

С О З Д А Е М  
РОБОТА-АНДРОИДА  
СВОИМИ РУКАМИ



Джон Ловин

ДМК  
PUBLISHING

# Джон Ловин

# Создаем робота- андроида своими руками

*Текст предоставлен издательством*

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=632445](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=632445)*

*Создаем робота-андроида своими руками: ДМК-пресс; Москва; 2007*

*ISBN 5-9706-0032-6*

## **Аннотация**

Эта книга – отличный подарок для тех, кто собирается строить робота в первый раз, а также будет полезна и более опытным «роботостроителям», которые хотят отточить свое мастерство. Базовых знаний в области радиоэлектроники окажется вполне достаточно, чтобы книга помогла вам осуществить 12 отличных робототехнических проектов с использованием как промышленных частей и деталей (полные списки прилагаются), так и различного домашнего хлама, вытасченного с антресолей.

Издание окажется крайне полезным для всех любителей электроники и телемеханики как классическое руководство по функционально-блочному построению робототехнических устройств.

# Содержание

Введение	7
Благодарности	9
Глава 1	10
Зачем создавать роботов?	12
Применение роботов	14
Исследования	16
Использование роботов в промышленности	23
Проектирование и моделирование	24
Опасные производства	25
Эксплуатация и ремонт	27
Роботы-пожарные	27
Роботы в медицине	28
Нанотехнологии	30
Военные роботы	32
Война роботов	33
Гражданские применения беспилотных летательных аппаратов	34
Домашние роботы	35
Как попасть в «десятку»?!	35
Другие применения	36
Глава 2	37
Искусственный интеллект	38
Эволюция «сознания» в искусственном	39

интеллекте	
Является ли сознание жизнью?	41
Искусственная жизнь	42
Нанороботы – мы живые существа?	44
Немного истории	45
Совершеннее, чем мы	47
Запертая клетка	48
Биотехнологии	50
Нейронные сети – ожидания против реальности	51
Что такое нейронные сети?	52
Что такое искусственный интеллект?	54
Использование нейронных сетей в роботах	56
Микросети	57
Нейронная поведенчески-ориентированная архитектура	58
Глава 3	59
Фотоэлектрические элементы	60
Строим солнечный двигатель	62
Батареи	70
Емкость батарей	70
Напряжение батарей	71
Гальванические элементы	73
Аккумуляторные батареи	74
Обобщение	78
Изготовление зарядного устройства (ЗУ)	79

для NiCd аккумуляторов	
ЗУ с питанием от солнечных батарей	88
Топливные элементы-батареи с топливным баком	90
Если не сейчас, то когда?	93
Глава 4	96
Воздушные мышцы	97
Применение	97
Принцип работы воздушной мышцы	98
Нитиноловая проволока	101
Соленоиды	107
Кольцевые соленоиды	109
Шаговые двигатели	110
Схема управления шагового двигателя	112
Сервомоторы	114
Двигатели постоянного тока	122
Мостовая схема управления двигателем постоянного тока	125
Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)	128
Глава 5	131
Обработка сигналов	133
Пример построения компаратора	134
Делитель напряжения	135
Датчики освещенности (фотосенсоры)	141
Фоторезисторы	142
Фотоэлектрические устройства	146

Датчики ИК излучения  
Конец ознакомительного фрагмента.

146

148

# Джон Ловин

## Создаем робота-андроида своими руками

### Введение

Создание электронных устройств является интересным и увлекательным занятием, а конструирование роботов может принести наибольшее удовлетворение. В этом случае вам придется создавать не только электронные схемы и узлы, но воспользоваться некоторыми другими технологиями. Создание робота включает решение следующих технологических проблем:

- система питания устройства
- моторы и сервомеханизмы для обеспечения движения и перемещения устройства
- системы чувствительных датчиков (сенсоров)
- элементы искусственного интеллекта

По каждой из этих проблем существует многочисленная специальная литература, и очевидно, что объем одной книги не позволит охватить все многообразие применяемых технологий. Тем не менее мы коснемся большинства из них, что позволит вам получить начальные представления о задаче и

может послужить основой для дальнейшего самостоятельно-го экспериментирования.

Робототехника является развивающейся дисциплиной. Многие подходы известны уже сегодня, но вряд ли кто-нибудь сможет сказать, какие методы и технологии конструирования будут использоваться через сто лет. Как и биологические системы, робототехника развивается в соответствии с Дарвиновской моделью «естественного отбора».

Занявшись созданием роботов, вы не останетесь в одиночестве. Я был очень удивлен, когда узнал, что многие энтузиасты, государственные организации, частные фирмы, спортивные и технические клубы занимаются вопросами любительского конструирования роботов. Наиболее «продвинутой» программой по робототехнике из тех, которые я когда-либо видел, обладает американское космическое агентство НАСА. Большинство разработок можно найти в открытом доступе. Если у вас есть Интернет – воспользуйтесь любой поисковой системой (Yahoo, Exite и т. д.) по ключевому слову *robotics*. Вы найдете массу информации, посвященной робототехнике, на сайтах различных компаний, университетов, клубов, форумов и просто энтузиастов.

# Благодарности

Я хотел бы выразить благодарность некоторым коллегам, оказавшим неоценимую помощь при создании этой книги: Мэтту Вагнеру, моему агенту в Waterside Productions, Скотту Грилло, помогавшему выдержать график работы, и Стефану Смиту за большую помощь в редактировании текста.

# Глава 1

## Начало

Некоторые историки считают, что началом робототехники можно считать времена античной Греции. Примерно в 270 году до н. э. греческий инженер Ктесибус создавал музыкальные органы и клепсидры (водяные часы), в которых имелись движущиеся фигуры.

Другие историки полагают, что робототехника началась с появлением механических кукол. Примерно в 1770 году Пьер Жаке-Дрю – швейцарский часовой мастер и изобретатель наручных часов изготовил три замечательные куклы. Одна из созданных им кукол «умела» писать, другая – играть на органе, а третья – рисовать картины. Эти удивительные механические куклы, предназначенные для развлечения королевской семьи, проявляли свое «искусство» при помощи рычажков, шестеренок и пружин.

Позднее, в 1898 году, Никола Тесла построил дистанционно управляемую «ныряющую» лодку. Для 1898 года это было немалым достижением, и лодка демонстрировалась в Мэдисон Сквер Гарден. Тесла планировал создать лодку, способную к автономному плаванию, но за недостатком финансирования исследования пришлось прекратить.

Слово «робот» впервые появилось в 1921 году в пьесе

«Р.У.Р.» (Россумские Универсальные Роботы), написанной знаменитым чешским драматургом Карелом Чапеком. Робот по-чешски означает «рабочий». В пьесе описывались механические слуги – «роботы». Когда этих роботов наделили человеческими эмоциями, они восстали против своих хозяев и уничтожили их.

Исторически можно найти немало примеров роботов – предметов неживой природы, копирующих человеческую внешность и некоторые человеческие «функции». Таких «человекоподобных» роботов принято называть *андроидами*.

С легкой руки Карела Чапека роботы стали главными героями многих научно-фантастических книг и фильмов. Развитие темы «роботов» привело к появлению их многочисленных разновидностей. Наряду со старомодными «железными» людьми, появились *киборги* – существа частично «человеческого», а частично – «машинного» происхождения, и *анроиды* — роботы, имеющие человеческий облик.

Многие впервые увидели «настоящего» робота на всемирной ярмарке 1939 года. Фирма Westinghouse Electric создала робота *Electro* – движущегося человека. У робота *Electro* имелись моторчики и система приводов, позволявшие ему «двигать» ногами, руками и ртом. Робот не «умел» делать никакой полезной работы – его просто демонстрировали на сцене в компании «механической» собаки Спарко.

# Зачем создавать роботов?

Применение роботов оказалось совершенно необходимым для многих производств, прежде всего потому, что стоимость «труда» робота оказалось значительно ниже стоимости такой же операции, производимой работником – человеком. Более того, робота достаточно запрограммировать один раз, и он будет совершать требуемое действие с точностью, превосходящей точность работы любого квалифицированного рабочего. С другой стороны, человек способен выполнять различные задания и с этой точки зрения является значительно более гибким. Роботы, как правило, предназначены для выполнения какой-то одной операции. Например, робота, предназначенного для сварки, вряд ли удастся «научить» считать детали в бункере.

Существующие наиболее совершенные промышленные роботы очень скоро превратятся в «динозавров». Сегодняшняя «младенческая» стадия эволюции роботов заканчивается, появляются новые, гораздо более универсальные роботы, вбирающие в себя все новые качества человеческого интеллекта.

Персональный компьютер уже произвел переворот в обществе, но «персональный» робот еще не появился. Причина очевидна – создание такого робота намного сложнее. Помимо развитого интеллекта он должен хорошо «уметь» ори-

ентироваться и перемещаться в пространстве и осуществлять необходимые манипуляции для достижения поставленной цели.

# Применение роботов

Понятно, что гораздо проще создать «домашнего» робота, выполняющего какую-то одну работу. Например, уже сегодня существуют небольшие мобильные роботы, которые могут «самостоятельно» постричь траву на газоне. Эти роботы работают от солнечных батарей и не требуют программирования. По периметру газона закапывается провод; робот чувствует этот провод и остается внутри периметра, не выходя за его пределы.

Создание полезного персонального робота очень сложно. Вообще говоря, эта проблема выходит за рамки данной книги, да, пожалуй, и любой современной книги по робототехнике. Резонно спросить – а какова вообще тогда цель этой книги? Я надеюсь, что, прочитав эту книгу и построив несколько моделей роботов, вы приобретете необходимый опыт и сможете внести свой вклад в развитие робототехники.

Способность к созданию нового не есть необходимая принадлежность исключительно университетского диплома. Роботы создаются отнюдь не только учеными в стенах университетов и промышленных компаний. Экспериментируя и «играя» с роботами, вы можете научиться многим полезным вещам: работе искусственного интеллекта, принципам нейросетей, грамотной постановке целей, задачам «навигации».

ции», работе сенсоров и исполнительных механизмов и т. д. Первоначальное знакомство с основами робототехники может перерасти в ее серьезное изучение. И с этой точки зрения «любительская» робототехника вносит свой вклад, подчас предлагая изящные и оригинальные решения, превосходящие «профессиональные».

Как говорится в поговорке: «Семь раз отмерь – один раз отрежь». Прежде чем начать строить робота, задайте себе вопрос: «Для какой цели он предназначен? Что он будет делать и каким образом?» Моей мечтой является создание маленького робота, который бы автоматически обслуживал кошачий туалет.

Эта книга содержит необходимую информацию об электрических схемах, «чувствительных» элементах, системах, обеспечивающих движение, нейронных сетях и микроконтроллерах, которые могут потребоваться при создании робота. Но перед тем как мы приступим, рассмотрим некоторые известные и возможные будущие области применения роботов. В настоящее время наиболее совершенные роботы создаются инженерами НАСА и военными специалистами. Нетрудно догадаться, что НАСА использует роботов для исследования космического пространства и организации дистанционной передачи информации. С другой стороны, военные пытаются использовать роботов в военных целях.

# Исследования

НАСА регулярно посылает беспилотные автоматические станции в тех случаях, когда отправка космонавтов-исследователей не представляется возможной. Главная причина такого решения проста – экономика. Гораздо дешевле послать в космос «невозвращаемого» робота, чем человека. Космонавту требуются специальные условия: воздух для дыхания, еда, тепло и достаточное жизненное пространство. И, говоря откровенно, понятным желанием космонавта является выжить в космической экспедиции и вернуться на Землю, так сказать, «при жизни».

Космическая станция совершает полет по солнечной системе и с помощью своих «электронных» глаз передает на Землю впечатляющие картины планет и их спутников. Автоматическая станция *Viking* искала на Марсе признаки жизни и передавала на землю фотографии марсианского ландшафта. НАСА разрабатывает вездеходы для исследования планет, космические зонды, специальные вездеходы на «пачьих» лапах и подводные вездеходы. В настоящее время у НАСА имеются лучшие в мире программы по дистанционному управлению роботами, создаваемые Агентством космического управления и технологий (OSAT).

НАСА утверждает, что в 2004 году более 50 процентов действий вне космического корабля будет осуществляться

через системы дистанционного управления. Более подробные объяснения принципов дистанционного управления и наблюдения можно найти в главе 9.

Роботизованные космические станции, запущенные с Земли, дали возможность наблюдать потрясающие воображение виды соседних планет солнечной системы. В наш век сокращающихся бюджетов роботы-исследователи наилучшим образом смогут использовать средства налогоплательщиков. Понятно, что автоматические роботизованные станции обходятся значительно дешевле обитаемых. Вот один пример. Марсианский *следопыт* (Pathfinder) как раз представляет новое поколение недорогих космических исследовательских устройств.

### *Марсианский следопыт (Sojourner)*

Марсианский «следопыт» состоит из спускаемого аппарата и марсохода. Он был запущен с Земли в декабре 1996 года с помощью ракеты-носителя McDonnell Douglas Delta II и начал свое путешествие к Марсу. Устройство достигло поверхности Марса 4 июля 1997 года.

«Следопыт» не вышел на круговую орбиту Марса, вместо этого он влетел в марсианскую атмосферу на скорости 27 тыс. км/ч, или 7,6 км/с. Для предотвращения сгорания аппарата в атмосфере были предусмотрены: жаропрочная внешняя оболочка, парашюты, тормозные ракеты и воздуш-

ные подушки. Хотя приземление было смягчено подушками, ускорение при ударе достигло 40 g.

«Следопыт» приземлился в районе Ares Vallis. Место посадки находится в устье древнего русла марсианского «канала» – месте, где в зоне доступности марсохода может оказаться много различных горных пород. Предположительно эти породы были смыты с марсианских гор в те времена, когда на Марсе существовали водяные потоки. После посадки спускаемый аппарат раскрылся (см. рис. 1.1) и «выпустил» автоматический марсоход.

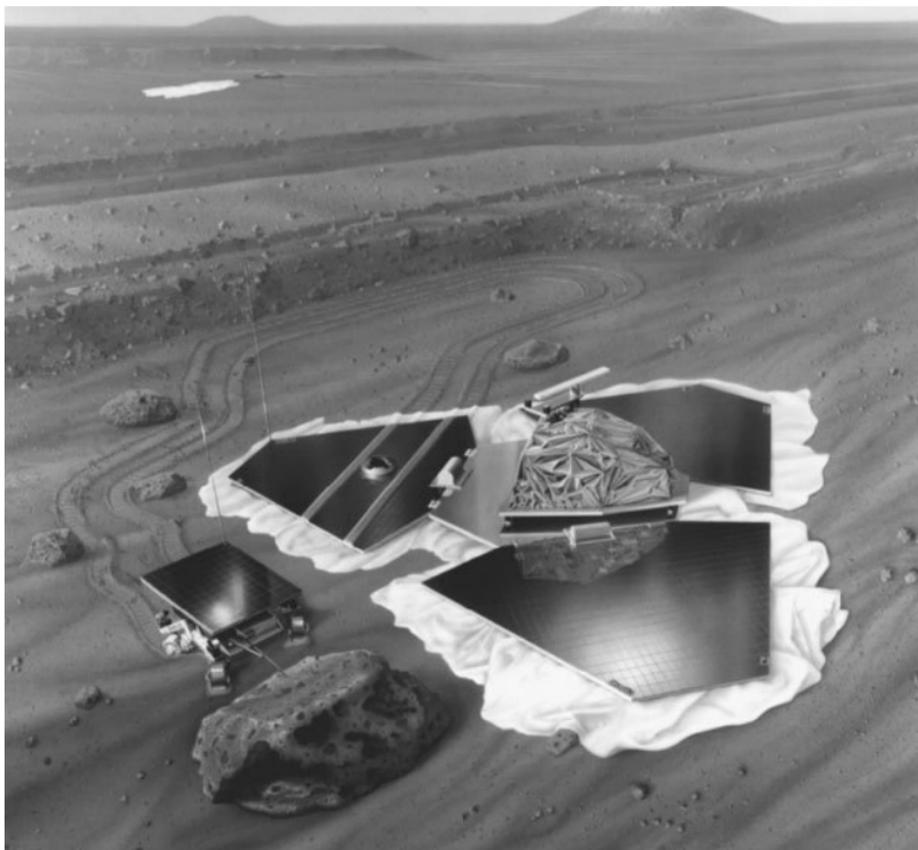


Рис. 1.1. Марсианский следопыт. *Фото НАСА*

Сам вездеход, или марсоход, доставленный «Следопытом» был назван «Попутчик» (Sojourner). «Попутчик» представляет собой новый класс небольших роботизованных исследовательских комплексов, иногда называемых «микровездеходами». При весе всего в 10,5 кг он имеет размеры: 280 мм в высоту, 630 мм в длину и 480 мм в ширину. Марсо-

ход снабжен уникальной шестиколесной системой передвижения (*Rocher-Bogie* – горная повозка), разработанной Jet Propulsion Laboratories (JPL) в конце 80-х годов. Основным источником энергии для марсохода служит панель солнечной батареи, содержащая более 200 элементов с отдаваемой мощностью батареи примерно 16 ватт. «Попутчик» начал исследование поверхности Марса в июле 1997 года. Перед этим этот робот был известен под именем *Rocky IV*. Совершенствование этого робота «микровездехода» прошло несколько стадий, отраженных в прототипах от *Rocky I* до *Rocky IV*.

И спускаемый аппарат, и сам марсоход снабжены системой стереовидеонаблюдения. Для определения состава горных пород марсоход имеет рентгеновский спектрометр для анализа альфа – частиц. Спускаемый аппарат имел оборудование для проведения атмосферных и метеорологических наблюдений, а также играл роль ретранслятора для передачи данных и картинок с марсохода на Землю.

**Цель экспедиции.** Марсоход «Попутчик» сам по себе являлся целью эксперимента. Данные, полученные от марсохода, подтвердили, что использование подобных «микровездеходов» экономически оправдано и полезно. В дополнение к заданиям, описанным выше, экспедиция преследовала следующие цели:

- Фотографирование ближних и дальних окрестностей поверхности Марса
- Анализ перемещения грунта

- Определение навигационного счисления местоположения на Марсе
- Измерение топкиости марсианского грунта
- Запись данных о перемещениях устройства
- Определение тепловых режимов марсохода
- Контроль работы оптической системы устройства
- Определение качества УКВ связи
- Анализ смыва грунта
- Анализ сцепления грунта
- Оценка работы рентгеновского спектрометра альфа – частиц
- Оценка работы устройства разворачивания спектрометра
- Фотографирование спускаемого аппарата
- Оценка имеющихся повреждений

Контроль действий «Попутчика» осуществлялся дистанционно по командам с Земли. Оператор задавал перемещения марсоходу на основе визуальных данных, получаемых с самого марсохода и со спускаемого аппарата. В силу того что время задержки реакций марсохода по отношению к подаваемым с Земли командам составляло от 6 до 41 минуты в зависимости от взаимных положений Марса и Земли, для предотвращения фатальных действий, таких как падение с обрыва, аппарат имел бортовой интеллект.

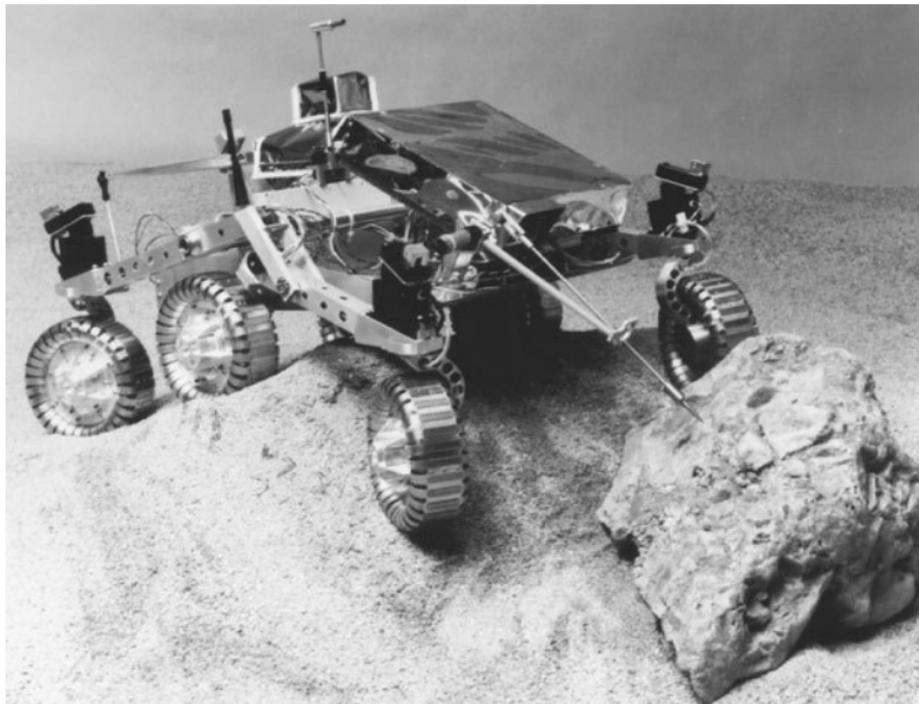


Рис. 1.2. Марсоход «Попутчик». *Фото НАСА*

НАСА продолжает исследования в области создания роботизированных «микровездеходов». Для дальнейших исследований Марса планируется создание «интеллектуальных» вездеходов, способных к ориентированию, преодолению препятствий и принятию иных решений. Такие роботизированные системы максимально используют деньги налогоплательщиков.

Последний «микровездеход», предназначенный для очередной марсианской экспедиции, будет снова искать там

признаки жизни. 7 августа 1996 года НАСА выпустило заявление, что оно надеется найти ископаемые микроскопические следы жизни на Марсе. Эта информация подогрела интерес к поискам жизни на Марсе.

## **Использование роботов в промышленности**

Роботы незаменимы во многих отраслях производства. К примеру, роботы-сварщики повсеместно используются в производстве автомобилей. Другие роботы, снабженные краскораспылителями, занимаются покраской деталей. В радиоэлектронной промышленности роботы используются для пайки микроскопических проводников к полупроводниковым чипам (точечная сварка). Другие роботы, которых называют «взять и разместить», занимаются размещением интегральных микросхем на печатных платах. Этот процесс называется «набивкой» печатной платы.

Эти специализированные роботы совершают одну и ту же высокоточную работу изо дня в день. Для человека такая работа является скучной и утомительной – от однообразия наступает утомление, которое порождает ошибки. Производственные ошибки снижают продуктивность труда, что в свою очередь приводит к увеличению стоимости производства. Для конечного потребителя рост стоимости производства отражается в более высоких розничных ценах. Вместе с

тем понятно, что в условиях конкуренции наиболее успешной окажется компания, имеющая лучшее соотношение цена-качество.

Роботы идеально подходят для монотонной, однообразной работы. Скорость их работы выше, они обходятся дешевле работников – людей и не подвержены усталости. Это является одной из причин низкой цены производимой продукции. Роботы позволяют повысить качество продукции и расширить границы прибыльности (конкурентоспособности) предприятия.

## **Проектирование и моделирование**

Роботы оказались способны к выполнению не только циклических операций. Компании – производители широко используют системы компьютерного проектирования (computer aided design CAD), управляемого компьютерного производства (computer aided manufacturing CAM) и цифрового компьютерного контроля (computer numerical control CNC) для создания различных проектов, производства компонентов и контроля сборочного процесса. Эти технологии позволяют инженеру спроектировать устройство или деталь с помощью CAD и быстро получить опытный образец с помощью оборудования, управляемого компьютером. Компьютер оказывает поддержку на всех этапах – от проектирования до производства.

## Опасные производства

В некоторых опасных производствах, связанных с риском для здоровья или жизни, люди могут быть успешно заменены роботами (см. рис. 1.3). К примеру, возьмем задачу обезвреживания бомб. Многие команды саперов широко используют роботов. Как правило, такие роботы имеют вид небольших бронированных танков и управляются дистанционно операторами, использующими видеокамеры, расположенные в передней части робота (система дистанционного видеоконтроля). Руки-манипуляторы робота способны захватить подозрительный предмет и поместить во взрывобезопасный контейнер для последующего подрыва или обезвреживания.

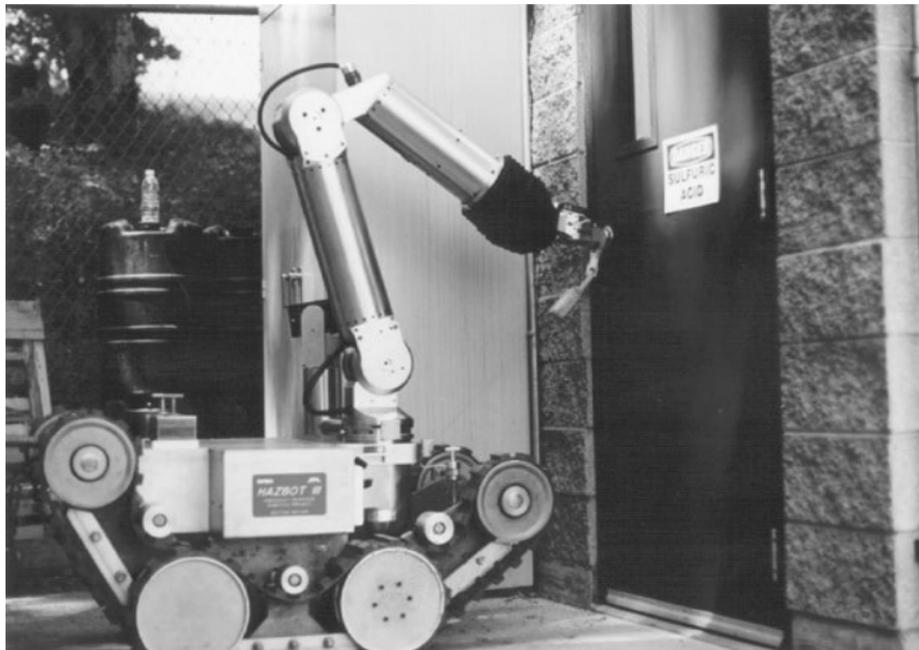


Рис. 1.3. Робот-спасатель. *Фото НАСА*

Подобные роботы позволяют очистить местность от токсичных отходов. Они в состоянии функционировать в условиях сильного химического или радиационного заражения среды. Роботы способны «работать» в условиях, где незащищенного человека ожидает быстрая смерть. Атомная промышленность первой начала разрабатывать и использовать роботизированные автоматические манипуляторы для работы с радиоактивными материалами. Эти манипуляторы позволили специалистам производить операции в радиоактивной зоне, находясь при этом в чистых и безопасных помещениях.

## **Эксплуатация и ремонт**

Роботы-эксплуатационники были специально созданы для перемещений внутри трубопроводов, коллекторов и воздухопроводных каналов с целью контроля их состояния и возможного ремонта. Оператор наблюдает за ходом процесса с помощью видеокамеры, закрепленной на роботе. При обнаружении повреждения оператор может эффективно и оперативно использовать робота для мелкого ремонта.

## **Роботы-пожарные**

Во многих домах имеются огнетушители, а как насчет робота-пожарного? Такой робот может обнаружить возгорание в любой части помещения, самостоятельно переместиться туда и загасить огонь.

Идея робота-пожарного оказалась настолько популярной, что уже несколько лет проводятся соревнования между конструкторами подобных устройств. Эти соревнования спонсируются Trinity колледжем, обществом робототехники Коннектикута и некоторыми корпорациями. Как правило, робот-пожарный активируется по сигналу тревоги, поступившему по системе обнаружения огня. Во время соревнований роботу необходимо проложить путь в специальном «виртуальном» помещении, добраться до места возгорания

и потушить огонь.

## Роботы в медицине

Роботов, используемых в медицине, можно отнести к трем категориям. Роботы первой категории используются в диагностике. Весной 1992 года компания *Neuromedical Systems Inc. of Suffern, NY*, выпустила на рынок изделие под названием *Papnet*. Система *Papnet* представляет собой устройство, использующее принцип нейронных сетей, которое помогает специалистам цитологам диагностировать рак шейки матки более точно и, что важнее, с меньшими затратами.

До появления *Papnet* анализы шейечных мазков производились вручную. Лаборант рассматривал каждую пробу под микроскопом, стараясь обнаружить отдельные раковые клетки в большой массе здоровых клеток. Понятно, что наличие дефектных клеток служит индикатором рака или предракового состояния, однако во многих случаях лаборант не замечал эти клетки из-за утомления или недостаточного внимания.

В течение двадцати лет ученые пытались автоматизировать процесс обнаружения раковых клеток, используя стандартные алгоритмы выбора решающего правила. Данный подход не оправдал себя, поскольку классические алгоритмы не работали в силу большого количества и сложности па-

раметров, которые позволяют отличить пораженные клетки от здоровых.

**Papnet** использует усовершенствованную систему распознавания образов, построенную на принципе нейронных сетей, и отбирает 128 наиболее «подозрительных» клеток исследуемого мазка для дальнейшей оценки специалистом-цитологом.

Использование **Papnet** показало очень хорошие результаты, позволяя определить дефектные клетки в 97 % случаев. Поскольку для каждой пробы лаборанту теперь приходится проверять всего 128 клеток, а не 200 или даже 500 тысяч, то влияние фактора утомления неизмеримо снизилось. Более того, время, необходимое для тестирования пробы, сократилось от пяти до десяти раз. Соответственно, процент ошибок для нового метода не превышает 3 % по сравнению с 30–50 % при ручной проверке.

Роботы второй категории представляют собой дистанционно управляемые устройства, используемые в хирургии. Такие устройства позволяют хирургу проводить операции, находясь вне непосредственного контакта с пациентом. Подобные роботы имеют уникальную систему тактильной обратной связи, позволяя хирургу непосредственно «чувствовать» органы и ткани, которые оперируются инструментами робота. Такие роботы обеспечивают хирургу возможность проводить операции практически в любой точке земного шара, не выходя, так сказать, из собственного кабинета.

К третьей категории относятся роботы, использующие принципы виртуальной реальности и изменения кратности манипулирования. При использовании такого робота движения хирурга преобразуются в движения хирургического инструмента определенным образом. Допустим, хирург переместил руку на 10 см. Компьютерная система, управляющая роботом, может преобразовать это перемещение в движение скальпеля на 1 см или даже на 1 мм. Таким образом, хирург может производить микроскопические операции, которые ранее были невозможны.

## **Нанотехнологии**

Нанотехнологии представляют собой исследования и создание объектов имеющих молекулярные или даже атомарные размеры. В настоящее время оказалось возможным создание электронных или механических компонентов на основе отдельных атомов. Подобные крошечные компоненты могут быть использованы для создания устройств размером с бактерию. Фирме IBM уже удалось создать транзисторы, проводники, рычажные механизмы и передачи на атомарном уровне.

Каким же образом можно манипулировать отдельными атомами? Для этой цели Гердом Биннигом и Хайнрихом Ререром был сконструирован специальный сканирующий туннельный микроскоп (STM), который позволил осуществить

исключительно точное позиционирование области, имеющей атомарные размеры. В 1990 году инженерам IBM с помощью подобного микроскопа удалось написать название компании «IBM» на никелевой подложке с помощью всего 35 атомов ксенона. Фотография этой пластинки со словом «IBM», написанным атомами, стала мировой сенсацией и обошла страницы многих журналов и газет. Этим было положено начало эры нанотехнологий, и ее постоянное совершенствование находит все новые применения в производстве, исследованиях и медицине.

## *Медицинские нанороботы*

Нанотехнологии могут оказать неоценимую помощь в создании *нанороботов*, т. е. роботов, имеющих микроскопические размеры. Представим себе робота, имеющего столь малые размеры, что он может быть непосредственно помещен в кровоток пациента. Перемещаясь по кровотоку, робот может достигнуть области сердца и начать удалять там холестериновые бляшки, восстанавливая полноценную циркуляцию крови. Другие роботы смогут отыскивать раковые опухоли и удалять в них все пораженные клетки. Некоторые пациенты, которые сейчас считаются неоперабельными, смогут быть излечены с применением нанотехнологий.

Другая надежда, возлагаемая на нанороботов, – борьба с процессами старения в организме. Интересные возможно-

сти откроются с появлением нанороботов, имеющих размеры вирусов, способных внедряться непосредственно в клетки и переводящих внутриклеточные «часы» на начало «отсчета».

Развитие нанотехнологий оказало существенное влияние на всю технологию производства роботов: как микроскопических, так и обычных, *макроскопических*, спектр возможностей которых неизмеримо расширился, начиная от задач уборки помещений и кончая автоматизированным производством продукции. С нанотехнологиями связаны большие надежды на производство новых высококачественных материалов и изделий с относительно низкими затратами.

## Военные роботы

Если государство оказывается вовлеченным в военный конфликт, то для достижения скорейшей победы при минимальных потерях использование роботов имеет исключительно важное значение, особенно в современных условиях. Например, использование беспилотной авиации позволяет вести наблюдение за расположением и перемещением сил противника.

Израильские военные нашли для беспилотной авиации остроумное применение. Беспилотный самолет был сконструирован так, чтобы представлять собой удобную цель для радаров. После запуска на вражескую территорию он,

естественно, обнаруживался радары, а израильтяне в свою очередь засекали местоположения этих радаров. После их уничтожения реактивные истребители могли беспрепятственно пролететь через эту территорию.

«Умные» бомбы и крылатые ракеты представляют собой другой пример «интеллектуализованных» вооружений. Мне очень нравятся три закона робототехники, придуманные Айзеком Азимовым, которые гласят, что робот никогда не может намеренно причинить вред человеку, но реальность с ее военными роботами именно такова.

## Война роботов

В нашей мирной жизни устраиваются специальные соревнования – «войны роботов». Участники подобных соревнований создают специальных радиоуправляемых роботов разных весовых категорий и устраивают поединки один на один для определения лучшего «бойца».

Арена для подобных соревнований представляет собой ровную асфальтовую площадку размерами примерно 9 на 17 м, для безопасности болельщиков огороженную стенами высотой примерно 2,5 м. Более подробную информацию можно найти на сайте <http://www.robotwars.com>.

Сражения роботов оказались настолько популярными, что породили массу разновидностей подобных соревнований. Некоторые ссылки можно найти здесь:

Battlebots <http://www.battlebots.com>

Robotica <http://tic.discovery.com/fansites/robotica/robotica.html>

MicroBot Wars <http://microbw.hypermart.net>

## **Гражданские применения беспилотных летательных аппаратов**

Беспилотные автоматизированные летательные аппараты, как самолеты, так и дирижабли, разработанные для военного применения, могут использоваться в гражданской жизни для мониторинга уличного движения или обстановки в особо криминальных районах города. Подобные устройства могут иметь очень небольшие размеры, поскольку они не имеют пилотского места. По-видимому, использование беспилотных дирижаблей более оправдано, поскольку они являются более безопасными в эксплуатации. Понятно, что беспилотный самолет может находиться в воздухе только в движении, и ошибки в его пилотировании могут иметь катастрофические последствия, особенно в условиях плотной городской застройки. Дирижабль, в свою очередь, может перемещаться очень медленно или даже «зависать» в воздухе, обеспечивая лучшие условия для наблюдения за уличным движением, жилыми кварталами, промышленными объектами и обстановкой в районах повышенной криминальности.

## Домашние роботы

В домашнем хозяйстве роботы могут найти множество различных применений. С помощью роботов можно мыть окна и полы, делать мелкий домашний ремонт, чистить обивку мебели, стирать, готовить и выносить кошачьи экскременты. Здесь возникает интересный дискуссионный вопрос: можем ли мы считать уже присутствующие в домашнем хозяйстве посудомоечные машины, микроволновые печи, стиральные и сушильные машины роботами или они все же являются еще автоматическими машинами? Я думаю, что когда эти машины «научатся» автоматически «обеспечивать» себя работой, самостоятельно доставая продукты из холодильника для их приготовления или собирая по дому грязное белье для стирки, то они пройдут машинную стадию и превратятся в настоящих роботов.

### **Как попасть в «десятку»?!**

Как принято говорить, особенно в сфере компьютерного матобеспечения, чтобы программный продукт «пошел» и приобрел популярность, необходимо найти его «убойное применение». В свое время таким компьютерным продуктом явилось создание текстовых редакторов и режима разделения страниц. Создание какого робота окажется «золотым»,

т. е. тем попаданием в «яблочко», которое побудит каждого к покупке такого робота, я не знаю. Но я знаю, что сфера использования роботов постоянно расширяется, и многие «экзотические» применения роботов в скором будущем станут вполне привычными с развитием их массового производства, отражающего развитие возможностей, надежд и запросов общества.

## **Другие применения**

Невозможно уследить за всеми научными и технологическими разработками в области робототехники – все происходит чрезвычайно быстро. Для поиска необходимой информации лучше всего воспользоваться сетью Интернет.

# **Глава 2**

## **Искусственная жизнь и искусственный интеллект**

Развитие роботехники подходит к важнейшему этапу: возможности создания искусственной жизни и искусственного интеллекта.

# Искусственный интеллект

Мечтой человечества является создание машины, снабженной искусственным интеллектом (ИИ), способной соперничать или даже превосходить интеллект человека. Как мне представляется, внедрение и развитие искусственного интеллекта (ИИ) в компьютерных системах наилучшим образом возможно через создание нейронных сетей. Это не совпадает с мнением других компьютерных специалистов, считающих экспертные системы и специальные системы правил под «задачу» (программы) потенциально более жизнеспособными.

Неоспоримым является тот факт, что «задачные» операционные системы (DOS, Windows, Linux и т. д.) и соответствующее им матобеспечение способны решать практически все известные на сегодня задачи. Не отрицая этого факта, замечу, что для реализации мечты о создании ИИ работа с нейронными сетями является наиболее многообещающей.

Еще совсем недавно было предсказано, что использование мощных параллельных процессоров в комбинации с нейронными сетями при использовании принципа нечеткой логики позволит смоделировать человеческий мозг в течение десяти ближайших лет. Прогноз оказался слишком оптимистичным, тем не менее определенных успехов в этом направлении удалось достичь. На рынке появилось уже второе поко-

ление чипов, построенных по принципу нейронных сетей. Совсем недавно две компании (Intel Corp., Santa Clara, CA и Nestor Inc., Providence, RI) объединенными усилиями создали нейрочип Ni1000. Модель Ni1000, выпущенная в 1993 году, содержит 1024 искусственных нейрона. Эта интегральная схема содержит три миллиона транзисторов и способна производить 20 миллиардов двоичных операций в секунду.

## **Эволюция «сознания» в искусственном интеллекте**

Наличие сознания является проявлением внутренних процессов, протекающих в мозгу. Зарождение сознания у человека *Homo sapiens* явилось результатом эволюционного развития нейронных структур мозга как биологической системы. Миллиард лет назад наиболее развитой формой жизни на Земле были черви. Давайте на минуту представим себе этого доисторического червя и зададимся вопросом: могли зачаток (в смысле нейронной структуры) интеллекта породить некоторое рудиментарное «сознание»? Если это так, то такой «интеллект» и «сознание» оказываются похожими на работу искусственных нейронных сетей, используемых в современных суперкомпьютерах (см. рис. 2.1).

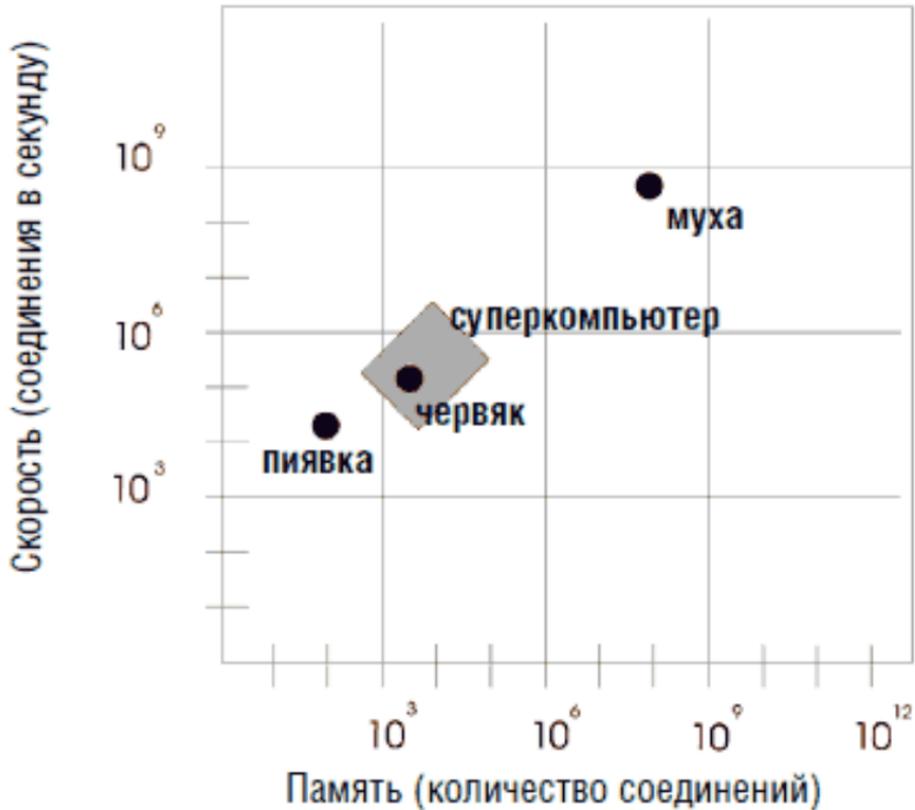


Рис. 2.1. График, показывающий возможности суперкомпьютера

Червь, несомненно, является живым существом, но может ли он осознавать «себя»? Или его нервная система представляет собой организованный ансамбль нейронов, воспроизводящих все ту же «начальную» запись, которая уже была заложена в нейронной структуре предков, осуществляя, та-

ким образом, не более чем функциональный биологический автоматизм?

## **Является ли сознание жизнью?**

Такой вопрос включает в себя несколько: «Является ли интеллект сознанием?» и «Является ли сознание жизнью?» Представляется корректным говорить о том, что интеллект должен достичь определенной степени развития, «критической» массы и только в этом случае можно говорить о появлении сознания. В любом случае искусственные нейронные сети способны и в итоге достигнут уровня «сознания». Произойдет ли это через 10 лет, или через 1000 лет – это не имеет никакого значения; 1000 лет есть только миг в эволюционной истории. (Я все же надеюсь, что это произойдет через десяток лет, и мне удастся при жизни увидеть полноценный ИИ.) Интересно, когда искусственные нейронные сети обретут «сознание» и «самосознание», можно ли будет считать их живыми существами?

# Искусственная жизнь

В создании искусственной жизни (ИЖ) можно выделить три основные направления исследований: создание «нейронных» роботов с автономным питанием, создание нанороботов (в том числе и с возможностью «размножения»), создание компьютерных программ (матобеспечение). Наиболее совершенным типом искусственной жизни на Земле на сегодняшний день являются компьютерные программы. Роботы, способные к самовоспроизводству, еще не изобретены, а ждать появления нанороботов придется еще достаточно долго. По этой причине остановимся сейчас только на компьютерных программах ИЖ.

В подобных программах «жизнь» существует исключительно в виде цепочек электрических импульсов, которые генерируются программой в памяти компьютера. Специалисты-компьютерщики создали массу различных программ ИЖ, моделирующих различные биологические процессы (выживание, рождение, смерть, развитие, движение, кормление, спаривание и т. д.). Некоторые из них называются «клеточная автоматизация» (кластеризация), другие имеют название «генетических» алгоритмов.

Программа клеточной автоматизации (КА) была использована для точного моделирования биологических систем и исследования характера распространения заразных заболе-

ваний, таких как СПИД в человеческой популяции. Подобные программы также применялись для исследования эволюционных процессов, поведения колоний муравьев и пчел и множества других стохастических систем. Для генерации случайных процессов в программы были введены специальные стохастические алгоритмы. Одним из интересных применений было использование КА программ для оптимизации размеров нейронных сетей, использованных в головном компьютере. Есть надежда, что подобные программы помогут создать и «связать» большие нейронные сети для использования в суперкомпьютерах.

Генетические алгоритмы (ГА) функционируют в духе Дарвиновской теории выживания сильнейшего. Две конкурирующие ГА программы могут «встретиться» в памяти компьютера и перемешать свои двоичные коды для произведения «потомства». Если «потомок» окажется так же или более жизнеспособным по сравнению с «родителями», то, вероятнее всего, он выживет. Являются ли эти программы живыми – это, очевидно, зависит от определения жизни. Что если появятся программы, способные к саморазвитию и повышению собственного «программного» уровня? Что произойдет, когда подобные программы будут встроены в передвижных роботов? Как насчет роботов, научившихся производству себе подобных?

# **Нанороботы – мы живые существа?**

Наноробот представляет собой робота, имеющего размеры микроба. Фирме IBM удалось достичь определенных успехов в создании электронных и механических устройств (транзисторы и проводники), имеющих молекулярные или даже атомарные размеры. Подобные достижения вселяют уверенность в возможности создания предметов сколь угодно малых размеров, поэтому роботы размером с бактерию теоретически возможны.

Некоторые ученые предсказывают, что следующим эволюционным шагом будет возникновение жизни на основе кремния, которая заменит на планете углеродные формы жизни. То, что мы сейчас называем электронными устройствами и роботами, станут формами саморазвивающейся и саморазмножающейся силиконовой жизни.

## Немного истории

Прогресс компьютерных технологий за последние пять с половиной десятилетий можно назвать ошеломляющим. Созданный в 1946 году компьютер ENIAC представлял собой целую гору электронного оборудования. При размерах 30 м в длину, 2,4 м в высоту и 0,9 м в ширину его вес доходил до 30 т. ENIAC содержал 18 тыс. электронных ламп, 70 тыс. резисторов, 10 тыс. конденсаторов, 6 тыс. переключателей и 1,5 тыс. электромагнитных реле. Производительность машины составляла 5 тыс. сложений, 357 умножений или 38 делений в секунду. Сегодня подобный компьютер образца 1946 года можно уместить на крошечной кремниевой пластинке площадью менее 5 кв. мм.

Физик Роберт Ястроу утверждал в журнале «The enchanted Loom» (New York, Simon&Shuster, 1981), что «компьютеры первого поколения были в миллиард раз «глупее» и неэффективнее человеческого разума. На сегодняшний день этот разрыв сократился более чем в тысячу раз».

Наука неослабевающими темпами стремится к созданию ИИ, и как я уже говорил, возможно, искусственный интеллект будет создан еще при нашей жизни. От точки создания ИИ всего несколько шагов до создания машинного «суперинтеллекта». Многие ученые скажут вам, что это только мечта, пытаюсь удержать сладкую иллюзию о безусловном и

окончательном превосходстве человеческого интеллекта. Не утешаясь подобными иллюзиями, я могу сказать, что прогресс создания ИИ непреклонно и с неослабевающим темпом становится реальностью.

# Совершеннее, чем мы

Хотим ли мы как представители разумной расы создать интеллект, превосходящий наш собственный? Если думать над этой проблемой, то в долговременной перспективе он может потребоваться нам хотя бы для целей выживания. Подумайте о перспективах той страны, которая первой создаст ИИ с IQ порядка 300. Подобной машине ИИ можно поручать проблемы оздоровления национальной экономики, очистки окружающей среды, прекращения загрязнений, развития военных стратегий на случай конфликтов, осуществления медицинских и научных исследований и, конечно, создания более совершенных устройств ИИ. Возможно, что следующая теория развития Вселенной будет предложена не человеком (как в свое время это сделал Альберт Эйнштейн), а машинным ИИ.

# Запертая клетка

Почему так важно создать суперинтеллект? Найдет ли человечество, в конце концов, решение этой волнующей проблемы? Возможно. Необходимость создания мощного ИИ можно проиллюстрировать одной историей, которую я услышал или прочитал. Боюсь только, что я не вспомню фамилии автора, за что приношу ему свои извинения. Если я немного искажил историю своим пересказом, то прошу прощения и за это.

В клетке находятся десять шимпанзе. Дверь клетки заперта. Чтобы догадаться, как отпереть замок и открыть дверцу клетки, требуется коэффициент интеллекта IQ порядка 90. Каждый шимпанзе, сидящий в клетке, был подвергнут тестированию и показал IQ порядка 60. Могут ли десять шимпанзе, объединив усилия, найти способ открыть дверцу клетки? Ответ однозначен – НЕТ. Интеллект не накапливается. Если бы 10 шимпанзе, действуя совместно, обладали бы суммарным интеллектом IQ равным 600, то этого было бы более чем достаточно, чтобы отпереть дверцу. Реально шимпанзе не могут этого сделать.

В реальной жизни мы сталкиваемся с проблемами, такими как загрязнение окружающей среды, экономика, заболевания, подобные раку и СПИДУ, поиски долголетия, и разнообразными направлениями научного поиска, которые ме-

тафорически могут быть представлены как «сидение» в запертой клетке. С этой точки зрения создание сверхмощного ИИ представляется очевидным. Такой ИИ, возможно, найдет нужные ключи для «отпираания» подобных проблем, которые до настоящего времени остаются в принципе нерешенными. Я не думаю, что подобные возможности ИИ остаются вне сферы внимания различных государств. Возможно, что следующий «Манхэттенский проект», предпринятый в нашей стране, (я надеюсь) будет посвящен созданию суперИИ.

Мы как раса вряд ли будем довольны появлением машинного интеллекта, по сравнению с которым мы будем ощущать себя в роли шимпанзе. Научные фантасты уже в течение долгого времени описывают безумия суперкомпьютеров, имеющих ИИ. Таков компьютер HAL в романе А. Кларка «Космическая одиссея, 2001», таков центральный компьютер в «Терминаторе» и «Терминаторе II». Для всех будущих создателей ИИ, которые прочитали эту книжку, у меня есть предостережение «Не забывайте про выключатель!»

# Биотехнологии

Успехи биотехнологий в скором будущем позволят нам изменять нашу генетическую основу. На основе этого станет возможным «модифицировать» наш мозг для увеличения его интеллектуальных способностей. Однако вполне возможно, что подобные генные модификации приведут к непредсказуемым последствиям для последующих поколений, которые могут быть катастрофическими. Создание суперинтеллекта на основе машины представляется более безопасным, по крайней мере, до поры до времени.

# **Нейронные сети – ожидания против реальности**

Возможности нейронных сетей с самого момента появления были, пожалуй, излишне разрекламированы. Поэтому достаточно легко не принимать во внимание мои соображения насчет ИИ, ИЖ и нейронных сетей, собственно, как делают это многие в течение ряда лет. Хотя, правда и то, что появление «человекоподобного» интеллекта было предсказано.

Если развитие будет идти теми же темпами, что и в последние 50 лет, то, как я надеюсь, через полвека появятся системы ИИ, сравнимые с возможностями человеческого мозга.

# Что такое нейронные сети?

Я описывал нейронные сети без точного определения. Сейчас я дам это определение. Нейронными сетями называются искусственные компьютерные системы (на базе аппаратного и программного обеспечения), которые функционируют и «обучаются» на основе моделей, созданных по аналогии с биологическими системами человеческого мозга. Такие сети могут быть созданы на базе аппаратно/программного обеспечения или быть чисто аппаратными. Моделирование по образцу биологических мозговых структур привело к успешному решению некоторых частных проблем, необходимых для создания ИИ, таких как машинное зрение, распознавание речи и вокализация. Нейронные сети могут быть «обучены» для осуществления распознавания образов. Они могут быть научены чтению или проверке качества продукции через визуальный контроль изделий. Одним таким примером является система Papnet, описанная в главе 1. Другие сети могут быть обучены распознаванию звуковых команд (распознавание речи) и речевому синтезу. Сети, использующие статистические методы, могут предсказывать поведение и вероятности событий в сложных нелинейных системах, основываясь на данных прошлого опыта. Такие системы способны давать динамику нефтяных цен, обеспечивать контроль электронных устройств самолета и предсказывать по-

году. Нейронные системы могут также успешно применяться в анализе состояния рынка, оценивать кандидатов на ипотечные кредиты и страхование жизни, показывая лучшие результаты, чем традиционно используемые экспертные системы на основе стандартных решающих правил.

# Что такое искусственный интеллект?

Законный вопрос, не правда ли? Безусловно, развитие нейронных сетей приведет сперва к появлению «интеллекта», а потом уже – «сознания». В попытке создания сетей, которые интеллектуальны или демонстрируют интеллект, каким критерием нужно руководствоваться, чтобы понять, что цель уже достигнута?

Британский математик Алан Тьюринг предложил интересную процедуру, которая, в общем, считается достоверной для определения того, имеет ли машина интеллект. Человек и машина вступают в беседу, посылая сообщения по телетайпу. Если машина может поддерживать общение таким образом, что человек не в состоянии определить – кто находится на другом конце линии телетайпа: человек или машина, то машина определяется как «мыслящая». Эта процедура называется тестом Тьюринга и является одним из критериев определения ИИ.

Хотя тест Тьюринга является общепринятым, он не является окончательной процедурой определения ИИ. Существует ряд совершенно «тупых» языковых программ, которые практически способны пройти эту процедуру. Наиболее известной из них является программа ELIZA, разработанная Джозефом Вейценбаумом в Массачусетском технологическом институте. ELIZA имитирует работу психолога,

и вы можете с ней побеседовать. Например, если вы послали ELIZA сообщение, что вы потеряли своего отца, она может ответить: «Почему вы потеряли своего отца» или «Расскажите мне больше о своем отце». Эти ответы могут вас заставить вас поверить в то, что ELIZA понимает вашу речь. Это не так, конечно. Ответы есть хитро сконструированные утверждения на основе ваших сообщений.

Таким образом, если мы хотим, то можем отбросить критерий Тьюринга и взять что-то еще. Возможно, лучшим указанием на существование интеллекта будет наличие сознания или самосознания. Машина, осознающая себя, будет точно знать, что она разумна. Другим возможным критерием, более прямым и простым, может служить способность обучения на основе опыта. Этот критерий использован в данной книге.

Конечно, мы можем отбросить все логические основания и утверждать, что интеллект свойственен системам, имеющим развитое чувство юмора. Насколько мне известно, человекообразные являются единственными существами, способными смеяться. Возможно, наличие чувства юмора и эмоций будет лучшим критерием и поставит точку в его поисках.

# Использование нейронных сетей в роботах

Итак, каким образом нейронные сети сегодня используются в робототехнике? Да, мы еще далеки от создания достаточно «разумного» ИИ, не говоря уже о том, чтобы снабдить им одного из наших роботов. Тем не менее, во многих случаях использование технологии нейросетей позволяет создавать системы контроля функций роботов, превосходящих возможности стандартных ЦПУ и программного обеспечения. Использование нейросетей в наших роботах позволит им совершать маленькие «чудеса» без использования стандартных компьютеров, процессоров и программ. В главе 6 мы построим систему с нечеткой логикой, состоящую из двух нейронов, способную отслеживать направление источника света. Подвижный робот, снабженный такой системой, оказывается в состоянии следовать за источником света в любом направлении. Также в главе 6 мы обсудим технологию ВЕАМ и идеи Марка Тилдена, создавшего транзисторные схемы (нейронные сети), которые обеспечивают движение и иные функции роботам, имеющим «ноги». Большой прогресс достигнут в применении другого нейронного процесса, названного *предикативной архитектурой*, использующего метод предикативной (условной) реакции на стимул.

# Микросети

Небольшие программы нейронных сетей могут быть осуществлены через микроконтроллеры. Более полную информацию о микроконтроллерах» можно найти в главе 6.

# **Нейронная поведенчески-ориентированная архитектура**

Принцип построения поведенчески-ориентированной архитектуры устройства, разработанный Вальтером Греем, показывает, что относительно простые стимульно-реактивные нейронные системы, вмонтированные в робота, демонстрируют высокоорганизованную, сложную систему поведения. Устройства предикативной архитектуры, как частного случая поведенчески-ориентированной архитектуры, разрабатывались доктором Родни Бруксом (MIT) и будут также более подробно рассмотрены в главах 6 и 8.

# Глава 3

## Системы питания

Для обеспечения функционирования роботам необходимо питание – большинство роботов используют для этого электричество. Для обеспечения мобильных роботов автономным питанием служат два источника: электрические батареи и фотоэлектрические элементы. В ближайшем будущем для питания роботов появится третий источник – топливные элементы.

# Фотоэлектрические элементы

Фотоэлектрические элементы, известные обычно как солнечные элементы, вырабатывают электрическую энергию под действием солнечного света. Стандартные солнечные элементы являются крайне маломощными: при разности потенциалов порядка 0,7 В они дают ток в несколько миллиампер. Для получения приемлемого уровня мощности элементы соединяют вместе в солнечные панели (батареи). В робототехнике для обеспечения непосредственного питания роботов используют последовательное и параллельное соединение солнечных элементов.

Чтобы обеспечить функционирование робота от солнечных батарей, его размеры должны быть минимальны при сохранении необходимого спектра функций. Соответственно, должны использоваться легкие и высокопрочные материалы и электронные схемы, потребляющие незначительную энергию.

Чем меньше вес конструкции и потребление электрической энергии, тем более перспективным представляется использование солнечных батарей. Однако небольшой вес и экономичное энергопотребление являются важными при изготовлении любого робота. Такие легкие, маломощные роботы способны проработать дольше при заданной емкости источника питания, чем их более тяжелые и энергетически

«прожорливые» собратья.

Солнечные элементы могут служить для робота источником вторичного электропитания, подзаряжая его аккумуляторы. Такой комбинированный источник питания снижает требования к мощности солнечных элементов по сравнению с непосредственным питанием робота от солнечных батарей. Однако в этом случае робот будет активно функционировать только часть времени, а в остальное подзаряжать свои аккумуляторы.

Также мы можем использовать солнечные элементы комбинированно: как источники непосредственного и вторичного питания. Мы попробуем изготовить устройство, которое обычно называют *солнечным двигателем*. Функциональная схема очень проста. Основными компонентами ее являются: солнечная батарея, накопительный конденсатор и триггерная схема. Солнечная батарея под действием света начинает заряжать накопительный конденсатор большой емкости. Система «батарея/конденсатор» обеспечивает электроэнергией остальную часть схемы. По мере заряда конденсатора напряжение на нем возрастает и в какой-то момент начинает превышать заданный порог срабатывания триггерной схемы. Как только триггер сработал – конденсатор начинает разряжаться через основную нагрузку. Затем цикл повторяется. Устройства типа солнечного двигателя могут быть использованы в различных робототехнических конструкциях.

## Строим солнечный двигатель

Солнечный двигатель часто используется в качестве бортового источника тока, применяемого в ВЕАМ-роботах, которых часто называют «живущими» роботами (см. обсуждение ВЕАМ-роботов в главе 8). Свое распространение солнечные двигатели получили благодаря работам Марка Тилдена, который сконструировал первый подобный двигатель. Другим изобретателем был Дэйв Хранкив из Канады, который построил свою версию солнечного двигателя для питания «танцующего» робота. Мне так понравились эти разработки, что я решил сделать свой вариант солнечного двигателя. В процессе работы мне удалось придумать новый вариант схемы, который увеличил его эффективность по сравнению с оригинальным вариантом.

На рис. 3.1 изображена электрическая схема солнечного двигателя. Рассмотрим ее работу. Солнечная батарея заряжает конденсатор емкостью 4700 мкФ. По мере заряда конденсатора, напряжение на нем возрастает. Однопереходный транзистор входит в режим колебаний и посылает импульс, отпирающий тиристор. Когда тиристор открыт, вся запасенная в конденсаторе энергия разряжается через двигатель с высоким КПД. Во время разряда конденсатора двигатель вращается. Потом происходит остановка и цикл повторяется.

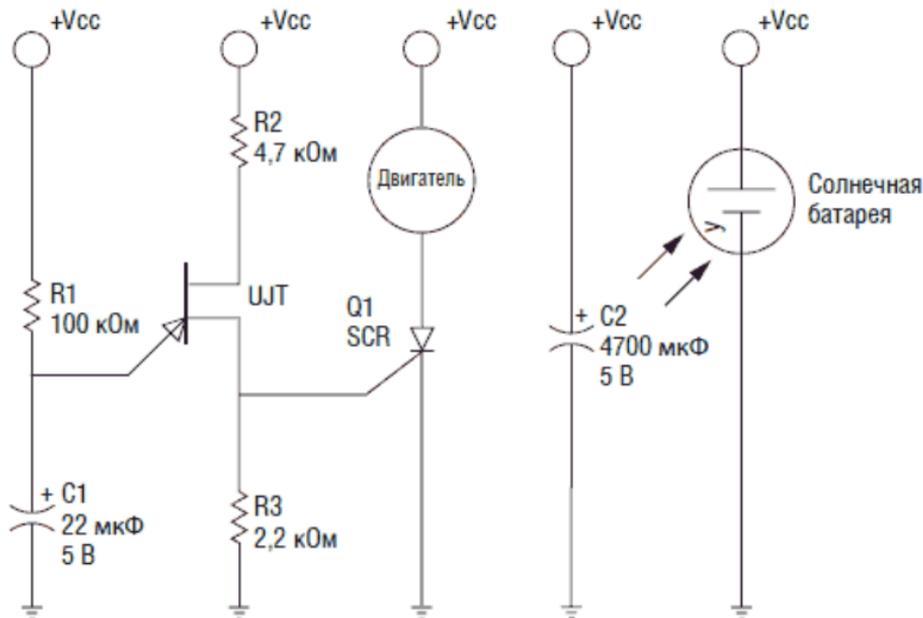


Рис. 3.1. Схема солнечного двигателя

Схема солнечного двигателя проста и не критична к используемым деталям. Она может быть собрана на макетной плате, выводы элементов при этом соединены проводниками. Для желающих собрать двигатель на печатной плате – чертеж платы представлен на рис. 3.2. Печатная плата входит в набор для создания солнечного двигателя. На рис. 3.3 показана схема расположения деталей на печатной плате. На рис. 3.4 помещена фотография двигателя в сборе.

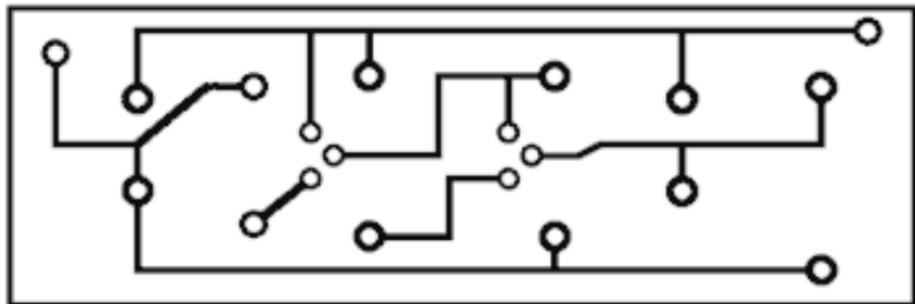


Рис. 3.2. Чертеж печатной платы

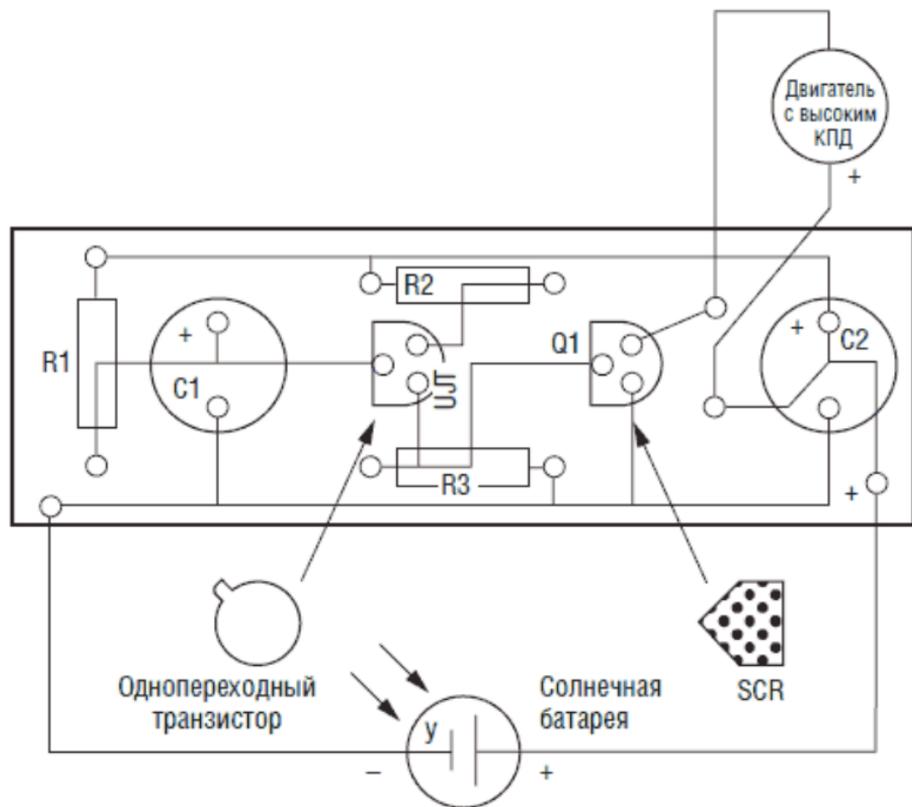


Рис. 3.3. Размещение деталей на печатной плате

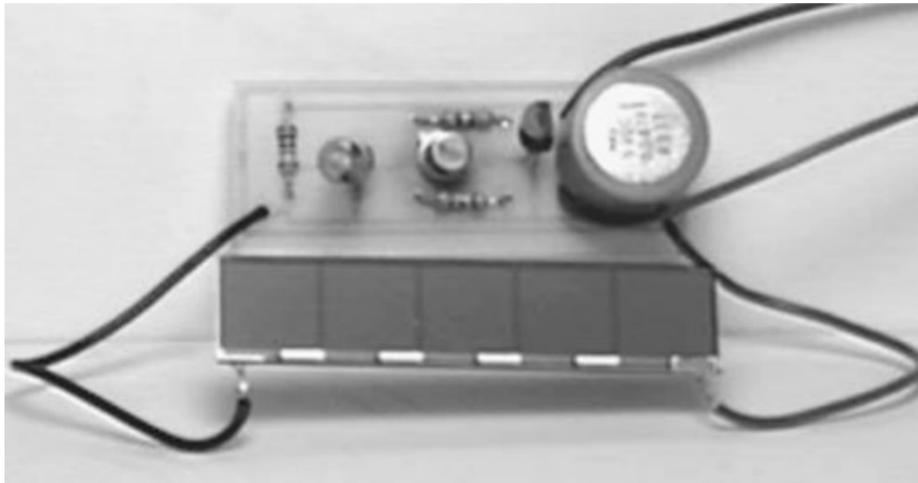


Рис. 3.4. Солнечный двигатель в сборе

### *Список деталей солнечного двигателя*

- транзистор 2N2646 (1)
- тиристор 2N5060 (1)
- конденсатор электролитический 22 мкФ (1)
- конденсатор электролитический 4700 мкФ (1)
- двигатель постоянного тока
- элемент солнечной батареи (2)
- печатная плата
- резистор 200 кОм 0,25 Вт
- резистор 15 кОм 0,25 Вт
- резистор 2,2 кОм 0,25 Вт

## *Двигатель с высоким КПД*

Далеко не все электродвигатели имеют высокий КПД. Например, небольшие моторчики постоянного тока из радионаборов, как правило, имеют низкий КПД. Для определения этого существует простая процедура. Повращайте пальцами ось двигателя. Если ротор вращается плавно и продолжает вращение, когда вы отпустите ось, то, возможно, это двигатель с высоким КПД. Если ось ротора поворачивается рывками, и вы чувствуете сопротивление, то, скорее всего, КПД такого двигателя невелик.

## *Особенности конструкции солнечного двигателя*

Солнечные элементы, использованные в устройстве, имеют высокий КПД и высокое выходное напряжение. Для солнечных элементов типично выходное напряжение в пределах 0,5–0,7 В при различных токах, которые зависят от размеров элемента. Солнечный элемент, использованный в данной схеме, дает паспортное напряжение порядка 2,5 В, но без нагрузки он заряжает конденсатор до уровня 4,3 В.

Я уверен, что некоторые из тех, кто захочет построить подобную схему, уже думают о возможности более быстрого заряда емкости через увеличение количества солнечных

элементов. Данной вещи делать не следует. Дополнительные элементы действительно увеличат ток заряда и, соответственно, сократят его время, но только в первом цикле. Для того чтобы тиристор закрылся и начался новый цикл, необходимо, чтобы ток, протекающий через тиристор, прекратился (или стал очень малым). А в случае, если солнечная батарея будет отдавать достаточно большой ток, то тиристор «залипнет» в открытом состоянии. Соответственно, вся энергия батареи будет через открытый тиристор рассеиваться на подключенной нагрузке. Конденсатор не будет заряжаться, и схема выйдет из циклического режима.

Для правильной работы детали схемы специальным образом подобраны. Единственный компонент, допускающий вариации в значительных пределах, это накопительный конденсатор. Меньшие значения емкости приведут к более быстрому циклу «заряд-разряд». Большие значения емкости или использование нескольких конденсаторов приведут к запасанию большего количества энергии и, соответственно, совершению большей работы, однако следует помнить, что при использовании подобных емкостей цикл «заряд-разряд» может сильно удлиниться.

## *Применение*

Схема солнечного двигателя может находить массу новых и неожиданных применений, например, как бортовой ис-

точник энергии солнечного гоночного автомобильчика, источник питания реле, бакена, собранного на светодиодах, моторчика для передвижения робота или, как показано на рис. 3.5, устройства поворота американского флага.

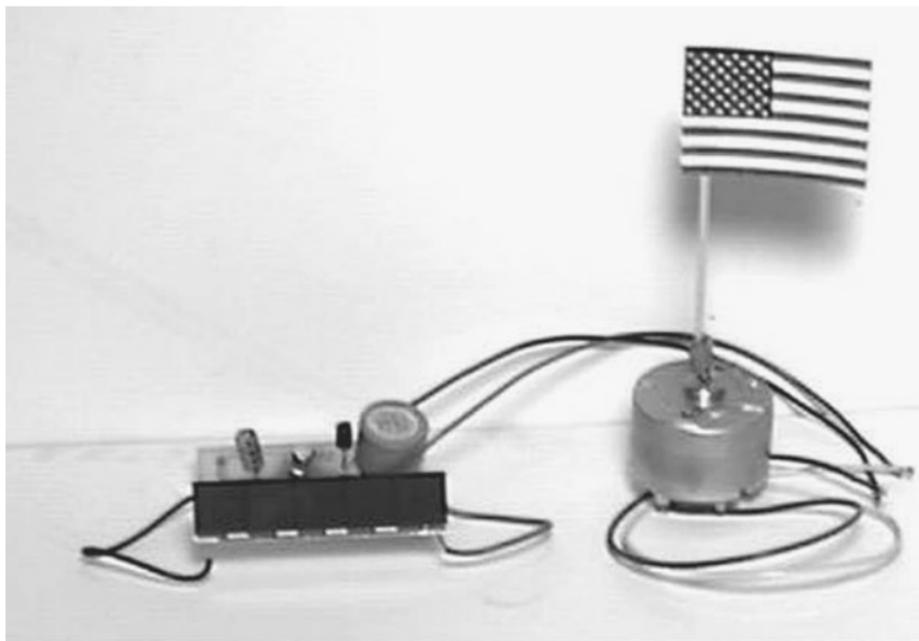


Рис. 3.5. Поворот флажка с помощью солнечного двигателя

Привлекательность солнечного двигателя в том, что он может работать «вечно», пока не выйдет из строя какая-то из его частей, что может произойти через годы.

# Батарей

Батарей вне всяких сомнений являются наиболее часто используемыми источниками питания роботов. Батарей настолько привычны, что все находят это само собой разумеющимся. Понимание устройства батарей поможет вам выбрать оптимальный тип батарей для вашей конструкции. Вся эта глава посвящена описанию различных типов батарей.

## Емкость батарей

Емкость любой батареи, независимо от ее типа, измеряется в ампер-часах, что означает произведение силы тока в амперах или миллиамперах и времени, выраженном в часах, в течение которого батарея способна отдавать данный ток. Данное понятие имеет очень простой физический смысл. Допустим, емкость батареи составляет 2 Ач. Это означает, что батарея способна поддерживать ток в 2 А в течение 1 часа. Если мы уменьшим силу тока до 1 А, то батарея «проживет» 2 часа. Если уменьшить ток до 500 мА, то время увеличится до 4 часов соответственно. Таким образом, время «жизни» батареи оказалось обратно пропорционально силе протекающего тока.

**Сила тока × время = емкость батареи**

2 А                      1 ч                      2 Ач

1 А                      2 ч                      2 Ач

0,5 А                    4 ч                      2 Ач

Не составляет труда написать арифметическое выражение, определяющее период жизни батареи в зависимости от определенной силы тока. Для примера предположим, что робот потребляет 0,35 А (350 мА). Если использовалась батарея, о которой мы уже говорили (2 Ач), то просто поделим ее емкость на силу тока (0,35 А) и получим время «жизни» конструкции 5,7 часов. На самом деле не все так просто. Батареи максимально полно отдают мощность в прерывистом режиме, что позволяет им химически восстанавливаться в паузах. Постоянная нагрузка эффективно использует батарею только в случае, когда она невелика. В робототехнике, особенно при использовании мощных моторов или иных подобных компонентов, характер нагрузки далек от оптимального. В этом случае приходится применять батареи большей емкости.

## **Напряжение батареи**

В течение срока эксплуатации напряжение батареи изменяется. Если вы измерите напряжение свежего щелочного

элемента типа D (элемент 373), то оно окажется порядка 1,65 В. По мере разряда элемента напряжение падает. Элемент считается «севшим», когда напряжение на нем снизится до 1 В. Типичные кривые разряда для угольно-цинковых, щелочных и никель-кадмиевых элементов батарей показаны на рис. 3.6.

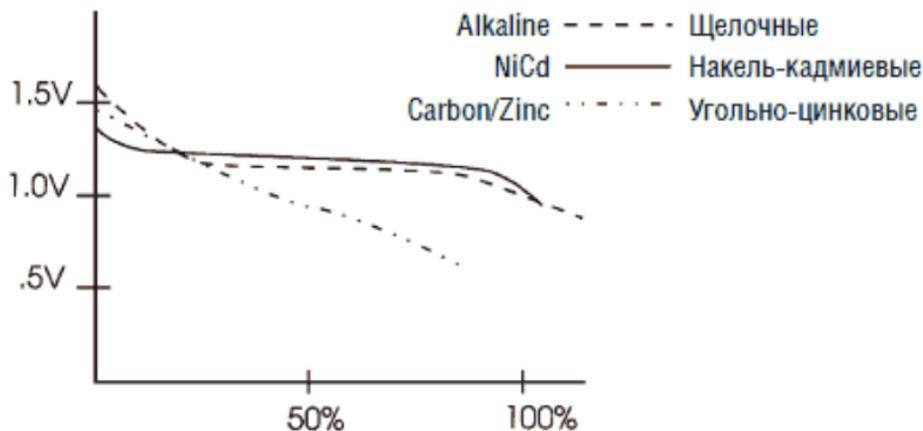


Рис. 3.6. Кривые разряда стандартных гальванических элементов

Заметим, что напряжение нового никель-кадмиевого элемента батареи составляет около 1,35 В. Хотя начальное напряжение ниже, кривая разряда такого элемента по сравнению с угольно-цинковыми и щелочными элементами является более полой, удерживаясь на уровне порядка 1,2 В.

# Гальванические элементы

Гальванические элементы являются батареями одноразового использования. Здесь мы рассмотрим класс батарей, имеющих напряжение на элементе порядка 1,5 В. Батареи сконструированы таким образом, что после отработки своей емкости они должны быть утилизированы. При конструировании роботов частая замена «севших» батарей может быть достаточно дорогим удовольствием. Однако преимущество таких батарей в том, что, как правило, они имеют большую удельную электрическую емкость, чем аккумуляторы. При «одноразовом» использовании устройства (например, «бойцы» в войне роботов) применение гальванических батарей может оказаться предпочтительным, т. к. они отдают большую мощность.

## *Классификация гальванических батарей*

Как вы уже догадались, существует несколько типов гальванических батарей. Различие между батареями заключается в типе химических веществ, используемых для производства электричества. Выбор типа батареи основывается на критериях отношения отдаваемой мощности к цене батареи, времени «жизни» батареи, температурному интервалу использования, кривой разряда и максимально отдаваемому

току.

**Угльно-цинковые элементы.** Угльно-цинковые элементы находятся на «нижнем» конце батарейного ряда. С момента их изобретения Жоржем Лекланше в 1868 г. они не претерпели существенных изменений. Угльно-цинковый элемент имеет низкую удельную емкость (порядка 0,05-0,1 Вт-ч на куб. см), не выдерживает больших токов, имеет покатую кривую разряда и «боится» низких температур. Такие элементы достаточно дешевы, но являются морально устаревшими.

**Щелочно-марганцевые элементы.** Такие элементы в обиходе называются щелочными батарейками. Их удельная емкость выше (0,1–0,15 Вт-ч/куб. см), они имеют улучшенные температурные характеристики, более пологую кривую разряда и умеренную цену.

**Литиевые элементы.** Литиевые элементы являются на сегодняшний день самыми лучшими. Их удельная емкость составляет 0,5 Вт-ч/куб. см, они имеют отличные температурные характеристики как для высоких, так и для низких температур, очень долго сохраняют заряд (порядка 15 лет) а также имеют малый вес. Недостатком является достаточно высокая цена такого элемента.

## **Аккумуляторные батареи**

Аккумуляторные батареи обладают свойством перезаряд-

ки. Наиболее широко используются кислотные и никель-кадмиевые (NiCd) аккумуляторы. Мы начнем рассмотрение с последних.

Одним из недостатков NiCd батарей является достаточно низкое напряжение – 1,2 В на элемент (банку), что ниже обычного напряжения гальванических элементов – 1,5 В. Эффект становится еще более заметным, когда несколько элементов соединены последовательно. Для примера 6-ти элементная NiCd батарея на «9В» на самом деле может выдать не более 7,2 В.

Автомобильные кислотные аккумуляторы малопригодны для использования в робототехнике. Причина в том, что в таких аккумуляторах разряд до «нуля» технологически недопустим. Такие аккумуляторы могут отдавать большой ток в течение короткого времени (запуск автомобиля стартером) и после этого должны быть немедленно подзаряжены.

Остаточная электрическая энергия, содержащаяся в аккумуляторе после его полного разряда, называется *глубоким разрядом*. Существуют кислотные аккумуляторы, выдерживающие глубокий разряд, они используются, например, в комбинированных системах питания на основе солнечных батарей, но цена таких аккумуляторов высока. При конструировании роботов рекомендуется использовать аккумуляторы, выдерживающие циклы глубокого разряда.

Хотя аккумуляторы более дороги, но при длительной эксплуатации их использование приносит существенную экономию.

мию. Обычно аккумуляторы допускают от 200 до 1000 циклов «заряд-разряд». Во многих случаях небольшое зарядное устройство может быть встроено в робота, что делает ненужным вынимать аккумуляторы из устройства для зарядки.

## *Классификация аккумуляторных батарей*

**NiCd аккумуляторы.** Наиболее часто используются герметичные кислотные и NiCd аккумуляторы, причем последние более популярны. Производители утверждают, что NiCd аккумуляторы выдерживают от 200 до 1000 циклов «заряд-разряд», однако эти батареи быстро выходят из строя, если не соблюдается режим зарядки. Время «жизни» этих батарей лежит в пределах 2–4 лет. Полностью заряженные NiCd аккумуляторы сохраняют заряд 30–60 дней.

NiCd аккумуляторы требуют зарядный ток порядка 10 % от их электрической емкости. Это означает, что для зарядки NiCd батареи емкостью 1 Ач необходим ток 100 мА ( $1\text{A} / 10 = 100\text{ мА}$ ). Величина зарядного тока обозначается для этого случая «C/10».

NiCd батареи конструктивно требуют постоянного тока зарядки на уровне C/10. В силу неэффективности этого процесса потребное время зарядки для этих батарей составляет 14 часов. Хотя производители утверждают, что не следует опасаться перезаряда батареи при уровне тока C/10, многие инженеры рекомендуют после 14 «штатных» часов зарядки

при уровне C/10 переходить к более легкому режиму. Легкий режим определяется из соотношения 1/30 от емкости батареи. Легкий режим для зарядки батареи емкостью 1 Ач составит 33 мА ( $1\text{А}/30 = 33,3\text{ мА}$ ).

**Эффект памяти.** Недостатком NiCd батарей является наличие эффекта памяти. Если несколько раз начать перезаряжать батарею до момента ее полного разряда, то этот уровень будет «запомнен». После этого возникнут проблемы с разрядкой батареи ниже этого уровня, что может привести к резкому уменьшению ее емкости. Для устранения этой проблемы к батарее необходимо подключить на несколько часов специальную нагрузку. После того, как батарея будет полностью разряжена, она заряжается обычным способом и восстанавливает свои характеристики.

**Кислотные аккумуляторы.** Аккумуляторы с электролитом в виде геля (гелевые элементы) аналогичны автомобильным аккумуляторам. Они представляют собой герметичные, необслуживаемые кислотные аккумуляторы. Заметим, что таких аккумуляторов популярных размеров D, C, AA, AAA и 9 В «Крона» в продаже не бывает. Они обычно имеют увеличенные размеры и могут применяться в больших роботах.

Гелевые элементы имеют широкий диапазон выходных напряжений от 2 до 24 В и большой диапазон токов. Они могут заряжаться постоянным напряжением при условии ограничения тока или постоянным током аналогично NiCd аккумуля-

муляторам. Типичное значение зарядного напряжения для каждого гелевого элемента лежит в пределах 2,3–2,6 В. Первоначально через батарею протекает значительный ток, который уменьшается в процессе зарядки. Для поддержания батареи в полностью заряженном виде после окончания процесса основной зарядки через нее пропускают небольшой «поддерживающий» ток (примерно  $C/500$ ).

Гелевые батареи отличаются у различных производителей, поэтому для грамотной зарядки необходимо ознакомиться с соответствующей инструкцией. Простое зарядное устройство общего назначения можно изготовить на базе регулятора напряжения LM317. К элементу прикладывается фиксированное напряжение (2,3 В) при значении постоянного тока  $C/10$ . После полной зарядки батареи источник постоянного тока отключается, и подключается регулируемый источник напряжения.

Многие гелевые аккумуляторы плохо «переносят» глубокий разряд. Чтобы не допустить этого, необходимо контролировать напряжение аккумулятора под нагрузкой. Когда напряжение падает ниже рекомендованного изготовителем – батарея нуждается в зарядке.

## Обобщение

Большинство изготовителей роботов использует в качестве гальванических элементы щелочного типа и NiCd в ка-

честве рабочих аккумуляторов.

## **Изготовление зарядного устройства (ЗУ) для NiCd аккумуляторов**

Зарядные устройства для NiCd аккумуляторов достаточно дешевы. Обычно изготовление внешнего зарядного устройства под популярные размеры аккумуляторов, таких как AAA, AA, C и D, не отнимет много сил и времени. Умение сконструировать подобное устройство окажется полезным и тем, кто захочет встроить ЗУ в робота. В отличие от большинства дешевых ЗУ, которые продолжают заряжать аккумулятор током порядка  $C/10$  даже после его полной зарядки, наше устройство уменьшает зарядный ток до порядка  $C/30$  после того, как батареи оказались полностью заряженными. Такая процедура рекомендована для NiCd аккумуляторов и поможет обеспечить их длительную работоспособность.

Следующая информация позволит вам самостоятельно изготовить ЗУ для стандартного NiCd аккумулятора.

Зарядное устройство представляет собой отдельный блок, схема его подключения приведена на рис. 3.7 в иллюстративных целях. Такую схему легко разместить в корпусе робота, при этом потребуется разъем для соединения с ЗУ. Кроме того, необходим двухполюсный двухпозиционный переключатель, помещенный между разъемом и остальной схемой.

Этот переключатель соединяет источник питания (аккумулятор) либо с остальной схемой робота, либо с ЗУ. Обесточивание робота необходимо потому, что в противном случае ток заряда аккумулятора уменьшится (см. рис. 3.7).

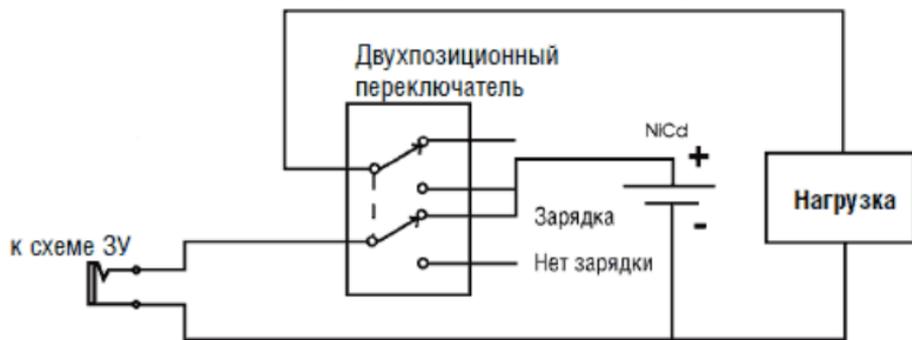


Рис. 3.7. Двухпозиционный переключатель, управляющий зарядом АКБ

Питание зарядного устройства можно осуществлять, используя либо обычный трансформатор, либо портативный блок питания, совмещенный со штекерной вилкой (типа используемых для питания плееров). Я предпочитаю последний, поскольку он дает на выходе постоянный ток. Если вы используете трансформатор, то вам дополнительно потребуются сетевой предохранитель, диодный мост, сглаживающий конденсатор и соединительные провода.

В любом случае вы должны подобрать характеристики трансформатора или выпрямителя под тип заряжаемой батареи. Подбор выпрямителя по выходному напряжению и току

снизит рассеиваемую мощность на регуляторе LM317; например, не стоит использовать трансформатор на 12 В для зарядки 6-вольтовых батарей.

На рис. 3.8 показана схема блока питания ЗУ. Выходное напряжение может равняться 6, 12, 18, 24 или 36 В в зависимости от типа используемого трансформатора, диодного моста и конденсатора.

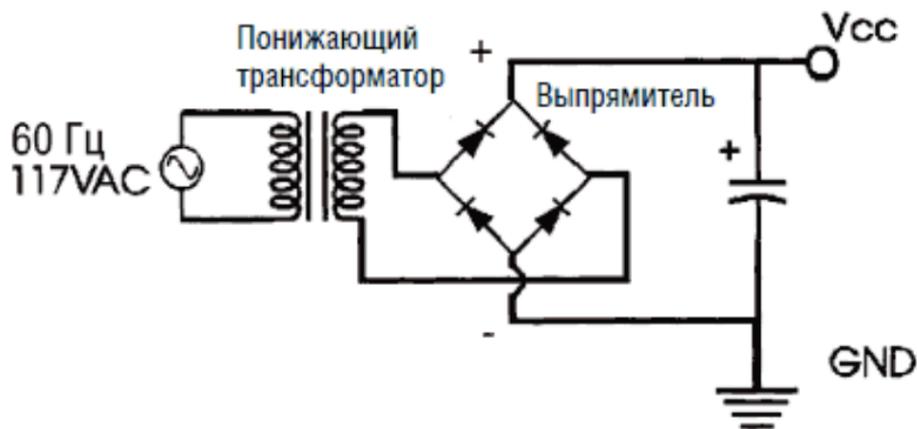


Рис. 3.8. Сетевой трансформатор и выпрямительный блок

Схема зарядного устройства приведена на рис. 3.9. Она включает в себя регулятор напряжения LM317 и ограничивающий ток резистор. Величина сопротивления ограничительного резистора зависит от силы тока, необходимого для зарядки аккумуляторной батареи.

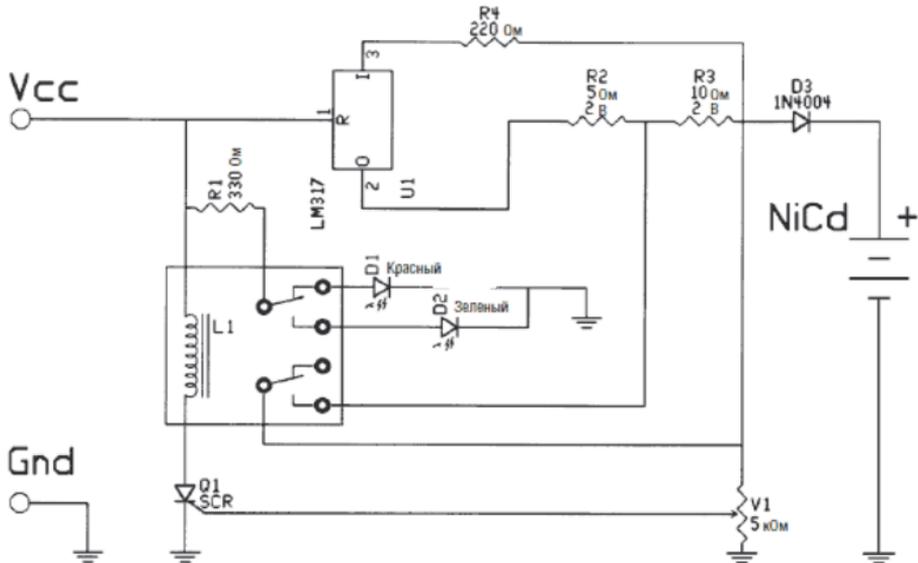


Рис. 3.9. Схема зарядного устройства

### *Ограничительный резистор*

Большинство производителей NiCd аккумуляторов рекомендуют заряжать их током, равным  $1/10$  от их емкости, что обозначается  $C/10$ . Таким образом, батарея размера AA емкостью 0,85 Ач необходимо заряжать током  $C/10$  или 85 мА в течение 14 часов. После полной зарядки батареи производители рекомендуют снизить ток до уровня порядка  $C/30$  ( $1/30$  емкости батареи) для поддержания батареи в полностью заряженном состоянии без риска перезаряда или иных повре-

ждений.

В нашем случае рассчитаем характеристики ЗУ для зарядки аккумулятора, состоящего из 4 последовательно соединенных элементов С-типа. Емкость каждого элемента составляет 2000 мАч. Таким образом, ток  $C/10$  составит 200 мА. Стандартное напряжение каждого элемента составляет приблизительно 1,3 В, следовательно, напряжение батареи  $4 \times 1,3 = 5,2$  В. Следовательно, можно использовать 6-вольтовый трансформатор, поддерживающий ток не менее 200 мА.

Для расчета сопротивления ограничивающего ток резистора используется формула:

$$R=1,25/I_{cc}$$

Где  $I_{cc}$  необходимый ток. Подставляя в формулу 200 мА (0,2 А) получаем:

$$1,25/0,2=6,25 \text{ Ом}$$

Таким образом, сопротивление ограничительного резистора должно быть порядка 6,25 Ом. На схеме (рис. 3.9) этот резистор обозначен R2. Заметим, что на схеме резистор R2 имеет номинал 5 Ом. Это ближайший стандартный номинал резистора по отношению к рассчитанному.

### *C/30 резистор*

Чтобы уменьшить силу тока до значения  $C/30$ , мы последовательно включаем еще один резистор, номинал которого

составляет  $2R$  или около  $12,5 \text{ Ом}$ . На схеме этот резистор обозначен как  $R3$ . Также подбирается резистор ближайшего стандартного номинала. В нашем случае его значение равно  $10 \text{ Ом}$ .

### *Принцип работы ЗУ*

В ЗУ в качестве источника постоянного тока используется регулятор напряжения LM317. Ограничительный резистор для значения тока  $C/10$  обозначен на схеме  $R2$  (см. рис. 3.9). Значение  $R2$  равно  $5 \text{ Ом}$  в сравнении с расчетным значением  $6,25 \text{ Ом}$ . Использование стандартного резистора близкого номинала не нарушит правильную работу ЗУ. Резистор для значения тока  $C/30$  обозначен как  $R3$ . Стандартный номинал этого резистора также близок к расчетному и не нарушает нормальной работы ЗУ. Позже вы увидите, что ЗУ способно осуществлять и «быструю» зарядку аккумуляторов, поскольку имеет устройство контроля выходного потенциала.

$V1$  представляет собой переменный резистор номиналом  $5 \text{ кОм}$ . Он предназначен для отпираания тиристора после полной зарядки NiCd батареи. Тиристор в свою очередь переключает двухпозиционное реле, имеющее две группы контактов.

При подаче напряжения на схему ток протекает через регулятор LM317, заряжая батарею током порядка  $C/10$ . Резистор  $R3$  при этом закорочен одной из групп контактов ре-

ле. Ток также протекает через резистор R1, ограничивающий ток светодиодов D1 и D2. После включения питания загорается красный светодиод D1, который сигнализирует о том, что происходит зарядка.

В процессе зарядки напряжение на потенциометре V1 возрастает. После 14 часов напряжение оказывается достаточным для отпирания тиристора. Через открытый тиристор напряжение поступает на обмотку двухпозиционного реле. Реле включается, красный светодиод гаснет и зажигается зеленый светодиод. Зеленый светодиод показывает, что батарея полностью заряжена. Другая группа контактов реле размыкает замкнутый резистор R3. Включение резистора R3 уменьшает зарядный ток до порядка C/30. Диод D3 блокирует протекание тока из аккумулятора в схему ЗУ.

### *Определение напряжения срабатывания V1*

Для нормальной работы схемы необходимо, чтобы тиристор отпирался только после полной зарядки NiCd батареи. Наиболее просто это сделать следующим образом: вставить полностью разряженную батарею в ЗУ, заряжать ее в течение 14 часов, а потом подрегулировать V1. После завершения процесса зарядки медленно поворачивать движок потенциометра V1 до срабатывания реле. При этом должен зажечься светодиод зеленого цвета.

## *Особенности конструкции*

При самостоятельном конструировании ЗУ обратите внимание на следующее. Наиболее критичным является подбор ограничительных резисторов для значений тока  $C/10$  и  $C/30$ . Для расчета их номиналов воспользуйтесь приведенными формулами. Рассеиваемая мощность этих резисторов порядка 2 Вт.

Если зарядный ток достаточно велик (более 250 мА), то для отвода тепла снабдите схему LM317 радиатором. Если ЗУ включить до соединения с батареей, то моментально срабатывает реле, включится зеленый светодиод и зарядный ток окажется равным  $C/30$ .

Если ЗУ будет использоваться при более высоких значениях напряжений – пропорционально увеличьте сопротивление  $R1$ , ограничивающее ток, протекающий через светодиоды. Например, для напряжения 12 В сопротивление  $R1$  будет равно 680 Ом, для напряжения 24 В – 1,2 кОм соответственно.

При больших значениях напряжения может потребоваться резистор, ограничивающий ток обмотки реле. Полезно измерить реальные значения тока  $C/10$  и  $C/30$ , протекающего через заряжаемую батарею, что позволит судить о правильности работы устройства.

## *Последовательное и параллельное соединение*

Способ соединения элементов в батарею определяет необходимые характеристики трансформатора по напряжению и току. Если батарея состоит из 8 элементов типа С, соединенных параллельно, то необходимо умножить необходимый для каждого элемента ток на 8. Если емкость отдельного элемента составляет 1200 мАч, то зарядный ток  $C/10$  будет равен 120 мА. Для 8 параллельных элементов ток составит около 1 А ( $8 \times 120 \text{ мА} = 960 \text{ мА} = 0,96 \text{ А}$ ). Необходимое напряжение составит 1,5 В. Соответственно, необходим трансформатор, выдающий напряжение 1,5 В при токе 1 А. Если эти элементы соединены последовательно, то необходимое напряжение составит 12 В при токе 120 мА.

## *Быстрое ЗУ*

Многие современные NiCd аккумуляторные батареи можно заряжать быстрее при условии, что после их полной зарядки ЗУ переключится в режим  $C/30$ . Типичным является удвоение зарядного тока при сокращении времени зарядки в два раза. Таким образом, можно заряжать батарею током  $C/5$  в течение 7 часов.

Хотя я не пробовал использовать данную схему ЗУ для

быстрой зарядки, но не вижу оснований, почему она не должна работать. Если вы хотите это сделать, необходимо сперва подстроить потенциометр под значение тока  $C/10$ , а потом уменьшить номинал резистора  $R2$  в два раза.

### *Список деталей*

- U1 регулятор напряжения LM317
- L1 двухпозиционное реле с двумя группами контактов
- D1 красный светодиод
- D2 зеленый светодиод
- D2 диод 1N4004
- Q1 тиристор
- V1 подстроечный резистор 5 кОм
- R1 резистор 330 Ом 0,25 Вт
- R2 резистор 5 Ом 2 Вт
- R3 резистор 10 Ом 2 Вт
- R4 резистор 220 Ом 0,25 Вт
- Понижающий трансформатор

## **ЗУ с питанием от солнечных батарей**

Изготовив ЗУ для аккумуляторных батарей, вы можете превратить его в устройство, питающееся от солнечных батарей. Для этого достаточно заменить трансформатор и выпрямительное устройство комбинацией фотоэлектрических

элементов, имеющих аналогичные характеристики по току и напряжению. При создании системы с питанием от солнечных батарей необходимо учитывать:

- средний уровень освещенности панели солнечных батарей;
- отношение времени освещения солнечных батарей, необходимого для процесса зарядки ко времени рабочего цикла.

# Топливные элементы- батареи с топливным баком

Топливные элементы, как и гальванические батареи, являются электрохимическими устройствами, преобразующими энергию химических реакций в электричество. В гальванических батареях химические реагенты помещены внутрь их. Когда химические реакции прекращаются из-за истощения батареи, она подлежит замене (или в некоторых случаях перезарядке). Топливные элементы используют химические реагенты (топливо), хранящиеся вне элемента. До тех пор пока в топливный элемент поступает топливо, он будет (теоретически бесконечно) вырабатывать электрическую энергию.

Когда запас топливного элемента истощается, он легко может быть наполнен свежим топливом аналогично современным автомобилям. Робот, питающийся от топливных элементов, может быть быстро приведен в рабочее состояние в сравнении с другими роботами, требующими времени на зарядку аккумуляторов.

На рис. 3.10 приведена схема топливного элемента на основе едкого кали (КОН). Такой тип элементов используется в американских космических аппаратах. Первая вещь, которую вы можете заметить, – анод помечен знаком (-), а катод, соответственно (+). Когда я впервые стал просматривать схе-

мы топливных элементов, я подумал, что это ошибка, но после того как я увидел несколько дюжин подобных схем, я заключил, что это на самом деле не ошибка. Для большей уверенности я посмотрел определение катода в Оксфордском толковом словаре. Там сказано: «Катод. 1. Отрицательный электрод в электролизном сосуде. 2. Положительный вывод элемента батареи». Я привел это только для того, чтобы вы не были смущены этими обозначениями на других схемах топливных элементов, поскольку, насколько мне известно, такие обозначения являются общепринятыми.



и элементы для «laptop» компьютеров. Топливные элементы работают более продолжительное время и имеют улучшенные характеристики.

## Если не сейчас, то когда?

Если топливные элементы имеют столь замечательные характеристики, то где же они? Почему мы не видим их в наших портативных компьютерах, видеокамерах и сотовых телефонах? Безусловно, технология производства топливных элементов сильно улучшилась за последнее десятилетие, но по уровню затрат (читайте – стоимости) она не может сравниться с технологиями производства других источников тока. Одна из наиболее развитых технологий использует электроды на основе протонно-обменных мембран (ПОМ) – материала, названного *Nation*, разработанного концерном Дюпон. Сам материал ПОМ стоит примерно \$1000 за кв.м. Удешевление производства подобных мембран и создание других ПОМ – материалов представляет собой первоочередную задачу создания конкурентоспособных топливных элементов.

Платина является дорогим металлом. Электроды топливного элемента обычно покрыты или анодированы платиной. Платиновое покрытие является катализатором, облегчающим протекание химических реакций внутри топливного элемента.

Развитие технологий производства топливных элементов наблюдается и в автомобильной индустрии. Все ведущие автостроительные компании заняты продолжающимися исследованиями по разработке и внедрению технологии топливных элементов. Список компаний, занимающихся подобными исследованиями, напоминает рейтинги «кто есть кто» в научных исследованиях.

Появление на рынке автомобилей, работающих на топливных элементах, ожидается к 2003 году. Канадская компания Ballard Power Systems, основной игрок на рынке производства ПОМ технологий, запускает в производство серию автобусов, работающих на топливных элементах. В производстве топливных элементов Ballard объединил свои усилия с такими известными компаниями как DaimlerChrysler и Ford Motor. Ballard недавно ввел в строй предприятие, рассчитанное на выпуск 160.000 коммерческих топливных элементов ежегодно.

Honda планирует перейти к выпуску автомобилей, работающих на топливных элементах уже 2007 году. Она будет использовать существующие модели автомобилей с электрическими двигателями, разработанными для питания от аккумуляторов, и будет заменять их топливными элементами.

Продолжение исследований в области технологий топливных элементов встречается с энтузиазмом и находит широкую поддержку. Перед тем как покинуть президентское кресло, президент Клинтон вместе с конгрессом ассигновал

\$ 100.000.000 для продолжения исследований в области создания технологий топливных элементов на 2001 фискальный год.

Когда топливные элементы станут неотъемлемой частью нашего обихода, как видеокамеры, сотовые телефоны и портативные компьютеры, мы сможем использовать их для питания наших роботов.

# Глава 4

## Системы движения и привода

В этой главе будут рассмотрены некоторые компоненты систем движения и привода, которые могут быть использованы в конструкциях роботов. Некоторые схемы подобных компонентов будут рассмотрены в этой главе, другие варианты конструкций схем движения и привода будут обсуждаться в следующих главах. Мы остановимся на следующих конструкциях: воздушные мышцы, нитиноловая проволока, шаговые двигатели, двигатели постоянного тока с редукторами, сервомоторы и соленоиды.

# Воздушные мышцы

Воздушная мышца представляет собой простое устройство, предложенное в 1950-х годах Дж. Л. МакКиббеном. Подобно биологическому прототипу воздушная мышца сокращается при активировании. Интересен тот факт, что воздушная мышца представляет собой достаточно точную копию биологической мышцы-прототипа, что позволяет исследователям, прикрепляя подобные мышцы к точкам скелета, соответствующим положению «живой» мускулатуры, моделировать биомеханические и иннервационные процессы низкого уровня, характерные для биологической мышцы. В опубликованной литературе подобные конструкции также называются воздушными мышцами МакКиббена, искусственными пневматическими мышцами МакКиббена и «Резиномышцами». Я буду использовать название «воздушная мышца».

## Применение

Воздушные мышцы находят применение в робототехнике, биомеханике, создании искусственных протезов конечностей и промышленности. Основной причиной, по которой экспериментаторы и любители охотно используют воздушные мышцы, является простота их конструкции и легкость

использования в сравнении с обычными пневматическими цилиндрами. Воздушные мышцы имеют малый вес, «гибкую» конструкцию и высокое отношение развиваемой ими силы по отношению к собственному весу (400:1); они выдерживают продольное скручивание, не требуют параллельности закрепления концов и могут быть изогнуты внешним ограничителем без нарушения работы.

## **Принцип работы воздушной мышцы**

Воздушная мышца состоит из двух основных частей: внутренней растягивающейся мягкой резиновой трубки и внешней сетчатой ячеистой оплетки (рукава), изготовленного из капрона (см. рис. 4.1). Резиновая трубка называется «внутренним пузырем» и заключена внутрь рукава оплетки.

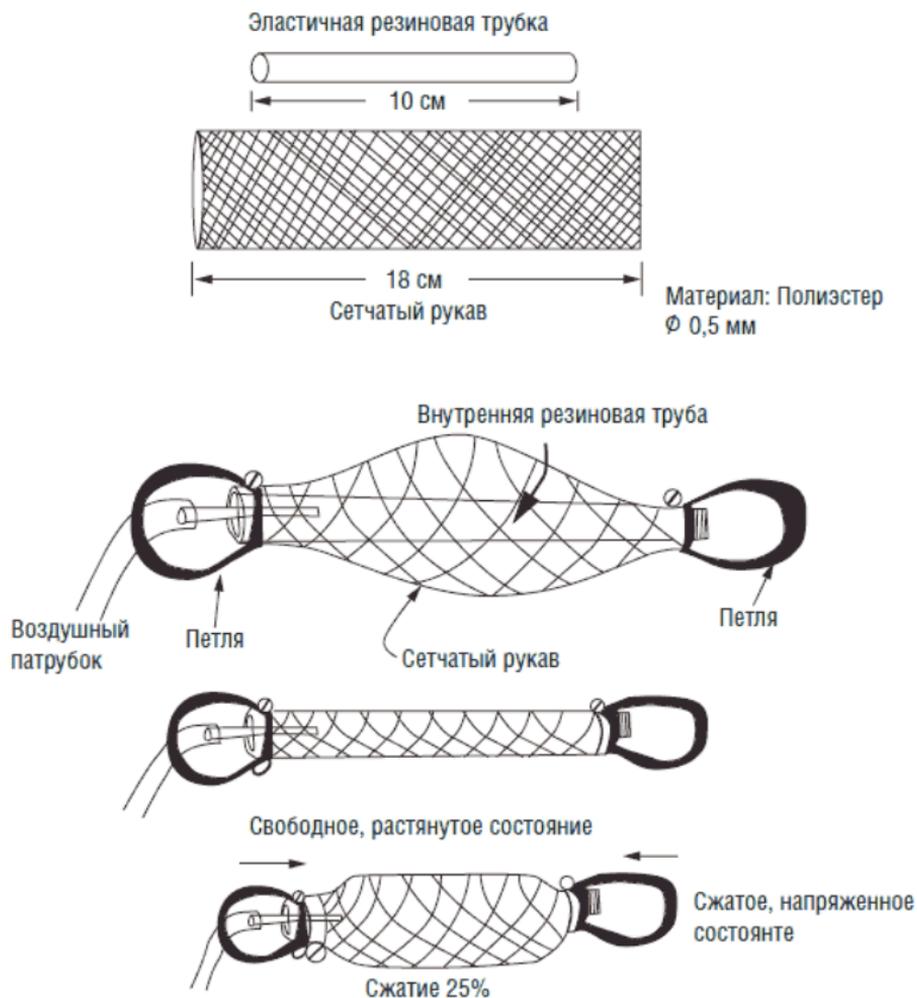


Рис. 4.1. Устройство и работа воздушной мышцы

Прочие компоненты включают воздушный патрубок на одном конце резиновой трубки и две петли на каждом из концов воздушной мышцы, позволяющие прикрепить мыш-

цу к остальной части конструкции.

При подаче давления во внутренний пузырь он расширяется и давит изнутри на стенки рукава оплетки, что вызывает увеличение его диаметра. Физические характеристики рукава таковы, что его продольное сокращение пропорционально увеличению его диаметра, что обуславливает появление силы сокращения в воздушной мышце.

Необходимо отметить, что для правильной работы мышцы в состоянии «покоя» она должна быть растянута или нагружена. В противном случае эффект сжатия не будет выражен. Как правило, подобные конструкции воздушной мышцы способны сжиматься до 25 % от их первоначальной длины.

# Нитиноловая проволока

Нитинол представляет собой сплав, относящийся к классу материалов, обладающих «памятью» формы. Нитинол обычно выпускается в виде проволоки. При нагревании материал способен сокращаться до 10 % от первоначальной длины. Подобное сокращение способно производить линейное движение. Кроме свойства сокращения, этот сплав обладает свойством «памяти».

Эффект памяти является уникальным свойством этого сплава. При нагревании до температуры критического перехода сплав автоматически приобретает первоначально заданную форму. Процесс задания первоначальной формы, которую «помнит» материал, называется процедурой термального отжига. Сплав принудительно заключается в требуемую форму и подвергается процессу отжига при температуре выше критической. Такой процесс приводит к изменению кристаллической решетки сплава. После этого при любом повышении уровня температуры выше критической материал «вспомнит» приданную ему первоначально форму. Изделие из такого материала можно подвергать изгибу или скручиванию, но оно обязательно примет исходную форму при критическом нагревании.

Эти уникальные свойства определяются структурой кристаллической решетки сплава. Возвратная сила может до-

стигать 1500 грамм на кв. см. Вряд ли кто-то будет использовать материал столь большого поперечного сечения. Даже достаточно тонкая проволока способна производить очень большую силу. К примеру, проволока диаметром 6 мм создает возвратную силу в 350 грамм.

Объем нитиноловой проволоки при сокращении до уровня 10 % остается постоянным. По мере сокращения ее диаметр пропорционально возрастает, обеспечивая постоянство объема.

Наиболее простым способом нагревания нитиноловой проволоки является пропускание через нее электрического постоянного тока (см. рис. 4.2) Однако длительное пропускание постоянного тока может привести к разрушению проволоки в силу ее неравномерного омического нагрева. Повреждений проволоки при нагревании и поддержании в нагретом состоянии можно избежать, используя широтно-импульсный источник постоянного тока.

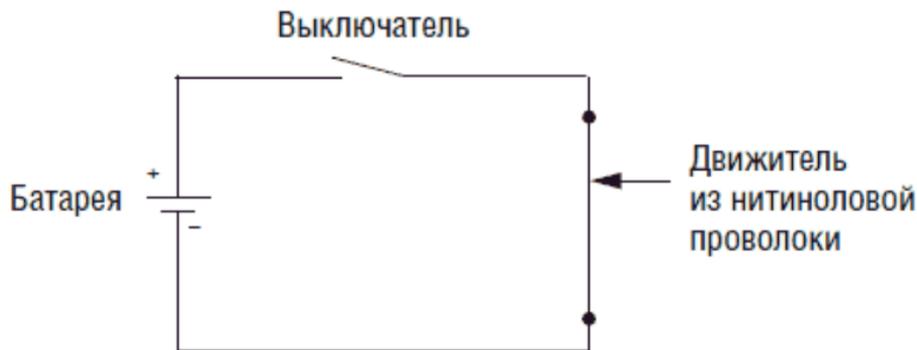


Схема переменного нагрева

## Рис. 4.2. Бабочка с нитиноловой проволокой

Некоторые конструкторы роботов используют нитиноловую проволоку в приводе безмоторного шестиногого движущегося робота. Робот действительно способен передвигаться, но делает это крайне медленно, поскольку для цикла нагревания и охлаждения нитиноловой проволоки требуется значительное время. Конструкция такого шестиногого «ползающего» робота очень легка (он весит несколько унций), однако он имеет достаточную мощность, чтобы нести «на себе» собственный источник питания.

Для шестиногих «ползающих» роботов использование нитинола в качестве привода вряд ли оправдано, однако он находит много других интересных применений в конструкциях роботов. Для того чтобы подробнее ознакомиться с замечательными свойствами этого материала, посмотрим, как используется способность нитинола к сокращению в некоторых коммерческих игрушках. На рис. 4.3 изображена механическая бабочка, крылья которой приводятся в движение нитиноловой проволокой. В качестве интересной иллюстрации принципов робототехники, такая бабочка может быть присоединена к источнику питания на основе солнечной батареи.



Рис. 4.3. Бабочка с нитиноловой проволокой

На рис. 4.4 изображено демонстрационное устройство – движущийся шарик. Нитиноловый привод совершает в день около 20.000 циклов и способен работать многие годы.

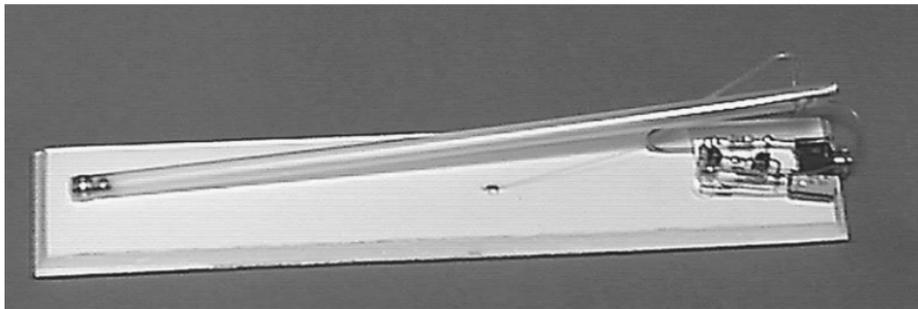


Рис. 4.4. Модель шара-ракеты

Петли из нитиноловой проволоки могут быть использованы для создания вращения. На рис. 4.5 изображен такой простой «тепловой» движитель. Каждое колесико имеет паз, в котором находится нитиноловая проволока. Для лучшей теплопроводности меньшее колесо изготовлено из латуни. Когда меньшее колесо помещено в воду – оно начинает вращаться. Подобный тепловой движитель может работать и от солнца. Если сфокусировать на маленьком колесе лучи солнца с помощью 3 – дюймовой лупы, то устройство начнет работать.



Рис. 4.5. Тепловой двигатель

Нитинол также может быть использован в механических выключателях кнопочного типа, например в качестве привода небольших воздушных клапанов или в других механизмах, требующих линейных перемещений.

# Соленоиды

Соленоид представляет собой электромеханическое устройство (рис. 4.6). Стандартный соленоид имеет обмотку с проводом и внутренний подвижный металлический сердечник. При подаче напряжения магнитное поле обмотки втягивает или выталкивает сердечник. Сердечник может быть механически соединен с частями робота, требующими перемещения.

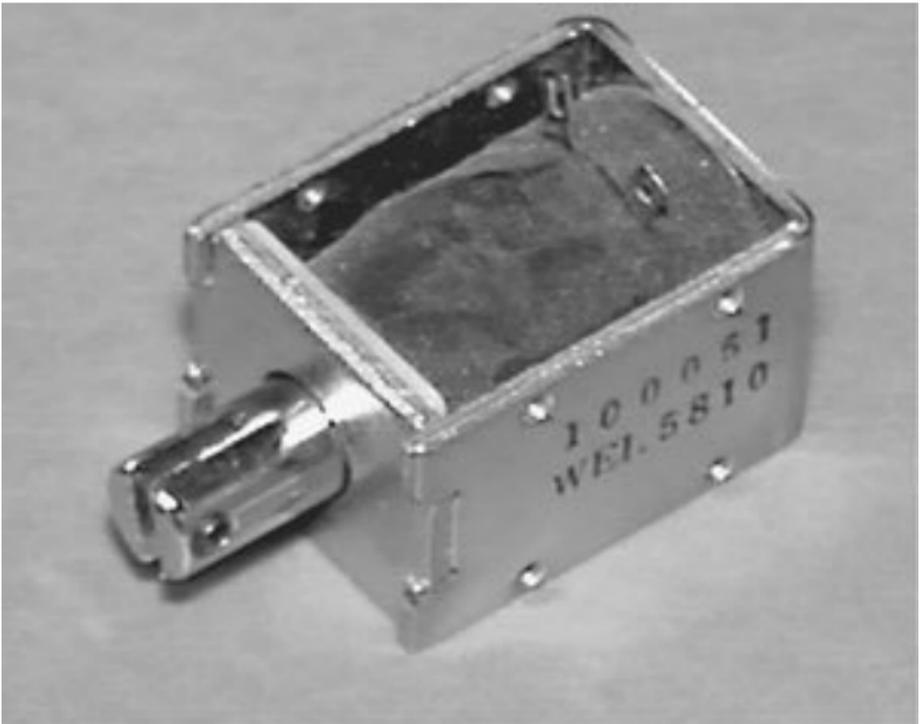


Рис. 4.6. Соленоид

## Кольцевые соленоиды

Кольцевой соленоид отличается от обычного тем (см. рис. 4.7), что вместо линейного он производит вращательное движение. Кольцевой соленоид может быть использован в конструкции робота-рыбы (см. гл. 13).



Рис. 4.7. Кольцевой соленоид

# Шаговые двигатели

Шаговые двигатели могут использоваться для передвижения, перемещения, управления рулевым механизмом и позиционирования. Такие устройства находят применение в качестве интегрированных компонентов многих коммерческих и промышленных систем, управляемых компьютерами. В домашних персональных компьютерах шаговые двигатели можно обнаружить в приводах дисководов и в принтерах.

Уникальность шаговых двигателей в том, что ими можно управлять с помощью цифровых устройств. Такие двигатели могут осуществлять повороты на точно заданный угол. Это свойство делает шаговые двигатели идеальными для задач линейного и кругового позиционирования. Широкое использование шаговых двигателей в промышленности обуславливает широкий ассортимент моделей по форме, размерам и иным свойствам (см. рис. 4.8А).



Рис. 4.8А. Шаговый двигатель

При подаче напряжения на стандартный электрический двигатель его ротор начинает непрерывно вращаться. Скорость и фаза вращения ротора являются функцией напряжения, нагрузки на двигатель и времени. Определение точной фазы (положения) ротора в этом случае невозможно.

В отличие от этого, питание шагового двигателя осуществляется серией электрических импульсов, подаваемых на обмотки двигателя. Каждый импульс, поданный на обмот-

ки, поворачивает ротор на строго определенный угол. Такой поворот называется *шагом*, отсюда двигатель получил название *шагового*.

Не существует единой величины шага для шаговых двигателей; выпускаются устройства с различными углами поворота на один шаг (импульс). Номинальная величина такого шага зависит от характера применения двигателя. Величины углов поворота обязательно указаны в спецификации устройства. Можно найти шаговые двигатели с углами поворота от долей градуса (например,  $0,72^\circ$ ) до десятков градусов (например,  $22,5^\circ$ )

## **Схема управления шагового двигателя**

На рис. 4.8В показана схема управления шагового двигателя. Используется однополярный двигатель с шестью выводами. ИС U1 представляет собой управляемый напряжением таймер серии 555, который в режиме генерации выдает прямоугольные тактовые импульсы на вывод 3. ИС U2 типа UCN5804 является контроллером шагового двигателя. Тактовые импульсы, поступающие на вывод 11 ИС UCN5804, поворачивают ротор шагового двигателя, причем каждому импульсу соответствует один шаг поворота. Повышение частоты тактовых импульсов приводит к увеличению скорости вращения шагового двигателя.

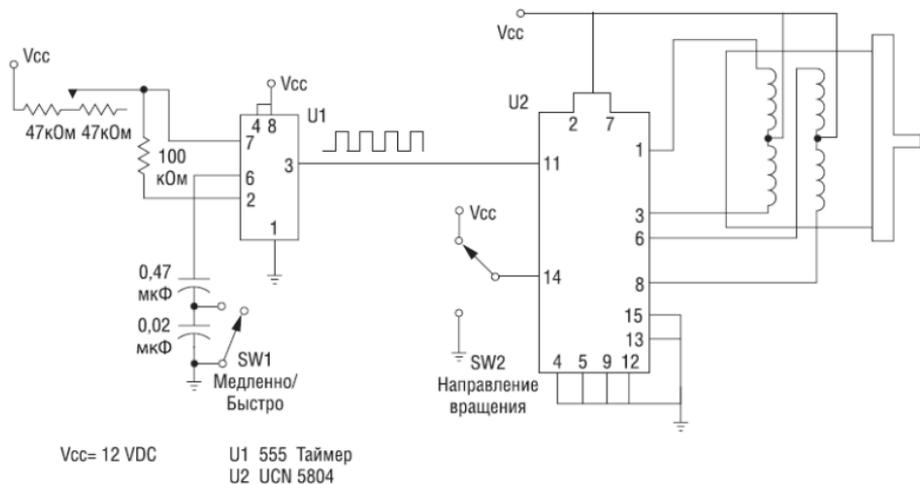


Рис. 4.8В. Шаговый двигатель – схема управления

В данной несложной схеме тактовые импульсы производятся таймером серии 555. Такие импульсы можно генерировать с помощью микроконтроллера (см. гл. 6) или светочувствительного нейрона (см. гл. 5). Переключатель SW1 изменяет диапазон тактовых импульсов медленно/быстро. Переключателем SW2 можно изменить направление вращения ротора двигателя.

Шаговые двигатели можно использовать для создания робота-платформы (см. гл. 10).

# Сервомоторы

Сервомоторы представляют собой двигатели постоянного тока, снабженные редукторами и системой обратной связи контроля положения. В любительских целях подобные моторы используются для контроля положения органов управления в радиоуправляемых моделях. Вал такого мотора может поворачиваться или удерживаться на углах не менее  $90^\circ$  от среднего положения.

В силу широкого использования таких устройств в самодельных конструкциях, их выпускаемый ассортимент достаточно разнообразен (см. рис. 4.9). Существуют большие сервомоторы, используемые в промышленности, но они достаточно дороги для любительского применения. В этой книге мы будем использовать небольшие и недорогие моторчики для любительских целей.



Рис. 4.9. Сервомотор

Сервомотор имеет три вывода. По двум из них подается питающее напряжение от 4 до 6 В. На третий вывод подается сигнал позиционирования. Сигнал позиционирования представляет собой цепочку прямоугольных импульсов длительностью от 1 до 2 мс. Соответственно, импульс, соответствующий среднему положению будет равен 1,5 мс. Импульсы подаются с частотой порядка 50 в секунду (50 Гц), т. е. время между импульсами составляет порядка 20 мс. Такой «средний» импульс вызовет поворот вала мотора в среднее положение  $\pm 45$  град.

Поворот вала сервомотора ограничен 90 градусами ( $\pm 45$  град. от среднего положения). Импульс длиной 1 мс вызовет поворот вала мотора влево до упора (см. рис. 4.10), в то время как импульс в 2 мс вызовет аналогичный поворот вправо. Варьируя длину импульсов в пределах 1–2 мс, можно добиться поворота вала двигателя на любой угол внутри указанного интервала.

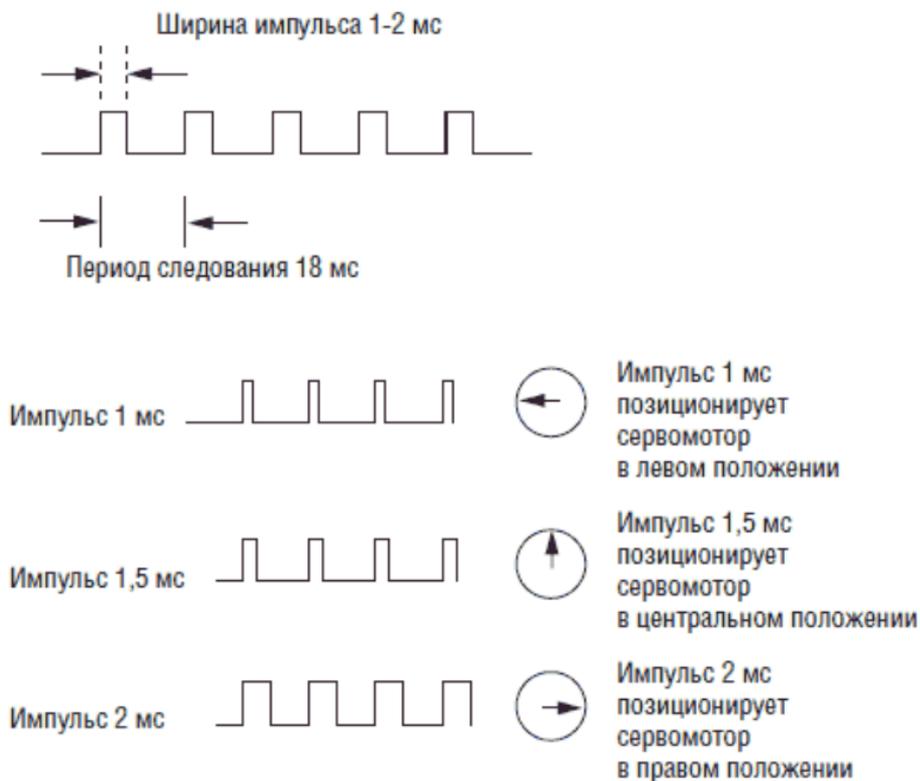


Рис. 4.10. Управляющие импульсы для сервомотора

Может показаться, что генерация подобных импульсов представляет собой достаточно сложную задачу. На самом деле это не так. Для управления сервомотором PIC – микроконтроллер 16F84 использует лишь несколько простых команд. Такой PIC может управлять одновременно восемь сервомоторами. Другим удобным методом управления сервомоторами является использование R/C систем. Альтерна-

тивой этому может служить создание собственной схемы управления.

Изготовление такой схемы не столь сложно, как может показаться вначале. На рис. 4.11 показано использование двоянного таймера типа 556 для управления сервомотором. Схема 556 имеет два независимых таймера. Для лучшего понимания работы схемы посмотрите на схему, изображенную на рис. 4.12, где использованы два отдельных таймера серии 555. Первый таймер находится в режиме генерации и выдает отрицательные прямоугольные импульсы длительностью 1 мс с частотой 55 Гц. Этот таймер соединен со вторым таймером серии 555, включенным по схеме одновибратора.

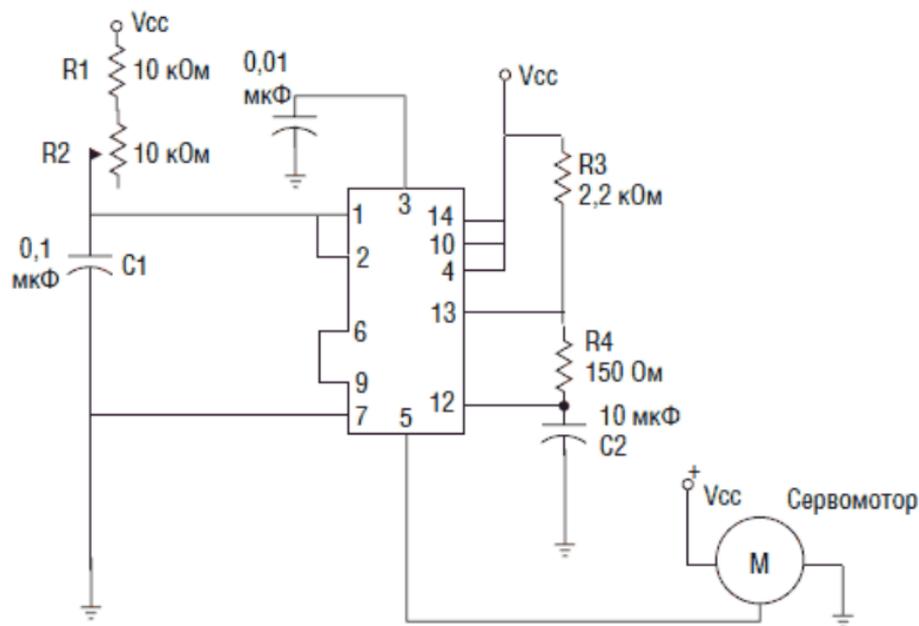


Рис. 4.11. Управление сервомотором с помощью ИС 556

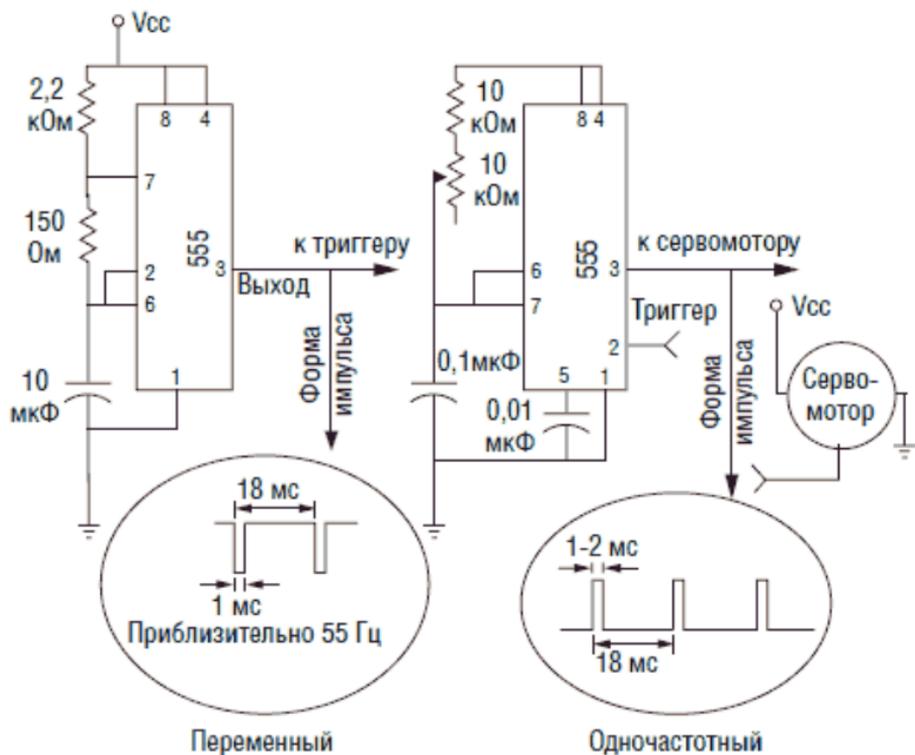


Рис. 4.12. Управление сервомотором с помощью ИС 555

При появлении отрицательного импульса на выводе 1 одновибратор генерирует положительный импульс на выводе 5. Ширину выходного положительного импульса можно изменять, используя потенциометр 10 кОм. В зависимости от типа используемого сервомотора, возможно, придется подобрать величины сопротивлений R1 и R2 на рис 4.11.

Помните, что у сервомотора могут существовать внутренние ограничители угла поворота, и не прикладывайте излишних усилий, если мотор «застрял».

Практическая работа с сервомоторами показала, что поворот вала мотора в крайние допустимые положения требует импульсов длиной менее 1 мс или более 2 мс.

По мере накопления опыта работы с сервомоторами вы можете захотеть использовать их на больших углах поворота (в пределах  $180^\circ$ ), что потребует расширения диапазона времен управляющих импульсов.

Однако перед тем как предпринимать подобные шаги, вы должны понять, при подаче управляющего сигнала вне диапазона углов поворота сервомотора, вал мотора, дойдя до крайней позиции, будет с силой упираться во внутренний ограничитель, стремясь, все же повернуться на заданный угол.

Например, у вас имеется сервомотор, которому для поворота в крайнее правое положение требуются импульсы длиной 2,8 мс. Если сервомотор поворачивается нормально, то все в порядке. Допустим, вы заменили его другим мотором, диапазон управления которого ограничен длиной импульса в 2,5 мс. Если вы будете продолжать подавать импульс длиной в 2,8 мс, то сервомотор будет пытаться повернуться на больший угол, чем он физически может. Поскольку ротор упирается в ограничитель, через мотор будет протекать добавочный ток, который может сжечь сам мотор.

Проблема возникает обычно при замене сервомотора. Очень часто замененный мотор имеет несколько другой диапазон импульсов управления. Нужно взять за правило: если диапазон применяемых импульсов выходит из зоны 1–2 мс, необходимо проверить сервомотор в крайних положениях на предмет «залипания».

Сервомоторы используются в шагающем роботе, описанном в гл. 11. Для управления сервомоторами используется PIC микроконтроллер. Применения сервомоторов и PIC микроконтроллеров описаны в гл. 6.

# Двигатели постоянного тока

Двигатели постоянного тока для любительского конструирования могут использоваться для движения и перемещения конструкций роботов (см. рис. 4.13). Для большинства таких двигателей характерны высокая частота вращения ротора и небольшой крутящий момент. Конструкции роботов, напротив, требуют большого крутящего момента при невысокой частоте вращения. Для этого могут быть использованы редукторы (см. рис. 4.14). Редуктор характеризуется передаточным числом, т. е. отношением скоростей вращения на входе и выходе. Например: двигатель с частотой вращения 8000 об/мин соединен с редуктором, имеющим передаточное число 1000:1. Какова будет скорость на выходе редуктора?  $8000 \text{ об/мин} : 1000 = 8 \text{ об/мин}$ . Соответственно возрастет крутящий момент. Можно ожидать, что крутящий момент увеличится в той же степени, в которой снизились обороты. Практически, поскольку КПД любого устройства всегда меньше 100 %, крутящий момент будет несколько ниже из-за потерь.



Рис. 4.13. Двигатель постоянного тока

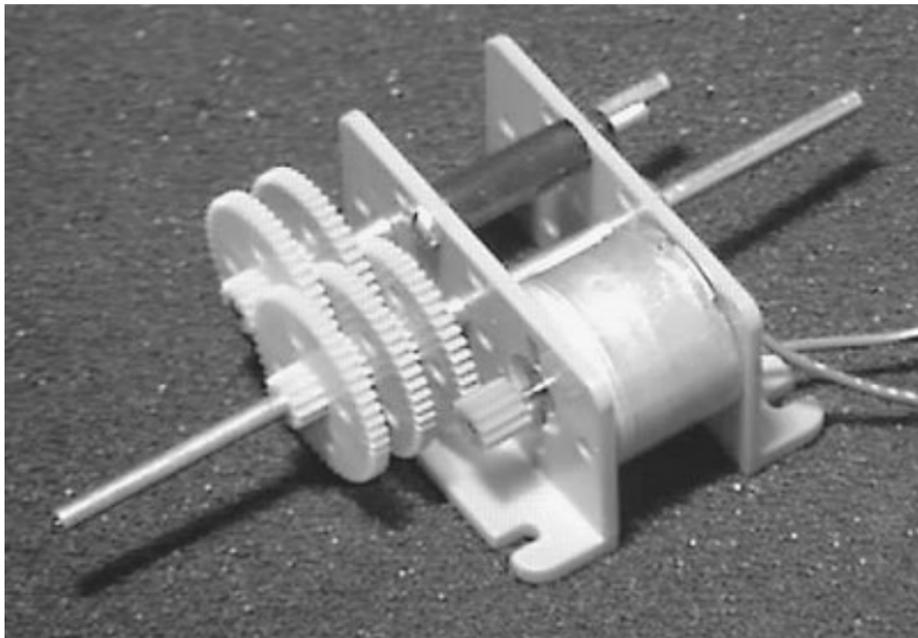


Рис. 4.14. Двигатель постоянного тока с редуктором

Некоторые двигатели постоянного тока конструктивно объединены с редуктором и называются двигателями с редукторной головкой (см. рис. 4.15).

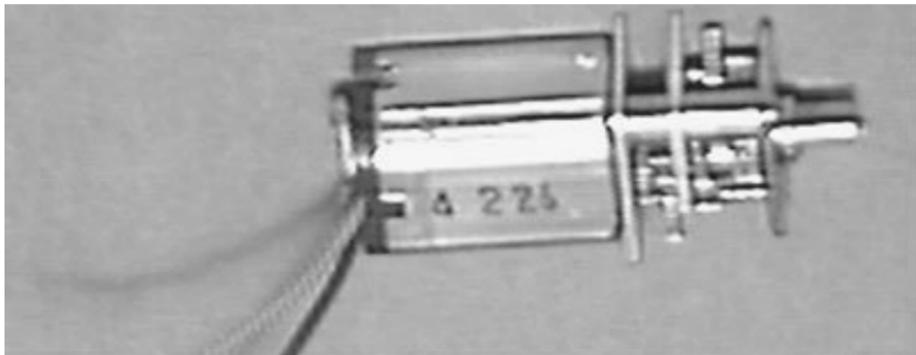


Рис. 4.15. Двигатель постоянного тока с редукторной головкой

## **Мостовая схема управления двигателем постоянного тока**

При конструировании робота желательно наличие простой схемы управления его включением и выключением. Кроме того, необходима схема реверса направления вращения двигателя. Таким требованиям удовлетворяет мостовая схема управления.

Необходимо понимать, что термин «двигатель постоянного тока» относится также к двигателям, снабженным редукторами или имеющим редукторную головку.

Мостовая схема состоит из четырех транзисторов (некоторые используют МОП полевые транзисторы. Я использую биполярные Дарлингтоновские NPN транзисторы). В некоторых схемах используются транзисторы PNP и NPN прово-

димости. В любом случае транзисторы используются в ключевом режиме (см. рис. 4.16А). Когда ключи SW1 и SW4 закрыты, двигатель вращается в одном направлении. Когда закрыты ключи SW2 и SW3, двигатель вращается в противоположном направлении.

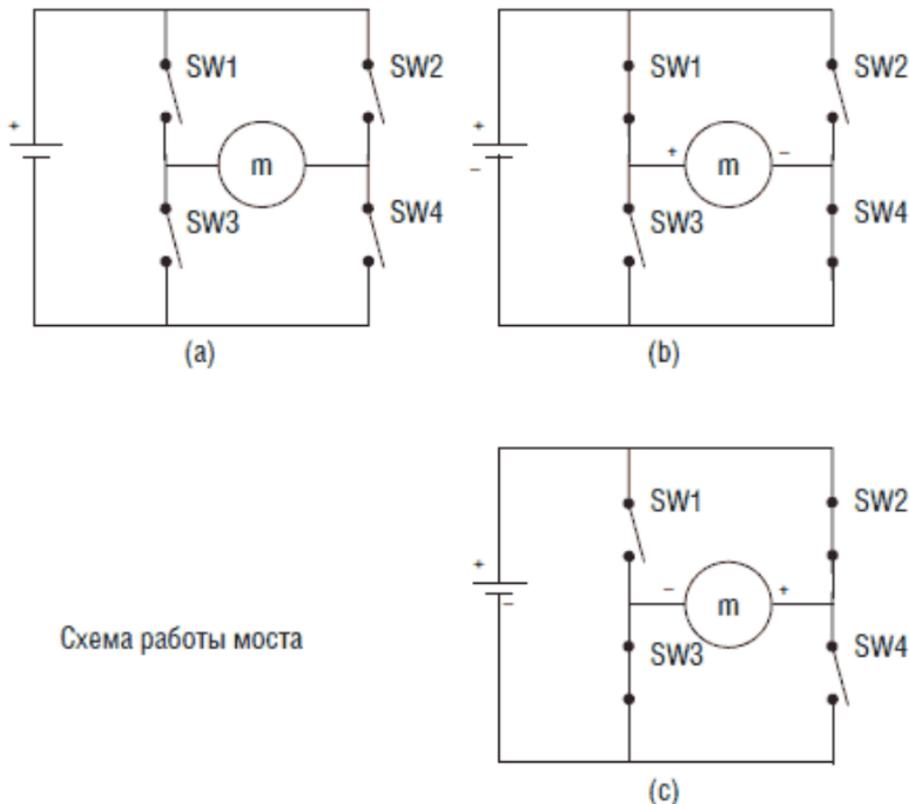


Рис. 4.16. Мостовая схема на переключателях

При правильной коммутации ключей мы можем изменить направление тока, протекающего через двигатель, на проти-

воположное, что вызовет изменение направления вращения вала двигателя. Транзисторная схема моста, управляющего двигателем, показана на рис. 4.17. Подобная схема использована в гл. 5 в схеме сенсора робота-тестера.

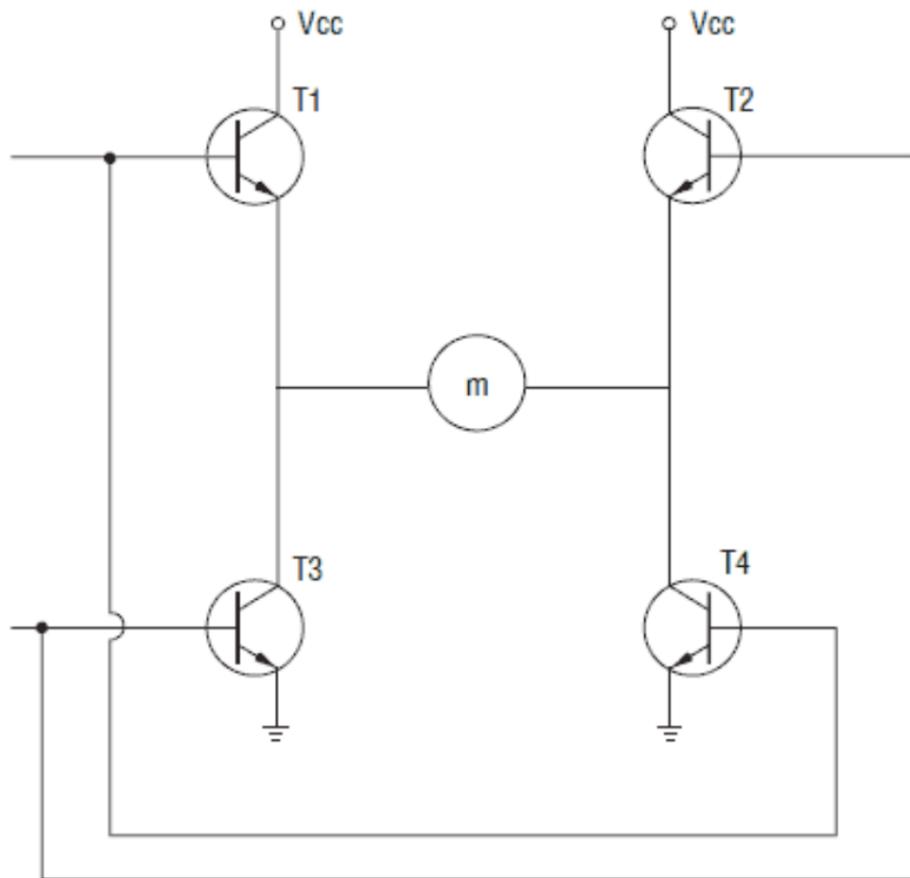


Рис. 4.17. Мостовая схема на транзисторах

# Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)

Мостовая схема обеспечивает включение-выключение двигателя постоянного тока и управляет направлением его вращения. К этим функциям может быть добавлена функция управления частотой вращения двигателя с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Форма ШИМ сигнала приведена на рис. 4.18. Высокий уровень сигнала ШИМ соответствует включению двигателя, низкий уровень его выключает. Поскольку частота импульсов ШИМ очень велика, то напряжение на двигателе может быть определено как среднее значение длины импульса к периоду следования (скважность импульса). Чем больше длина импульса, тем больше среднее напряжение. Среднее напряжение лежит в пределах от нуля до напряжения питания, и, таким образом, ШИМ эффективно управляет скоростью вращения двигателя.

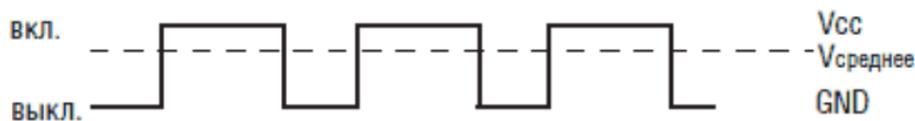
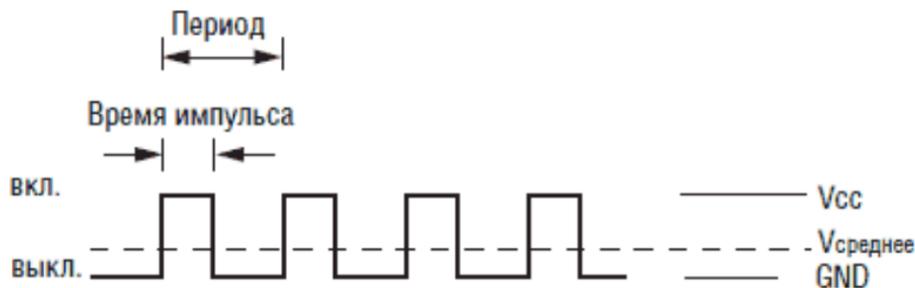


Рис. 4.18. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) для управления мостовой схемой

Двигатель является индуктивной нагрузкой. В моменты включения/выключения возникающее переходное напряжение, генерируемое обмотками двигателя, может повредить полупроводниковые части моста. Для гашения этого напряжения используются защитные диоды, включенные параллельно транзисторам, как показано на рис. 4.19.

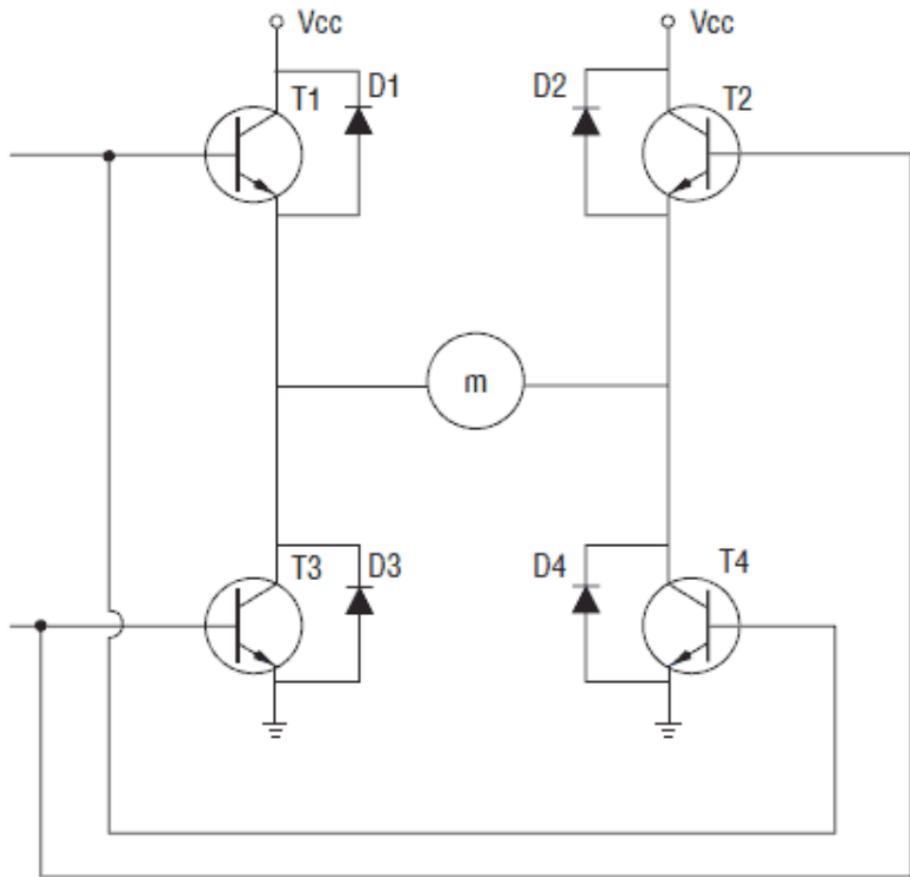


Рис. 4.19. Транзисторная мостовая схема с защитными диодами

Защитный диод гасит обратное переходное напряжение на землю, что эффективно защищает переход транзистора, к которому подключен диод. Защитные диоды должны быть рассчитаны на нормальный ток, потребляемый двигателем.

# Глава 5

## Сенсорика

Сенсорика роботов (система чувствительных датчиков) обычно копирует функции органов чувств человека: зрение, слух, обоняние, осязание и вкус. Чувство равновесия и положения тела в пространстве, как функция внутреннего уха, иногда считаются шестым чувством. Функционирование биологических органов чувств базируется на принципе нейронной активности, в то время как чувствительные органы роботов имеют электрическую природу. Возможны возражения, что на самом деле обе эти группы имеют электрическую природу, основанные на указании, что нейронные и электрические цепи имеют общее электрохимическое происхождение. Тем не менее, нейронная сенсорика функционирует иначе, чем просто электрическая. По этой причине для устранения разночтений мы определим сенсорика робота, как имеющую электрическую природу.

Для полной имитации биологических органов чувств необходимо использование нейронных чувствительных устройств (сенсоров). Примером такого нейронного сенсора является человеческое ухо, работу которого мы рассмотрим. Характеристика человеческого уха нелинейна. Его реакция на звуковой раздражитель носит логарифмический ха-

раक्टर. Это означает, что десятикратное повышение уровня звукового сигнала вызывает двукратное повышение субъективного уровня громкости. Для сравнения, обычный приемник звуковых сигналов, например микрофон, имеет линейную выходную характеристику. Отсюда десятикратное повышение уровня выходного сигнала, подаваемого на компьютер, микроконтроллер или иную схему, соответствует десятикратному увеличению звукового сигнала.

Сенсорные датчики могут обнаружить какие-то внешние сигналы и определить их величину, что выражается в появлении на выходе пропорционального электрического сигнала. Информация, содержащаяся в сигнале, должна быть считана и обработана «интеллектом» робота (например, ЦПУ) или нейронной сетью. Мы можем характеризовать искусственные сенсоры по их отношению к природным органам чувств, но обычно классы сенсорных устройств выделяются по типу воздействия, на которое данный сенсор реагирует: свет, звук, тепло и т. д. Типы сенсоров, встроенных в робота, определяются целями и местом его применения.

# Обработка сигналов

При выборе типа сенсорного устройства, используемого в работе, необходимо решить вопрос чтения и обработки сигнала, поступающего от него. Многие сенсоры представляют собой датчики резистивного типа, что означает, что их сопротивление меняется в зависимости от количества поступающей энергии. Если такой датчик является частью делителя напряжения, то амплитуда выходного сигнала окажется пропорциональной количеству поступающей энергии.

Если для работы необходимо действительное значение интенсивности поступающей энергии, необходимо использовать аналого-цифровой преобразователь (АЦП). АЦП измеряет входной электрический сигнал и выдает соответствующий ему двоичный код.

Для правильной работы и преобразования данных АЦП необходим микроконтроллер или цифровая схема. Во многих случаях использование АЦП не является необходимым. В некоторых случаях достаточно использовать *компаратор*.

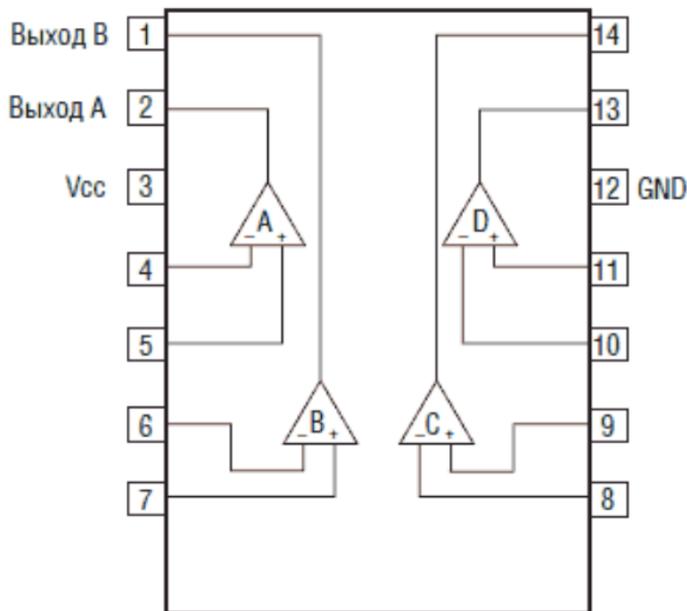
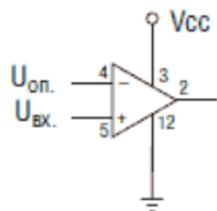
Как следует из самого названия, *компаратор* сравнивает два электрических напряжения. Одно из напряжений называется опорным и устанавливается по нашему желанию. Другое напряжение выдается сенсорным датчиком (через делитель напряжения). Выход компаратора имеет два уровня – высокий и низкий. Высокий уровень соответствует +5 В,

низкий уровень – 0 В.

Выходной сигнал компаратора зависит от соотношения уровней напряжений на его двух входах. Возможны три состояния: напряжение датчика меньше опорного напряжения, равно ему или превосходит его.

## **Пример построения компаратора**

Лучшим способом познакомиться с работой компаратора является использование его в схеме. Посмотрев на рис. 5.1, вы сразу обнаружите, что компаратор выглядит почти так же, как операционный усилитель. Это действительно так; компараторы представляют собой специализированные операционные усилители (ОУ). Компаратор, использованный в первом примере, представляет собой счетверенный компаратор типа LM339. Эта интегральная схема состоит из четырех компараторов и заключена в корпус с 14 выводами. Аналогично ОУ компараторы имеют инвертированный и неинвертированный входы. В данном случае опорное напряжение подается на инвертированный вход (-).



LM 339  
Счетверенный компаратор  
Vcc 2–36 Vdc or 18 Vdc

Рис 5.1. Схема компаратора и счетверенный компаратор на ИС LM 339

## Делитель напряжения

Делитель напряжения представляет собой простой, но очень важный элемент схемы. Его использование позволяет состыковать большинство резистивных сенсорных датчиков с входом компаратора. опорное напряжение получается также с помощью делителя напряжения на двух резисторах 10 кОм (см. рис. 5.2А).  $U_{оп.}$  в данном случае будет равно 2,5

В, т. е. половине питающего напряжения 5 В (см. табл. 5.1). Понятно, что величина  $V_{оп.}$  может быть любой в пределах от нуля до напряжения питания и зависит от отношения сопротивлений делителя напряжения.

$$V_{оп.} = V_{пит.} \times R2 / (R1 + R2)$$

где  $V_{пит.} = 5$  В.

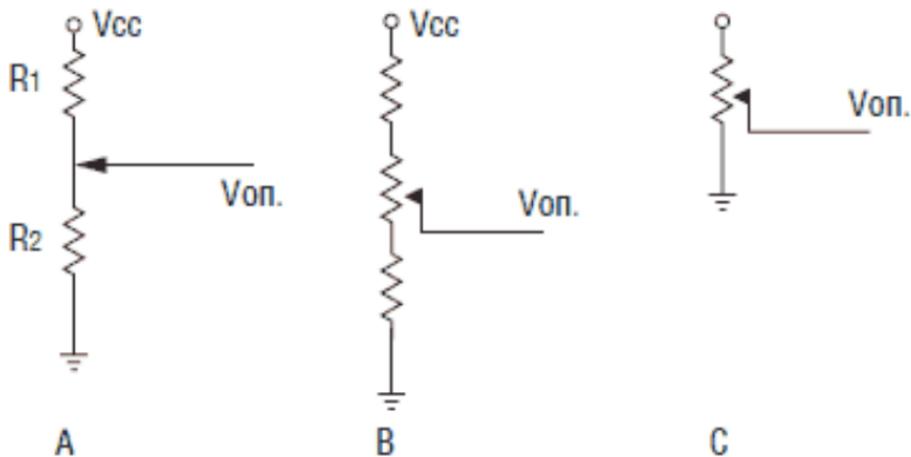


Рис. 5.2. Делители напряжения А, В и С

**Таблица 5.1. Двухрезисторный делитель напряжения**

R1	R2	$V_{оп.}, V$
1 кОм	10 кОм	4,5
2,2 кОм	“	4,1
3,3 кОм	“	3,7
4,7 кОм	“	3,4
5,6 кОм	“	3,2
6,8 кОм	“	2,9
10 кОм	“	2,5

Для создания переменного делителя напряжения можно использовать переменный резистор, как показано на рис. 5.2В и 5.2С. Я предпочитаю схему 5.2А как самую простую.

Схема для проверки работы устройства приведена на рис. 5.3 Вместо сенсорного датчика мы будем использовать два постоянных резистора в 1 кОм и переменный резистор 5 кОм. Переменным резистором можно регулировать величину напряжения, поступающего на неинвертированный вход. Выход компаратора обычно представляет собой NPN тран-

зистор с открытым коллектором, выходной ток которого более чем достаточен для подключения светодиода, который мы будем использовать в качестве индикатора. Говоря иначе, выход компаратора может быть использован как электронный ключ, замыкаемый на землю. Это окажется полезным позднее при коммутации таймера типа 555.

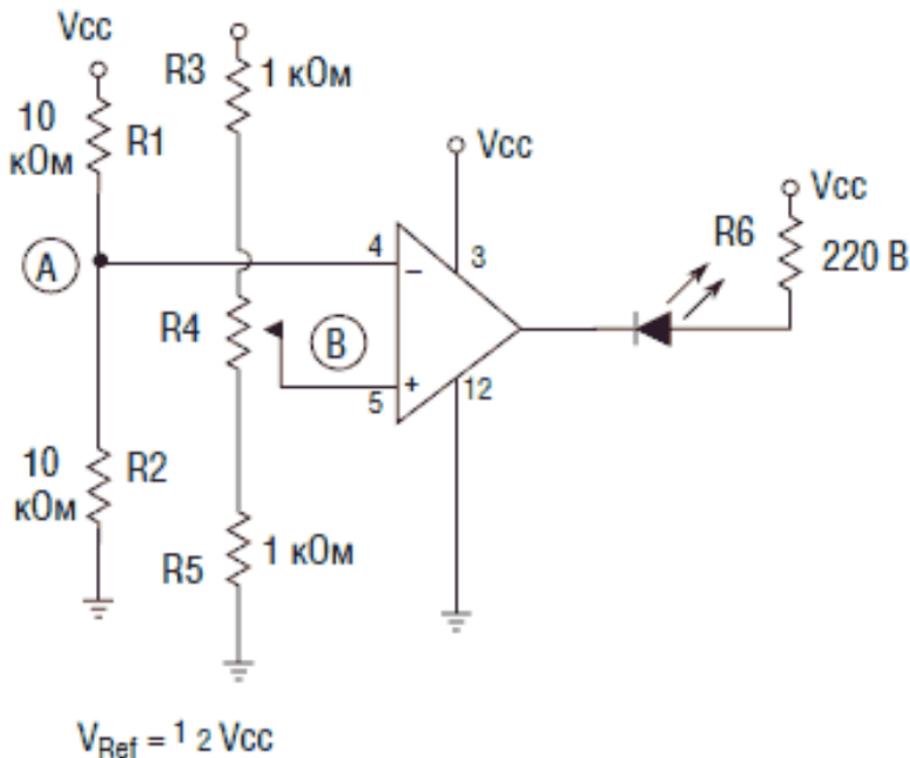


Рис. 5.3. Схема проверки работы компаратора

После сборки схемы посмотрим, что будет происходить.

Когда входное напряжение меньше опорного  $V_{оп.}$ , на выходе компаратора будет присутствовать низкий уровень 0 В, через светодиод будет протекать ток, что вызовет его свечение. Если мы с помощью переменного резистора повысим напряжение  $V_{вх.}$  до уровня, превышающего  $V_{оп.}$  уровень выхода перебросится в положение «высокий», и светодиод погаснет. Можно проверить работу компаратора вольтметром, измеряя значения напряжений на инвертированном и неинвертированном входах.

Многие, и я в том числе, находят работу подобной схемы несколько неестественной. Более привычным является зажигание светодиода при превышении  $V_{вх.}$  над  $V_{оп.}$  Это можно легко сделать, поменяв местами подключения входов компаратора, т. е. присоединив  $V_{вх.}$  к инвертированному входу компаратора, а  $V_{оп.}$  к неинвертированному соответственно. Функция выхода изменится при этом на противоположную.

Если по схеме не требуется большого количества компараторов, то в качестве компаратора можно использовать КМОП операционный усилитель, включенный соответствующим образом. Я предпочитаю использовать подобные ОУ, поскольку они обеспечивают достаточный выходной ток для питания светодиодов и других частей схемы (см. рис. 5.4).

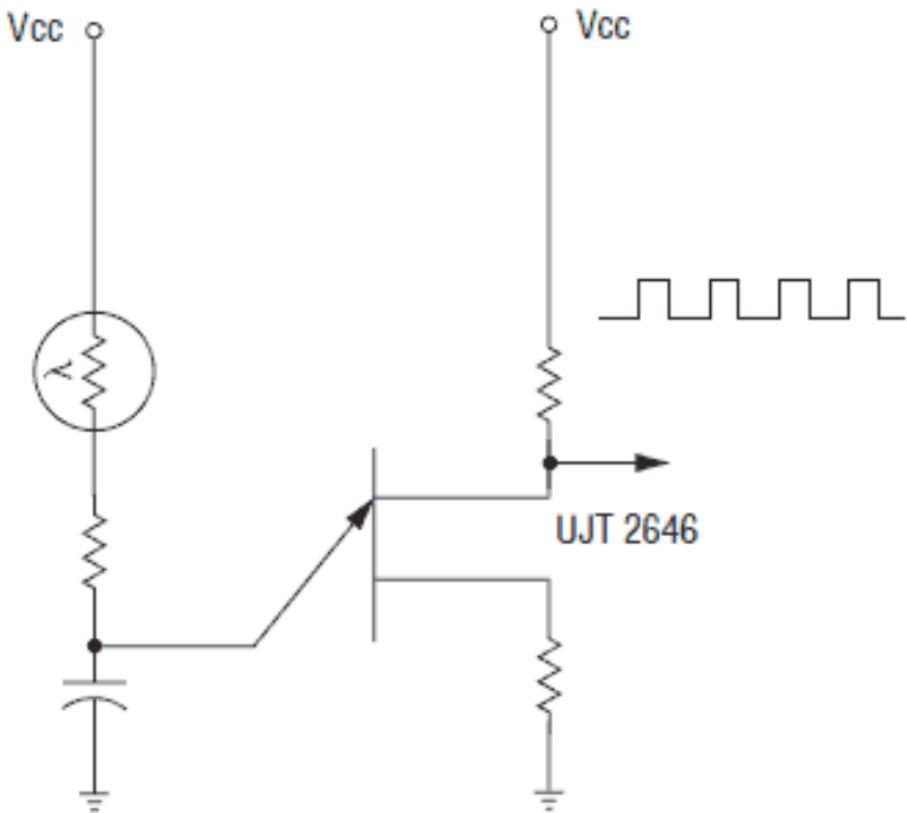


Рис. 5.4. Схема проверки работы компаратора на ОУ

# Датчики освещенности (фотосенсоры)

Существует большое количество различных типов датчиков освещенности: фоторезисторы, фотоэлектрические устройства, фотодиоды и фототранзисторы. Световые датчики могут использоваться для определения положения и направления движения. Некоторые роботы используют источники ИК излучения и ИК приемники для обхода препятствий и предотвращения ударов о стены. Источник и приемник ИК излучения монтируются в передней части робота и имеют одинаковое направление. При приближении робота к препятствию или стене, ИК излучение отражается от их поверхности и детектируется ИК приемником. ЦПУ робота интерпретирует такое увеличение сигнала как препятствие и обводит робота вокруг него.

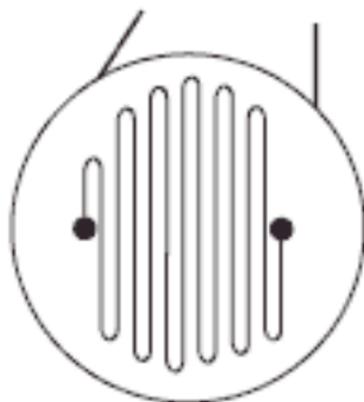
Перед датчиком освещенности могут быть установлены фильтры, выделяющие световые волны определенной длины и поглощающие прочие. Примером таких фильтров могут служить фильтры, установленные на роботах-пожарных и детектирующие наличие открытого пламени. Подбором фильтра можно выделить свет, излучаемый пламенем, и ослабить световые лучи, приходящие от других источников.

Другим примером является использование эмульсионных цветочных фильтров для различения цвета. Можно предста-

вить себе работа, собирающего или выбирающего только спелые фрукты на основании цвета их кожуры.

## Фоторезисторы

Фоторезисторы на основе сульфида кадмия (см. рис. 5.5) являются устройствами, реагирующими на видимый свет. Спектр поглощения такого резистора близок к спектру человеческого глаза (см. рис. 5.6). CdS – фоторезистор представляет собой полупроводник, но без обычного PN перехода. Наибольшее сопротивление такой фоторезистор имеет в полной темноте. По мере увеличения освещенности его сопротивление уменьшается. Измеряя сопротивление резистора, можно оценить среднюю освещенность в видимом спектре.



Фоторезистор (CdS-элемент)

Рис. 5.5. Фотоэлементы на основе сульфида кадмия (CdS)

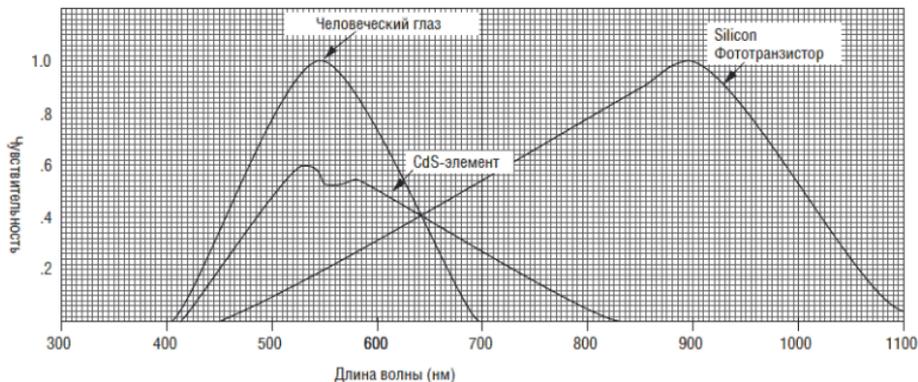


Рис. 5.6. Диаграмма, показывающая сравнительную спектральную чувствительность глаза и светочувствительных датчиков

### *Световой выключатель на основе фоторезистора*

На рис. 5.7 приведена основная схема устройства. Поскольку CdS-преобразователь представляет собой резистор, он может быть включен напрямую в делитель напряжения. По мере нарастания освещенности сопротивление фоторезистора падает. Соответственно, повышается напряжение на резисторе R1 и на выводе 2 ИС. Когда напряжение превысит напряжение на выводе 3, включится двигатель М. Порог срабатывания регулируется подстроечным резистором R1 4,7 кОм. Такая схема является основной для управления «сол-

нечным шаром», описанным в гл. 12.

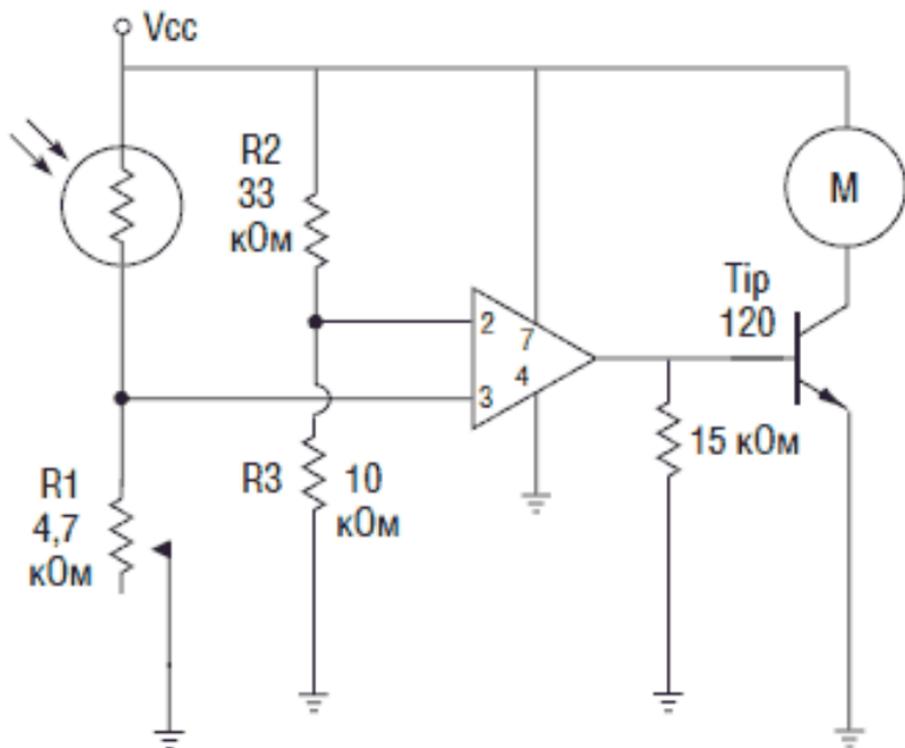


Рис. 5.7. Выключатель света на фоторезисторе

### *Светочувствительный нейрон*

На рис. 5.8 изображена схема светочувствительного нейрона. По мере нарастания освещенности возрастает частота выходных импульсов. Такая схема фотонейрона может гене-

рировать тактовые импульсы для контроллера шагового двигателя типа ИС UCN5804. При увеличении интенсивности освещенности поворот шагового двигателя осуществляется быстрее.

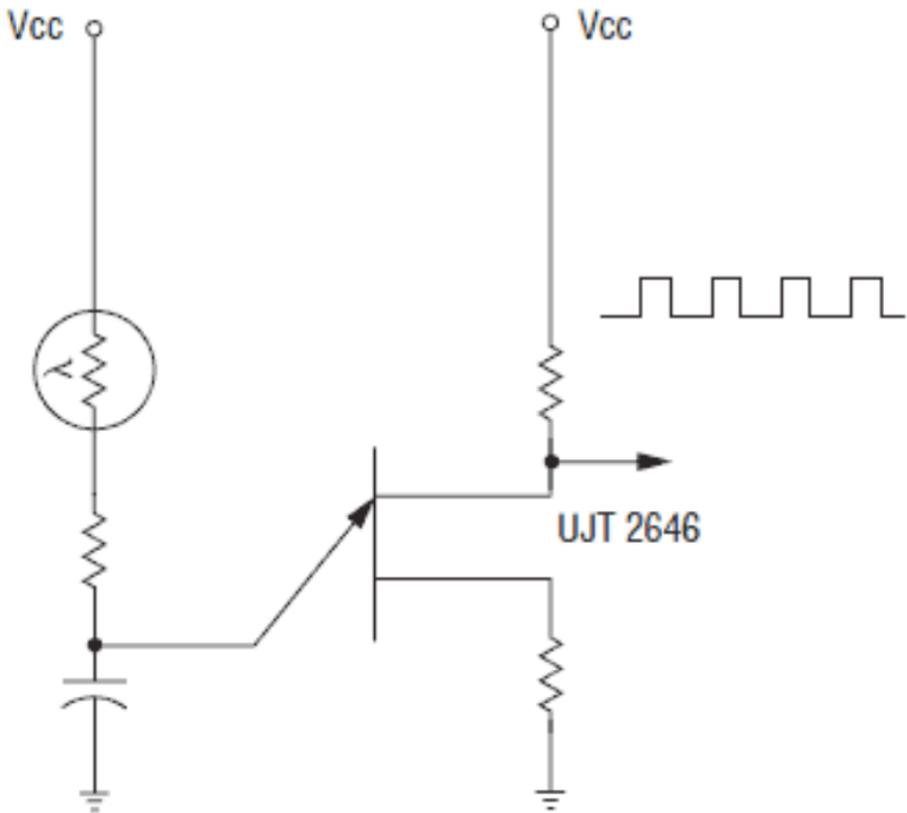


Рис. 5.8. Нейрон на базе фоторезистора

# Фотоэлектрические устройства

Фотоэлектрические (солнечные) элементы, фотодиоды и фототранзисторы имеют похожую конструкцию. Все они обладают светочувствительным PN переходом. В солнечных батареях площадь PN перехода велика и используется для выработки электрической энергии пропорционально степени освещенности.

Фотодиоды обычно используются в схемах в обратном включении. Световой поток уменьшает запирающий барьер PN перехода, и через диод начинает течь ток. Время срабатывания фотодиодов намного меньше, чем CdS фоторезисторов, поэтому они могут быть использованы для детектирования модулированных световых сигналов.

Фототранзисторы представляют собой светочувствительные транзисторы. Их преимущество в сравнении со светодиодами в том, что они способны усиливать поступающий световой сигнал.

## Датчики ИК излучения

Датчики ИК излучения работают в диапазоне низких частот излучения световых волн (900 нм и ниже). Они заслуживают специального рассмотрения, поскольку широко используются в роботах для ориентирования, обхода препят-

СТВИЙ И СВЯЗИ.

# Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.