

# Оглавление

<b>Предисловие от издательства .....</b>	<b>12</b>
<b>Благодарности .....</b>	<b>13</b>
<b>Об авторах .....</b>	<b>14</b>
<b>Предисловие от Чарльза Платта .....</b>	<b>15</b>
<b>ПРОЛОГ .....</b>	<b>22</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>23</b>
Прежде чем начать .....	23
Процесс обучения .....	23
Подготовка .....	24
Принципиальные схемы, макеты и фотографии .....	24
Если что-то не работает .....	28
Сообщите об ошибке .....	29
Общественное обсуждение .....	30
<b>ЭКСПЕРИМЕНТ 1</b>	
<b>ЭНЕРГИЯ ЧЕРЕЗ НИЧТО .....</b>	<b>31</b>
Все об аудио .....	33
Качество звука .....	35
Частота и длина волны .....	37
Несущая волна .....	38
Местный прием .....	41
Как это работает .....	49
Основы резонанса .....	52
Катушки и конденсаторы .....	52
Расчет .....	54
Международный прием .....	54
Тестирование .....	58
Несколько слов о Тесле .....	59

Почему я не использовал «бутылочную» версию Make: Electronics? .....	60
Настройка AMR1 .....	60
Дополнительные источники .....	62
Что дальше? .....	62

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 2 НАСТОЯЩЕЕ РАДИО ..... 63**

Конструкция с двойной катушкой .....	65
Расчет трансформатора.....	69
Трансформация энергии.....	69
Настройка AMR2 .....	70
Тестирование приемника AMP2 .....	74
Если что-то не работает....	75
Как это работает .....	77
Добавление аудиоусилителя.....	78
Дополнительные источники.....	79
Что дальше? .....	80

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 3 НАСТОЯЩИЙ АМ-ПЕРЕДАТЧИК ..... 81**

Замечания по компонентам .....	83
Создание несущей .....	83
Добавление аудиовхода .....	87
Синусоида .....	89
Разбираемся со схемой AMT1 .....	92
Качество звука и перемодуляция .....	94
Увеличение дальности .....	95
Дополнительные источники.....	95
Что дальше? .....	96

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 4 RASPBERRY PI PICO ..... 97**

Замечания по компонентам .....	99
Написание скетчей .....	99
Почему Pico? .....	100
О терминах.....	101
Почему Arduino IDE? .....	101
C/C++ SDK .....	102
MicroPython .....	102
Arduino IDE .....	102
Скетчи и библиотеки.....	103

Поиск документации.....	103
Установка Arduino IDE.....	103
Установка Windows.....	104
Установка в Linux.....	106
Установка в MacOS.....	106
Добавление кода для Pico.....	107
Ваш первый скетч для Pico .....	109
Устранение неисправностей.....	112
Устранение неполадок в ранних версиях IDE .....	112
Особенности платы Pico .....	114
Подключение ЖК-дисплея.....	115
Тест дисплея.....	117
Если это не работает.....	119
Разбираемся в скетче .....	119
Что дальше? .....	122

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 5 ТЕСТОВЫЙ ПЕРЕДАТЧИК НА ОСНОВЕ PICO.....123**

Тестируем сигнал.....	125
Разбираемся в скетче .....	127
Широтно-импульсная модуляция .....	131
Дополнительные источники.....	132
Что дальше? .....	132

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 6 ПЕРЕДАЧА АУДИО С ПОМОЩЬЮ PICO.....133**

Конструкция.....	135
Как это работает .....	136
AM-выход с помощью ШИМ .....	139
Разбираемся в скетче .....	140
Увеличение дальности и фильтрация .....	143
Конструкция.....	143
Увеличиваем мощность .....	146
Что дальше? .....	148

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 7 ПОДСЧЕТ ИМПУЛЬСОВ С ПОМОЩЬЮ PICO .....149**

Измерение частоты .....	151
Конструкция.....	151
Как это работает .....	154

Что происходит на высоких частотах? .....	155
Прерывания Pico.....	156
Проведение измерений.....	158
Схема приемника .....	160
Измерение частоты АМТ1.....	161
Что дальше? .....	162

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 8**

### **FM-ПРИЕМНИК.....163**

Частота и дальность.....	165
Модуль FM-приемника на основе SI4703 .....	165
Конструкция.....	167
Как это работает .....	171
Частотная модуляция .....	171
Стереозвук .....	172
Разбираемся в скетче .....	172
Что можно улучшить? .....	174
Портативный приемник .....	174
Добавление динамиков.....	175
Выбор диапазона настройки .....	176
Дополнительные источники.....	176
Что дальше? .....	176

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 9**

### **ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ .....177**

Отправка сигнала .....	179
Подключаем больше кнопок.....	182
Как это работает .....	186
Разбираемся в скетчах .....	187
Скетч передатчика .....	187
Скетч приемника.....	187
Коммерческие пульты .....	188
Прослушать код .....	188
Коммерческие приемники.....	188
Изучение кодов разных пультов .....	190
Клонирование пульта дистанционного управления .....	191
Беспроводной приемник дверного звонка.....	191
Музыкальный дверной звонок .....	195
Как это работает .....	197
Синтез звука .....	197
Разбираемся в скетче .....	197
Музыкальные ноты .....	200

Другие модули и добавление проволочных антенн .....	200
Что дальше? .....	202

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 10 РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ АМ-ПРИЕМНИК.....203**

Регенеративная схема .....	205
Как это работает .....	207
Короткие волны .....	208
Дополнительные источники.....	211
Что дальше? .....	212

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 11 МЕТАЛЛОДЕТЕКТОР.....213**

Два генератора и смеситель .....	215
Добавление сигнальной катушки.....	215
Поиск сигнала .....	217
Как это работает .....	217
Измерение частоты генераторов .....	220
Датчик металла и магнитных материалов .....	221
Устранение неполадок .....	222
Расширение диапазона чувствительности .....	222
Что дальше? .....	223

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 12 ПРИЕМНИК ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ.....225**

Конструкция.....	227
Антenna .....	227
Слушаем эфир.....	228
Прием азбуки Морзе .....	229
Контроль частоты .....	229
Прием аудиопередач.....	229
Помехи от вещательных станций.....	230
Как это работает .....	230
Генератор .....	230
Фильтр.....	231
Смеситель .....	231
Прием кода Морзе .....	233
Передача аудио с SSB-модуляцией .....	234
Эффективность .....	235
Дополнительные источники .....	236
Что дальше? .....	236

## ЭКСПЕРИМЕНТ 13

### ДАЛЬНЕЙШИЙ ПУТЬ ..... 237

Любительское радио.....	239
Лицензирование.....	239
Позывные .....	240
Протокол связи .....	240
QSL-карточки.....	241
Диапазоны частот.....	242
Обзаводимся радиостанцией .....	243
Программно-определенная радиостанция .....	243
Аппаратура .....	244
Программное обеспечение .....	244
Антенна .....	244
Испытательное оборудование .....	245
Физика и математика.....	247
Беспроводная передача данных микроконтроллерами .....	247
Создание радиосхем.....	248

## ПРИЛОЖЕНИЕ А.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОНЕНТОВ ..... 252

Резисторы .....	252
Подстроечные резисторы .....	253
Керамические конденсаторы .....	253
Электролитические конденсаторы .....	254
Индуктивности .....	254
Ферритовый стержень.....	254
Переменный конденсатор .....	255
Клеммная колодка .....	255
Полупроводники.....	255
Интегральные схемы.....	255
Ползунковый выключатель .....	256
Тактовая кнопка .....	256
Динамик .....	256
Макетная плата.....	256
Монтажный провод .....	256
Проводные перемычки .....	257
Высокоомпедансные наушники.....	257
Микроконтроллер Raspberry PI Pico .....	257
ЖК-дисплей .....	258
Модуль FM-приемника SI4703.....	258
Модули дистанционного управления 433 МГц.....	258
Список радиокомпонентов.....	259
Список радиокомпонентов (продолжение).....	260

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ИСТОЧНИКИ КОМПОНЕНТОВ, ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТОВ .....</b>	<b>262</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В. МАРКИРОВКА РЕЗИСТОРОВ И КОНДЕНСАТОРОВ.....</b>	<b>264</b>
Резисторы.....	264
Конденсаторы .....	267
Индуктивности .....	268
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ЗНАКОМСТВО С ОСЦИЛЛОГРАФАМИ .....</b>	<b>269</b>
Разновидности осциллографов .....	269
Настройка.....	271
Основные понятия .....	272
Терминология .....	274
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>276</b>

# Предисловие от издательства

## Отзывы и пожелания

Мы всегда рады отзывам наших читателей. Расскажите нам, что вы думаете об этой книге – что понравилось или, может быть, не понравилось. Отзывы важны для нас, чтобы выпускать книги, которые будут для вас максимально полезны.

Вы можете написать отзыв на нашем сайте [www.dmkpress.com](http://www.dmkpress.com), зайдя на страницу книги и оставив комментарий в разделе «Отзывы и рецензии». Также можно послать письмо главному редактору по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com); при этом укажите название книги в теме письма.

Если вы являетесь экспертом в какой-либо области и заинтересованы в написании новой книги, заполните форму на нашем сайте по адресу [http://dmkpress.com/authors/publish\\_book/](http://dmkpress.com/authors/publish_book/) или напишите в издательство по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com).

## Список опечаток

Хотя мы приняли все возможные меры для того, чтобы обеспечить высокое качество наших текстов, ошибки все равно случаются. Если вы найдете ошибку в одной из наших книг – возможно, ошибку в основном тексте или программном коде, – мы будем очень благодарны, если вы сообщите нам о ней. Сделав это, вы избавите других читателей от недопонимания и поможете нам улучшить последующие издания этой книги.

Если вы найдете какие-либо ошибки в коде, пожалуйста, сообщите о них главному редактору по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com), и мы исправим это в следующих тиражах.

## Нарушение авторских прав

Пиратство в интернете по-прежнему остается насущной проблемой. Издательство «ДМК Пресс» очень серьезно относится к вопросам защиты авторских прав и лицензирования. Если вы столкнетесь в интернете с незаконной публикацией какой-либо из наших книг, пожалуйста, пришлите нам ссылку на интернет-ресурс, чтобы мы могли применить санкции.

Ссылку на подозрительные материалы можно прислать по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com).

Мы высоко ценим любую помощь по защите наших авторов, благодаря которой мы можем предоставлять вам качественные материалы.

# Благодарности

Я благодарен всем, кто внес свой вклад в создание этой книги. Чарльз Платт, помимо рисования иллюстраций и написания предисловия, помог мне в структурировании книги и всему проекту в целом.

Редактор София Смит с ее острым вниманием к деталям помогла сделать книгу последовательной и выверенной как по языку, так и по терминологии.

Дизайнер Джюлиан Браун разработала макет с четким и понятным дизайном и привлекательным внешним видом, что делает книгу гораздо более красивой работой, чем я мог себе представить, пока писал.

Редактор Кевин Тояма руководил процессом производства книги и терпеливо помог довести книгу до финиша. Он с энтузиазмом предложил ценную помощь, поддерживал экспериментирование, сам тестировал некоторые схемы и поделился своим опытом.

Я многому научился, работая со всеми вами, и вы превратили этот проект в книгу, превосходящую все мои ожидания.

Андреа Клеттке, Бернардо Диас, Людовика Гварнери, Марк Ботэм, Томас Баяэр, Том Хукстра и Винсент Мондамер очень помогли с построением тестов и улучшением инструкций. Это было поучительно и очень весело – строить вместе и видеть, как проекты из этой книги воплощаются в жизнь.

Наконец, я благодарен Йоханне Грёнквист за организацию тестовых мероприятий и за ее поддержку на протяжении всего проекта.

# Об авторах



**Фредрик Янссон** (Fredrik Jansson) любит возиться с электроникой и является лицензированным радиолюбителем. Он работает исследователем по физике облаков в университете Delft University of Technology и разрабатывает модели погоды, которые работают на суперкомпьютерах. Он получил докторскую степень по физике в университете Åbo Akademi в Финляндии, живет в Амстердаме.

**Чарльз Платт** (Charles Platt) – пишущий редактор и постоянный обозреватель *Make*, журнала об электронике и инструментах. Платт был ведущим со-трудником журнала *Wired*, является автором различных компьютерных книг. Он увлекается электроникой с 15 лет, когда собрал телефонный автоответчик из магнитофона и списанных военных реле. Платт живет в дикой местности Северной Аризоны, где у него есть собственная мастерская по изготовлению прототипов и готовых устройств, о которых он пишет для журнала *Make*.

# Предисловие от Чарльза Платта

## ТАЙНА И МАГИЯ РАДИО

Радиоволны окружают нас повсюду и передают фантастическое разнообразие данных на тысячах различных частот. Всякий раз, когда некоторое электронное оборудование обменивается данными посредством электромагнитного излучения, мы видим пример использования радио.

- Ваш мобильный телефон излучает радиосигнал, когда вы говорите в него.
- Спасатели обмениваются радиосообщениями через рации.
- Ethernet-маршрутизатор, использующий Wi-Fi для подключения к вашему компьютеру, представляет собой разновидность радиосвязи.
- Bluetooth – это радиосвязь между такими устройствами, как телефон и беспроводные наушники.
- Если в вашей машине есть небольшая пластиковая коробочка, которая открывает дверь гаража при нажатии кнопки, значит, в ней находится радиопередатчик.
- Если в вашем доме есть телевизионная антенна, вы принимаете радиопередачи со спутника, который находится, вероятно, на расстоянии 22 000 миль.
- Низкоорбитальные спутники связи, такие как сеть Starlink, взаимодействуют с наземными антеннами посредством радиоволн.

Каким-то образом радиоволны передают энергию от передатчика к приемнику. Мы воспринимаем это как нечто само собой разумеющееся, но существует ощущение тайны в том, как информация путешествует по воздуху без необходимости переносить ее электронами.

Эта книга поможет вам понять это явление на практике: вы будете создавать собственные передатчики и приемники, используя небольшое количество доступных компонентов. Вы узнаете, как звук добавляется к несущей волне, что FM-радио кодирует свои сигналы совершенно иначе, чем AM-радио, и как микроконтроллер можно использовать для радиопередачи с одновременным показом информации о принимаемых сигналах.

Чтобы лучше понять современный мир радио, полезно представить, каким мир был без него.

## ОТПРАВКА ИНФОРМАЦИИ

В XIX веке единственным способом доставить рукописное сообщение на большое расстояние в Соединенных Штатах было написать письмо и отправить его через почтовую службу US Postal Service. Более того, поскольку автомобили еще не были изобретены, а железные дороги в Соединенных Штатах не были построены от побережья до побережья, письма, пересекавшие страну, часть расстояния перевозились на гужевых повозках или верхом на лошадях. Если вы жили в Нью-Йорке и хотели знать, что происходит с родственниками, переехавшими в Калифорнию, вам, возможно, пришлось бы подождать пару месяцев.

В 1840-х годах были разработаны телеграфные системы, обычно с использованием одного провода, натянутого вдоль железной дороги, со стальными путями, замыкающими цепь. По проводу передавались электрические сигналы в коде Морзе – системе коротких и длинных импульсов, изобретенной Сэмюэлем Морзе. Телеграфист отправлял импульсы вручную, постукивая по рычагу, замыкавшему пару контактов. На приемном конце электромагнит тянул иглу, которая оставляла отпечатки на бумажной ленте. Затем оператор переписывал код на английском языке от руки, и стенограмма доставлялась в виде телеграммы посыльным, часто ехавшим на велосипеде. На рис. В.1 показаны мальчики-посыльные того периода.

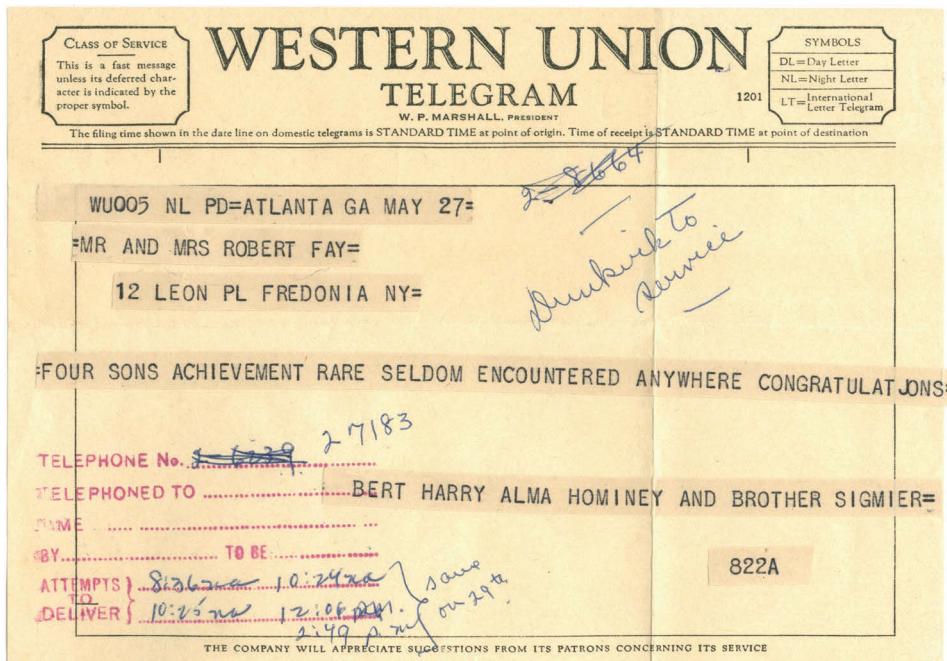
Первая трансконтинентальная телеграфная линия была построена в США в 1861 году. К этому времени был разработан печатающий телеграф, и телеграммы приобрели формат, который оставался неизменным на протяжении многих десятилетий. Текст печатался на узких бумажных лентах и наклеивался на бланк, как показано на рис. В.2. Хотя сейчас задача общения посредством телеграммы кажется нам примитивной и трудоемкой, она создала возможность быстро отправлять важные новости, что в то время казалось чудом.

В 1880-е годы появилось еще более впечатляющее чудо: телефонная связь. Теперь вы действительно могли услышать чей-то голос на расстоянии – если расстояние не было слишком большим и вы слушали очень внимательно. Звуки были слабыми: усилители еще не были разработаны.

Еще оставалось одно серьезное препятствие: мировые океаны. Телеграфные кабели были проложены через Атлантику, но они по-прежнему ограничивались азбукой Морзе и обслуживались стационарными станциями на суше (см. рис. В.3.) Для отправки сообщения с корабля на корабль или с берега на берег требовалось мигать сигнальной лампой, пока человек, получающий сообщение, наблюдал за ним в подзорную трубу. Максимальная дальность составляла всего около пяти миль, поскольку кривизна Земли уводила далекий корабль ниже линии горизонта. Если бы адмирал на суше захотел послать новые приказы капитану на море, он не смог бы этого сделать.



**Рис. В.1.** Мальчики-посыльные Western Union до изобретения телефона



**Рис. В.2.** Телеграмма Western Union (США), включая аннотации о попытках доставки. В сообщении предлагается поздравление с рождением четвертого сына. Несмотря на то что телеграмма была отправлена в 1959 году, формат был установлен почти столетием ранее

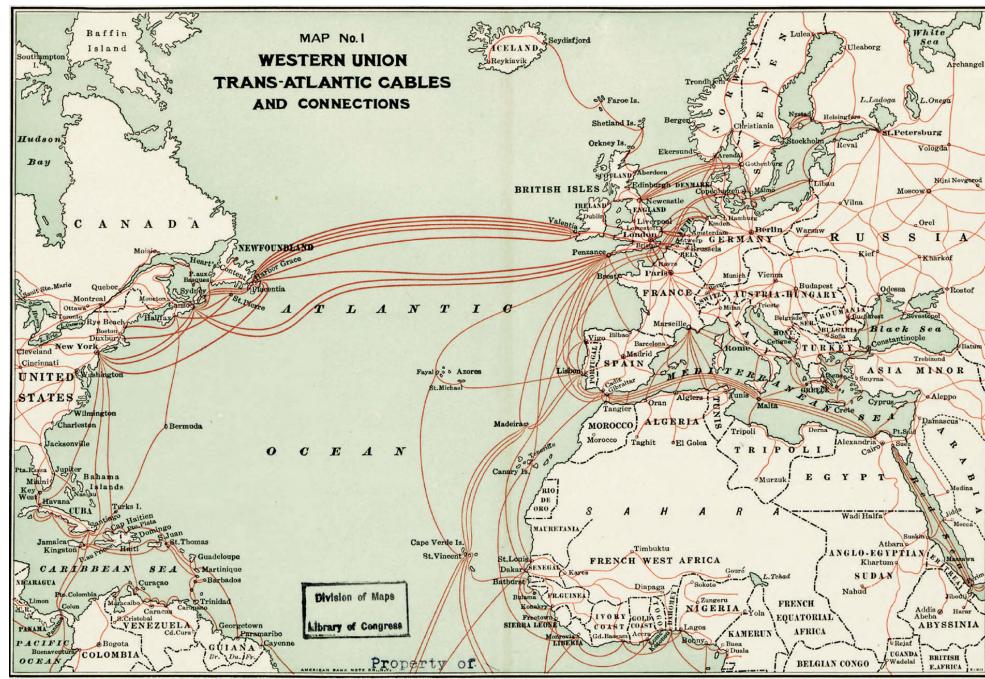


Рис. В.3. Подводные трансатлантические кабели, 1900 год

## Появление радио

В 1895 году Гульельмо Маркони был студентом университета, изучавшим физику в Италии. Когда его наставник упомянул, что Генрих Герц доказал существование электромагнитного излучения, генерируя электрические искры и обнаруживая их в противоположной части комнаты, Маркони был поражен тем, что никто не пытался разработать концепцию связи, чтобы заработать на ней деньги. Он воображал, что электрическая связь по воздуху может быть столь же важной и прибыльной, как и передача сообщений по проводам.

Он не был особенно одаренным ученым, но вырос в богатой семье, которая научила его тонкому пониманию роли денег. Он также был предприимчивым и настойчивым новатором и начал экспериментировать. Маркони быстро обнаружил, что более длинные антенные провода на передатчике и приемнике значительно расширяют их радиус действия. Он также обнаружил, что дальность действия увеличивается, если заземлить передатчик и приемник. Сообщения, которые он передавал, состояли лишь из небольших всплесков электрического шума, но их было достаточно, чтобы использовать азбуку Морзе. Усилителей тогда еще не существовало, поэтому были необходимы наушники.

В возрасте 22 лет Маркони проводил демонстрации в Лондоне, пытаясь привлечь интерес и финансирование со стороны военных. Год спустя ему удалось передать сигнал на расстояние четырех миль, используя антенны, переносимые на воздушных шарах. Его усилия получили известность, а известность привлекла инвестиционный капитал, который он использовал для усовершен-

ствования своего оборудования. К 1900 году он смог послать сигнал между двумя кораблями, находившимися на расстоянии почти 60 миль друг от друга.

Он проницательно добавил престижа своему предприятию, наняв на работу некоторых из самых выдающихся ученых мира, в том числе лорда Кельвина, знаменитого формулировкой основных законов термодинамики, и Джона Амброуза Флеминга, который позже изобрел первую термоэлектронную вакуумную лампу.

Конечная цель Маркони заключалась в том, чтобы послать сигнал через Атлантический океан между юго-западной Англией и Массачусетсом. Это должна была быть самая впечатляющая демонстрация его концепции, и он рисковал опубликовать ее заранее.

Были возведены огромные передающие башни, но они были разрушены сильным ветром. После других неудач, пока мир ждал, сможет ли Маркони оправдать свои предсказания, он установил более простые антенны для отправки заранее оговоренного сигнала на не столь большое расстояние, в Ньюфаундленд, где он установил приемную станцию. В течение двух назначенных дней он и его помощник часами слушали наушники, пытаясь уловить щелкающие звуки среди радиопомех. Дважды они утверждали, что слышали сигнал.

Ученые были настроены скептически, потому что радиоволны, как и световые волны, должны блокироваться кривизной Земли. Однако инженер-электрик А. Э. Кеннелли и физик Оливер Хевисайд, работая независимо друг от друга, предположили, что ионизированный слой в атмосфере может отражать радиосигналы на поверхность планеты. Маркони понравилась их теория, поскольку она подтвердила его утверждения. Существование явления, ныне известного под названием слоя Хевисайда, было подтверждено лишь много лет спустя.

Однако резонанс, вызванный трансатлантическим экспериментом Маркони, позволил ему собрать больше денег. Он запатентовал все ключевые концепции, и основанная им компания стала доминирующим международным производителем беспроводных станций. Первоначально его оборудование использовалось в основном для военных и морских сообщений, поскольку обычные люди не проявляли особого интереса к прослушиванию сигналов азбуки Морзе. Но блестящий инженер-электрик по имени Эдвин Армстронг выдвинул идеи, которые улучшили качество радиоприема до такой степени, что можно было передавать и принимать речь и музыку, и тогда началась настоящая радиореволюция.

Во-первых, Армстронг изобрел регенеративную схему, в которой использовалась положительная обратная связь через вакуумную лампу, что позволило людям слушать радио через громкоговоритель вместо наушников. Армстронг подал патент, описывающий эту концепцию, в 1913 году, затем ему пришла в голову идея схемы, которую он назвал супергетеродинной, имеющей лучшую избирательность и стабильность и создающую меньше шума. Он подал заявку на патент на это изобретение в 1919 году.

Радиочастотный спектр был распределен на международном уровне в 1912 году, но любой энтузиаст мог установить передатчик, а некоторые люди использовали детекторные приемники для прослушивания радиоволн, просто чтобы посмотреть, что они смогут найти. Затем в 1934 году федеральное правительство США приняло закон о связи, который позволял компаниям передавать сигналы без риска создания помех друг другу.



**Рис. В.4.** Настольный радиоприемник с отделкой из натурального шпона ценных древесных пород, типичный для того времени



**Рис. В.5.** В 1930-е годы такой приемник мог занимать центральное положение в гостиной

Это открыло новую эру вещания. Радио больше не ограничивалось связью между двумя точками; передачи передавались с радиостанции тысячам или даже миллионам слушателей, которые принимали их одновременно. Финансируемое рекламой в Соединенных Штатах (и государственными деньгами во многих других странах), радио принесло в наши гостиные музыку больших оркестров, выступления комиков, драмы, спортивные трансляции, политические речи и дикторов-комментаторов. Семьи с удовольствием собирались вокруг радиоприемников, слушая далекие станции, транслирующие их любимые передачи.

Ранние радиоприемники размещались в причудливых шкафах, что свидетельствует о важности волшебства, связанного с путешествующими по воздуху голосами и музыкой. Примеры показаны на рис. В.4 и В.5.

Радио стало основным средством развлечения в Америке и конкурировало с газетами как источник информации. Оно сохраняло этот статус до тех пор, пока телевидение не произвело новую революцию, и эпоха, когда миллионы людей сидели и слушали комедии или драмы, постепенно подошла к концу.

Прошли десятилетия, прежде чем радио было вновь адаптировано для небольших расстояний, например для разблокировки автомобиля при нажатии кнопки на пульте дистанционного управления или передачи музыки с телефона на пару наушников.

Эта книга не только покажет вам, как принимать сигналы АМ- и FM-станций, которые до сих пор транслируют музыку и голоса по всему миру, но также научит вас передавать собственные радиосигналы. Со временем вы сможете приобрести собственную лицензию на коротковолновый диапазон, если захотите.

Я думаю, вы обнаружите, что это захватывающее путешествие.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универ»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)