумуляторных батарей D-типа. Напряжение, подаваемое аккумуляторными батареями D-типа, составляет $\pm 1,5$ В. На практике щелочные аккумуляторы имеют наиболее продолжительный срок службы, а менее дорогие угольно-цинковые элементы также обеспечивают надежные результаты. До замены один комплект аккумуляторов прослужил десяти различным группам учеников при выполнении экспериментов 1, 3, 4, 5, 6 и 7.

Резисторы

Входящие в комплект резисторы включены в список в разделе «Оборудование» данного руководства. Значения сопротивления выбирались для обеспечения точности получаемых результатов и с учетом продления срока службы аккумуляторных батарей D-типа. В случае потери и поломки резисторов новые резисторы можно приобрести в компании PASCO или в любом магазине электрооборудования, включая RadioShack. Можно использовать резисторы другого номинала, но для экспериментов 3–7 сопротивление должно составлять от 100 Ом до 1500 Ом, что обеспечит получение оптимальных результатов.

► ПРИМЕЧАНИЕ: резисторы номиналом 330 Ом, 560 Ом и 1000 Ом представляют собой приблизительное соотношение 1 к 2 и 3 для приближенно-количественного понимания принципов работы цепей постоянного тока.

Нижеприведенная схема отображает цветовой код резистора. Например, резистор с цветовой разметкой оранжевый-оранжевый-коричневый-серебряный имеет значение $330 \text{ Ом} \pm 10 \%$.

Чёрный	0					
Коричневый	1					
Красный	2	Цифра 1	Цифра 2	Кол-во нулей	Допуск	
Оранжевый	3					
Жёлтый	4					
Зелёный	5					
Голубой	6					
Синий	7					
Серый	8					
Белый	9					
					Четвёртая полоса	
					Нет	$\pm 20\%$
					Серебряная	$\pm 10\%$
					Золотая	$\pm 5\%$
					Красная	$\pm 2\%$

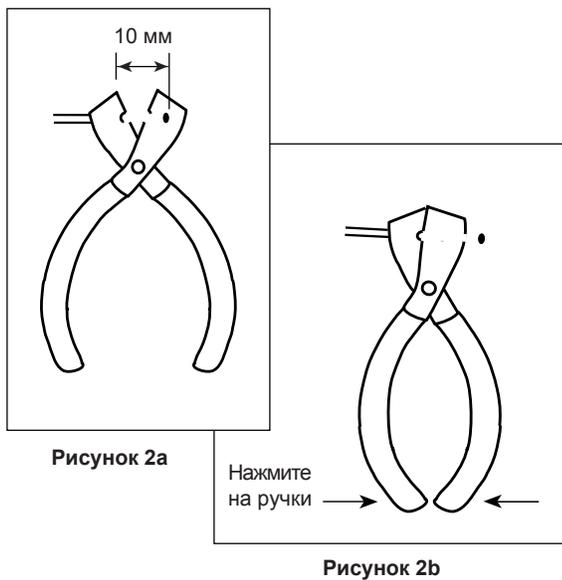
Провода

Экспериментальная панель может использоваться с проводами различных типоразмеров. Мы рекомендуем применять одножильный провод диаметром 0,6–0,8 мм с цветной изоляцией. Это поможет ученикам проводить работы с большей лёгкостью и минимизирует сложности при переносе схемы с бумаги на реальную цепь, собираемую на экспериментальной панели.

Удаление изоляции на проводе, не входящем в комплект

Провода, входящие в комплект базовой лаборатории — это изолированные одножильные провода диаметром 0,6 мм и длиной 13 и 25 см. Концы каждого из проводов оголены.

Если вы намереваетесь использовать провод не из комплекта, то существует специальный инструмент для снятия изоляции с проводов, который можно купить в магазинах. Захваты инструмента для снятия изоляции помещаются на провод с отступом от конца на 10 мм. При нажатии на ручки захваты сжимаются на проводе и углубляются в него только на длину изоляции, отрезая её.



Провод оттягивается от инструмента (см. рисунок 2с), и отрезанный конец изоляции отрывается, оголяя провод на 10 мм.



Рисунок 2с

При отсутствии возможности приобрести инструмент можно с осторожностью воспользоваться ножом. Поместите провод на твёрдую поверхность. Поставьте лезвие ножа на изоляцию на расстоянии 10 мм от конца провода. Лезвие должно стоять под углом. Таким образом, оно не срежет провод а надрезет часть изоляции.

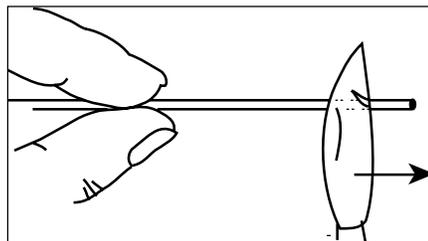


Рисунок 3

После частичного снятия изоляции проверните провод и отрежьте изоляцию.

Руководство учителя (эксперименты 1–10)

Эксперимент 1. Панель для экспериментов с цепями (экспериментальная панель)

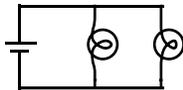
①



② Если поменять компоненты местами, то это не окажет никакого воздействия.

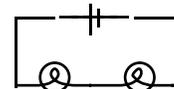
④⑤ Существует два способа соединения ламп в цепи: параллельное и последовательное.

Параллельное соединение



При этом способе лампы будут иметь приблизительно одинаковую яркость, как на шаге 1.

Последовательное соединение



При этом способе яркость будет меньшей, чем на шаге 1.

Эксперимент 2. Лампы в цепях

► ПРИМЕЧАНИЕ: эти эксперименты лучше проводить с двумя аккумуляторами, а не с одним. Соедините их последовательно, как показано на рисунке 2.1а. Это увеличит яркость ламп и упростит наблюдение за цепями, где лампы будут более тусклые.

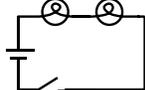
Порядок действий

①



②③ Существует два способа сборки цепи таким образом, чтобы обе лампы имели одинаковую яркость.

Последовательное соединение

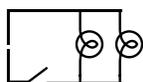


При этом способе яркость будет меньшей, чем на шаге 1.

Электрический ток должен проходить через одну лампу к другой.

Поэтому отсоединение одной лампы вызовет погасание второй (такое соединение используется в новогодней гирлянде, в которой все лампы гаснут, если одна не работает).

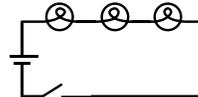
Параллельное соединение



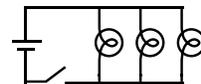
Лампы имеют такую же яркость, как на шаге 1. Электроток проходит через две лампы одновременно. Поэтому отсоединение одной из них не повлияет на другую (такое соединение используется в новогодней гирлянде, которую все хотят купить).

④⑤ Опять же, цепь может иметь последовательное или параллельное соединение.

Последовательное соединение



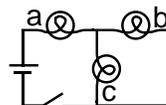
Параллельное соединение



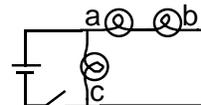
Эти цепи имеют такие же характеристики, как и цепи на шагах 2–3.

⑥ Здесь также существуют два способа соединения.

Параллельно-последовательное соединение



Последовательно-параллельное соединение



Параллельная секция первой цепи будет очень тусклой.

Эффект от выкручивания одной лампы будет зависеть от положения лампы. В первой цепи выкручивание лампы (a) приведет к выключению всего контура. Выкручивание лампы (b) или (c) сделает лампу (a) более тусклой и не повлияет на другую лампу. Во второй цепи выкручивание лампы (c) сделает лампу (a) и лампу (b) более яркой, а выкручивание лампы (a) или (b) — сделает (c) более яркой и выключит последнюю.

⑦-⑩ Последовательное подключение аккумуляторов (2.1а) сделает лампы ярче, т. к. это повысит напряжение ламп.

Параллельное подключение (2.1b) будет иметь такой же эффект, как и с одним аккумулятором. Аккумуляторы с противоположным расположением полюсов (2.1c) не окажут никакого влияния за исключением тех случаев, когда один из аккумуляторов практически полностью разряжен.

⑪ В таком случае потенциометр будет регулировать яркость лампы (для оптимального результата в этой части эксперимента необходимо подключить аккумуляторы последовательно).

Эксперимент 3. Закон Ома

Порядок действий

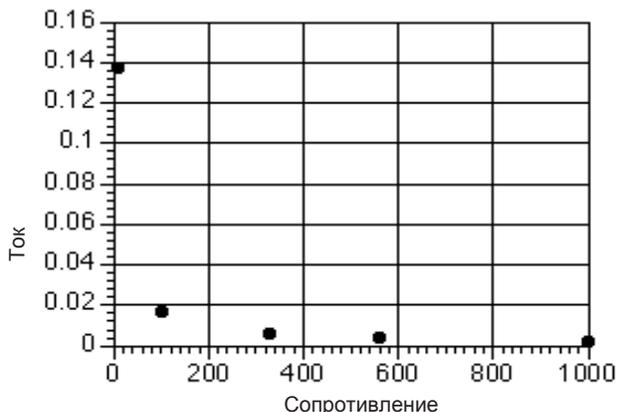
②-⑥ Предупредите учеников о необходимости быть особо осторожными при настройке мультиметра для измерения силы тока. Неправильное подключение амперметра может повредить прибор.

Обработка данных

Сопротивление	Ток	Напряжение U/R	Разность, %
100	0,02	1,579	0,02 -1,87 %
560	0,00	1,582	0,00 -2,73 %
330	0,00	1,582	0,00 -3,32 %
1000	0,00	1,583	0,00 -9,17 %
10	0,14	1,549	0,15 -13,31 %

Обсуждение

- ① Сила тока обратно пропорциональна R.
- ② Да. Из кривой графика, приведённого выше, следует, что сила тока = 1,36 x сопротивление^{-0,98}, что весьма близко к результату, полученному из теоретического уравнения.



③ Наибольшая погрешность измерения возникает из-за самого измерительного прибора. В связи с тем, что амперметр имеет определённое внутреннее сопротивление, измеренное значение силы тока будет меньше, чем без использования прибора.

Эксперимент 4. Сопротивление в цепях

Порядок действий

①-④

	Цвета	Из маркировки	Измеренное	Погрешность, %	Допуск
№ 1	коричневый-чёрный-коричневый-золотой	100	98,9	-1,10 %	±0,05 %
№ 2	коричневый-чёрный-коричневый-золотой	100	99,6	-0,40 %	±0,05 %
№ 3	коричневый-чёрный-коричневый-золотой	100	99,7	-0,30 %	±0,05 %

⑤ Последовательное соединение

$$R_{12} = 198,3 \text{ Ом}$$

$$R_{23} = 199,1 \text{ Ом}$$

$$R_{123} = 298 \text{ Ом}$$

⑥ Параллельное соединение

$$R_{12} = 49,7 \text{ Ом}$$

$$R_{23} = 49,9 \text{ Ом}$$

$$R_{123} = 33,3 \text{ Ом}$$

$$R_{13} = 49,8 \text{ Ом}$$

⑦ Смешанное соединение

$$R_1 = 98,9 \text{ Ом}$$

$$R_{23} = 49,9 \text{ Ом}$$

$$R_{123} = 148,7 \text{ Ом}$$

⑧ Последовательное соединение

$$R_{AB} = 428 \text{ Ом}$$

$$R_{BC} = 891 \text{ Ом}$$

$$R_{ABC} = 989 \text{ Ом}$$

Параллельное соединение

$$R_{AB} = 76,1 \text{ Ом}$$

$$R_{BC} = 207 \text{ Ом}$$

$$R_{ABC} = 67,0 \text{ Ом}$$

$$R_{AC} = 84,1 \text{ Ом}$$

Смешанное соединение

$$R_A = 98,9 \text{ Ом}$$

$$R_{BC} = 207 \text{ Ом}$$

$$R_{ABC} = 306 \text{ Ом}$$

	Цвета	Из маркировки	Измеренное	Погрешность, %	Допуск
A	коричневый-чёрный-коричневый-золотой	100	98,9	-1,10 %	$\pm 0,05$ %
B	оранжевый-оранжевый-коричневый-золотой	330	330	0,00 %	$\pm 0,05$ %
C	зеленый-синий-коричневый-золотой	560	561	0,18 %	$\pm 0,05$ %

Обсуждение

- ① Точность фактического значения по отношению к значению, указанному на маркировке, более высокая, чем указана в допуске.

②-④ В последовательном соединении суммируются сопротивления: $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ В параллельном соединении суммируются обратные величины сопротивлений: $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots$ Это подтверждается во всех наборах данных выше.

Эксперимент 5. Напряжение в цепях

Порядок действий**Одинаковые резисторы****Последовательное соединение**

Измерение	Сопротивление	Напряжение
1	100	0,523
2	100	0,528
3	100	0,527
12	200	1,051
23	200	1,055
123	300	1,578

Параллельное соединение

Измерение	Сопротивление	Напряжение
1	33,33	1,565
2	33,33	1,565
3	33,33	1,565
123	33,33	1,565

Смешанное соединение

Измерение	Сопротивление	Напряжение
1	100	1,049
23	50	0,529
123	150	1,578

Разные резисторы**Последовательное соединение**

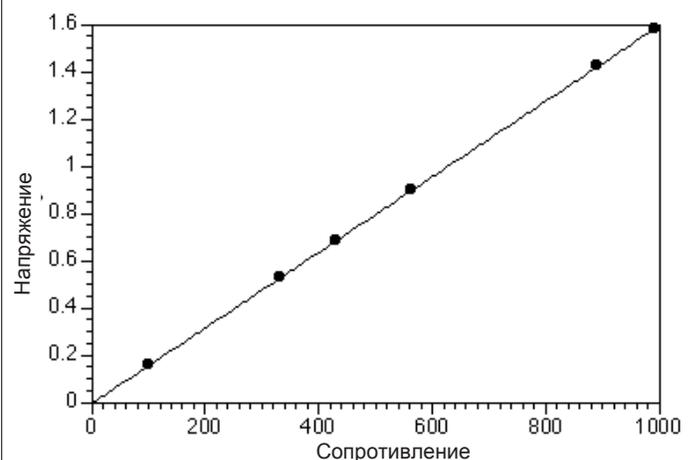
Измерение	Сопротивление	Напряжение
A	100	0,157
B	330	0,526
C	560	0,897
AB	430	0,685
BC	890	1,423
ABC	990	1,581

Параллельное соединение

Измерение	Сопротивление	Напряжение
A	67,49	1,574
B	67,49	1,574
C	67,49	1,574
ABC	67,49	1,574

Смешанное соединение

Измерение	Сопротивление	Напряжение
A	100,00	0,509
BC	207,64	1,07
ABC	307,64	1,579

Обсуждение

В любой последовательной цепи напряжение распределяется согласно размеру резисторов (примите к сведению, что вышеуказанный график данных из второй последовательной цепи отображает эту прямую зависимость).

В любой параллельной цепи напряжение одинаково на всех элементах. В смешанной цепи напряжение действует так, как если бы параллельные резисторы были одним резистором, который, в свою очередь, параллельно соединялся бы с первым. Правила аналогичны.

Эксперимент 6. Сила тока в цепях

► **ПРИМЕЧАНИЕ:** используемые резисторы указаны ниже.

$$R_1 = 100 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 330 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 560 \text{ Ом}$$

Это те же резисторы, которые использовались в предыдущем эксперименте, и некоторые данные здесь взяты из лабораторной работы 5.

Порядок действий

Последовательное соединение

Сила тока оказалась аналогичной (1,5 мА) вне зависимости от участка измерения в цепи.

Параллельное соединение

Измерение	Сопротивление	Ток	Напряжение
1	100	0,0156	1,574
2	330	0,0047	1,574
3	560	0,0028	1,574
123	67,5	0,0229	1,574

Обсуждение

В любой цепи с сопротивлением (последовательной, параллельной или в смешанной) напряжение, сила тока и сопротивление соотносятся согласно закону Ома:

$$U = IR$$

Эта формула и вывод должны быть очевидными по данным измерения учеников.

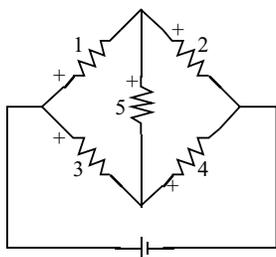
► **ПРИМЕЧАНИЕ:** произведение сопротивлений и токов, полученных экспериментально, как правило, будет меньше, чем измеренное напряжение. Это связано с ненулевым сопротивлением амперметра. Когда амперметр подключен в цепь, его собственное сопротивление уменьшает силу тока, проходящую через эту цепь. В большинстве измерительных приборов эта погрешность составляет менее 5 %.

Эксперимент 7. Правила Кирхгофа

Ток, покидающий узел, равен току, входящему в узел. Сумма перепадов напряжения в замкнутом контуре равна нулю.

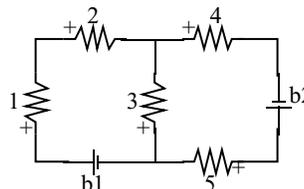
Порядок действий

Первая цепь



	R (Ом)	U (В)	I (мА)
1	100	0,40	3,9
2	560	1,17	2,0
3	330	1,05	3,1
4	100	0,52	5,1
5	330	0,65	1,9
T	216	1,57	7,1

Вторая цепь



	R (Ом)	U (В)	I (мА)
1	100	0,27	2,6
2	560	1,50	2,6
3	330	0,19	0,5
4	330	1,07	3,2
5	100	0,32	3,2
b1		1,573	2,6
b2		1,588	3,2

Анализ**Первая цепь**

① узел (1, 3):	0,1 мА
узел (1, 2, 5):	0,0 мА
узел (3, 4, 5):	-0,1 мА
узел (2, 4):	0,0 мА
② контур (1, 5, 3):	0,001 В
контур (1, 2, 4, 3):	0,001 В
контур (5, 2, 4):	0,000 В
контур (аккумулятор, 1, 2):	0,001 В
контур (аккумулятор, 3, 4):	0,000 В
контур (аккумулятор, 1, 5, 4):	0,001 В
контур (аккумулятор, 3, 5, 2):	0,000 В

Вторая цепь

① узел (2, 3, 4):	-0,1 мА
узел (b1, 3, 5):	0,1 мА
② контур (b1, 1, 2, 3):	0,001 В
контур (b2, 5, 3, 4):	0,001 В
контур (b1, 1, 2, 4, b2, 5):	0,002 В

Обсуждение

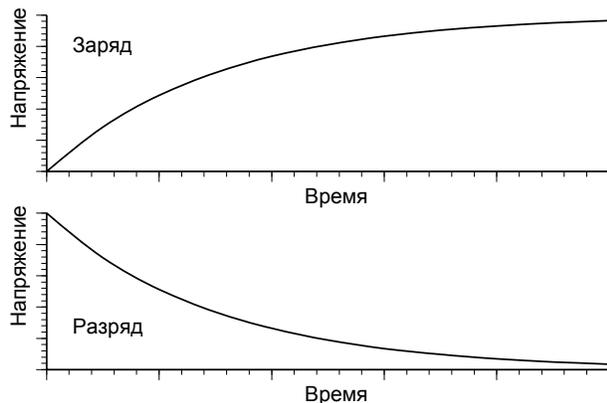
В пределах экспериментальной неопределенности используемого измерительного прибора (ЦММ) подтверждаются правила Кирхгофа. Чистый ток, входящий в любой узел цепи и выходящий из любого узла, приблизительно равен нулю, а сумма напряжений в любом контуре приблизительно равна нулю.

Эксперимент 8. Конденсаторы в цепях

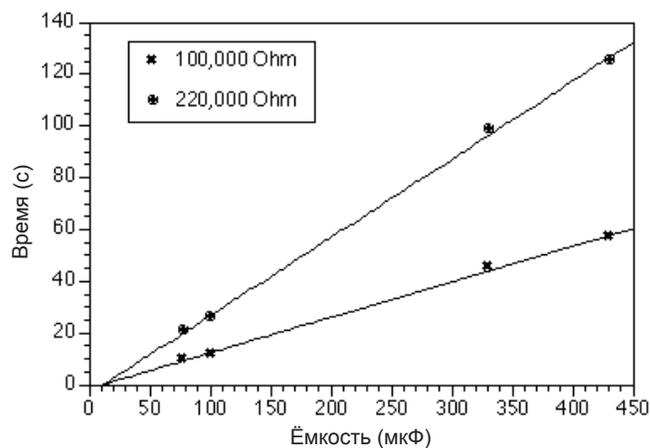
Порядок действий

- ④ Скорость, с которой конденсатор теряет свой заряд, зависит от полного сопротивления измерителя напряжения, а также от размера конденсатора. По этой причине для этого эксперимента большая часть измерительных приборов непригодна.

⑤



⑦ ⑪

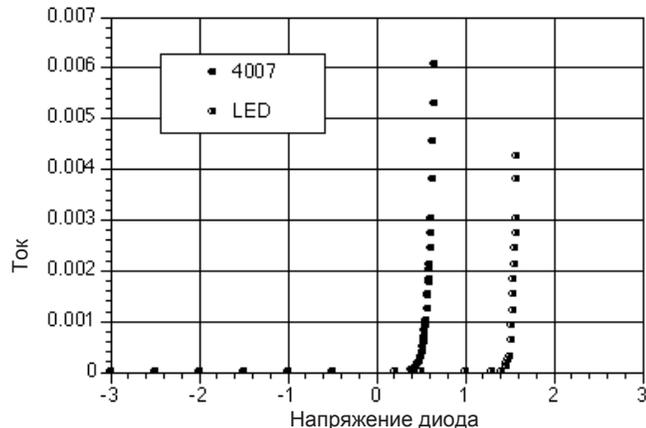
**► ПРИМЕЧАНИЯ**①② Заряд: $t = -R C \ln(1 - U/U_0)$ Разряд: $t = -R C \ln(U/U_0)$

В каждом случае существует линейная зависимость времени от сопротивления и ёмкости.

③ Параллельное соединение: $C_p = C_1 + C_2$ Последовательное соединение: $1/C_s = 1/C_1 + 1/C_2$

Эксперимент 9. Диоды

Анализ



Диод работает как односторонний клапан для электричества. Ток может проходить только в одном направлении и не возвращается обратно.

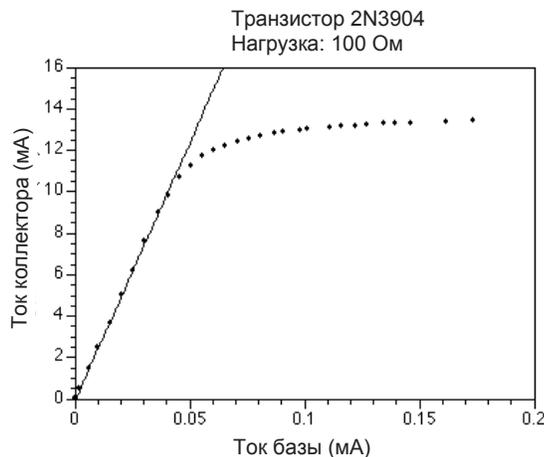
Удлинения цепи

- ① Зенеровский диод аналогичен диоду 4007 с тем отличием, что на нём имеется точка пробоя при обратном смещении, при достижении которой ток будет протекать. Это делает их незаменимыми при управлении мощностью.
- ② Светодиод отпирается при более высоком значении, чем диод 4007 (и загорается).

Эксперимент 10. Транзисторы

Анализ

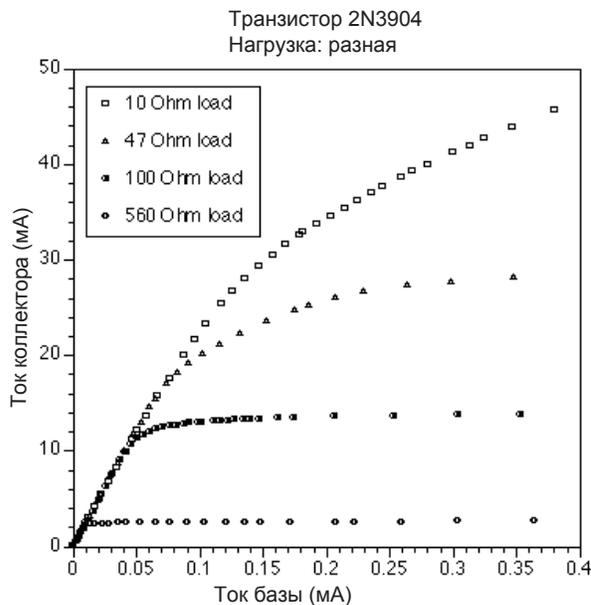
②



- ③ Линейный участок не включает в себя источник, так как для включения переходы в транзисторе требуют ненулевое напряжение (аналогично эффекту в лабораторной работе 9).
- ④ За пределами «точки насыщения» транзистор действует в качестве цепи короткого замыкания. Он не обеспечивает сопротивление току; следовательно, за пределами этой точки усиление не происходит. Ток ограничен только аккумулятором и резистором.
- ⑤ Усиление по току испытанного транзистора составило 249. Это значение будет отличаться для разных транзисторов. как правило, оно значение находится в пределах 150–250 для транзисторов 2N3904, поставляемых в комплекте с лабораторией.

Обсуждение

- ① На графике изображены результаты применения разных значений для R_2 . Усиление остается аналогичным на каждом линейном участке, но размер этого линейного участка различается.



- ② Характеристики усиления и насыщения транзисторов различаются, хотя базовая форма графика остается без изменения.

Техническая поддержка

Отзывы

Если у вас есть комментарии, касающиеся продукта или руководства, то, пожалуйста, свяжитесь с нами. Если вы можете предложить альтернативные эксперименты или если вы обнаружите ошибки в руководстве, то, пожалуйста, свяжитесь с нами. PASCO ценит обратную связь от заказчика. Ваше участие помогает нам оценивать и улучшать наш продукт.

Контакты

Для получения технической поддержки позвоните по телефону +1-800-772-8700 (звонок бесплатный по США) или (916) 786-3800.

E-mail: techsupp@pasco.com

Техническая поддержка (факс): (916) 786-3292

Обращение в техническую поддержку

Перед обращением в техническую поддержку PASCO подготовьте информацию, указанную ниже.

- Если ваш вопрос касается компьютера или программного обеспечения, запишите: наименование программного обеспечения и дату его обновления;
тип компьютера (производитель, модель, скорость);
внешние кабели или периферийные устройства.
- Если ваш вопрос касается устройства PASCO, запишите: наименование и артикул (обычно указаны в маркировке);
приблизительный срок службы устройства;
подробное описание проблемы и последовательность событий, которые приводят к ней (чтобы не потерять ценную информацию, если вы не можете позвонить в PASCO незамедлительно);
по возможности имейте под рукой сам прибор при обращении в службу — это значительно упростит описание компонентов.
- Если ваш вопрос касается руководства пользователя, запишите: номер компонента и его модель (т. е., месяц и год, которые указаны на обложке).

Имейте руководство под рукой, чтобы обсудить ваши вопросы.

