

УДК 621.38.01

ББК 32.85

К35

**Танака Кэнъити**

**К35** Занимательная электроника. Электронные схемы / Танака Кэнъити (автор), Такаяма Яма (худож.) ; пер. с яп. Клионского А. Б. — М. : ДМК Пресс, 2016. — 184 с. : ил. — (Серия «Образовательная манга»). — Доп. тит. л. яп.

ISBN 978-5-97060-353-6.

Электронные схемы основаны на обычных электрических цепях, однако, в отличие от последних, содержат полупроводниковые элементы, такие как диоды, транзисторы, а по мере усложнения превращаются в интегральные схемы. Именно электронные схемы лежат в основе электронных приборов, окружающих нас в быту.

Чтобы объяснить принципы работы электронных схем «с нуля», в этой книге используется транзисторный радиоприёмник – в доступной форме описываются процессы преобразования принимаемых антенной радиоволн, заканчивающиеся воспроизведением звука. Обычно многие учебники по радиоэлектронике начинаются с описания простейшего усилителя, а затем постепенно переходят к более сложным схемам. Однако в этой книге автор решил взять за основу путь прохождения сигнала, то есть описать процесс, начинающийся с выбора нужного канала из принимаемых антенной радиоволн и заканчивающийся воспроизведением звука. Чтобы процесс обучения был ещё увлекательнее, в Манге вам составят компанию два персонажа – ученики старшей школы Сидэн Тору и Эрэки Ая.

Простота изложения и увлекательный сюжет о любви старшеклассников поможет начинающим любителям электроники получить базовые знания по теории электронных схем.

УДК 621.38.01

ББК 32.85

Original Japanese edition

Manga de Wakaru Denshi Kairo (Manga Guide: Electronic Circuits)

By Kenichi Tanaka (Author), Yama Takayama (Illustrator) and

Trend-Pro Co., Ltd. (Producer)

Published by Ohmsha, Ltd.

3-1 Kanda Nishikicho, Chiyodaku, Tokyo, Japan

Russian language edition copyright © 2016 by DMK Press

Все права защищены. Никакая часть этого издания не может быть воспроизведена в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, ксерокопирование или иные средства копирования или сохранения информации, без письменного разрешения издательства.

ISBN 978-4-274-06777-8 (яп.) Copyright © 2009 by Kenichi Tanaka and Trend-Pro Co., Ltd

ISBN 978-5-97060-353-6 (рус.) © Перевод, оформление, издание, ДМК Пресс, 2016

# СОДЕРЖАНИЕ

Пролог.	
<b>БЕСТПОКОЙНЫЙ НОВИЧОК .....</b>	<b>1</b>

Глава 1.	
<b>ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ? А ЧТО ЭТО ТАКОЕ? ...</b>	<b>9</b>
1.1. ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОННАЯ СХЕМА .....	11
1.2. РАЗЛИЧНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ.....	13
Усилители .....	13
Генераторы .....	14
Модуляторы .....	15
Демодуляторы.....	16
Фильтры .....	16
Операционные усилители .....	18
Логические схемы .....	19
Источники питания .....	21
1.3. ПРОСТЕЙШИЙ ПРИМЕР РАДИОПРИЁМНИКА .....	23
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....	27
Операционный усилитель - совершенная схема усиления .....	27
Логические схемы .....	28

Глава 2.	
<b>УСТРОЙСТВО ТРАНЗИСТОРА .....</b>	<b>31</b>
2.1. ЧТО ТАКОЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ? .....	34
Ковалентные связи между атомами кремния.....	36
Полупроводники <i>p</i> -типа.....	38
Полупроводники <i>n</i> -типа.....	39
2.2. ДИОДЫ С <i>p-n</i> -ПЕРЕХОДОМ.....	40
Напряжение смещения.....	41
Выпрямитель .....	43

2.3. БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ .....	44
Транзисторы $p-n-p$ -типа .....	46
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ .....	54
Устройство и принцип работы ПТУП (J-FET) .....	54
ПТ МОП (MOS-FET) .....	55
Отличия между биполярными и полевыми транзисторами .....	56

## Глава 3.

### **СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ..... 57**

3.1. ПРАВИЛА КИРХГОФА .....	62
Анализ цепей .....	62
Первое и второе правила Кирхгофа .....	63
3.2. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ $RLC$ -ЦЕПИ .....	65
3.3. ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА С $h$ -ПАРАМЕТРАМИ .....	67
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ .....	75
Источники напряжения и источники тока .....	75
Что такое коэффициент передачи по напряжению .....	75
Коэффициент передачи тока .....	76
Использование обозначений $i$ и $j$ в комплексных числах .....	76

## Глава 4.

### **РЕЗОНАНСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ..... 77**

4.1. ПРИНЦИП РАБОТЫ РЕЗОНАНСНОГО УСИЛИТЕЛЯ .....	81
Что такое амплитудно-модулированная волна .....	83
Форма амплитудно-модулированной волны .....	84
4.2. ОДНОЧАСТОТНЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ .....	88
Закорачивание элементов .....	90
Эквивалентная схема для высоких частот .....	91
Паразитная ёмкость и эффект Миллера .....	92
Упрощение эквивалентной схемы для высоких частот .....	95
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ .....	101
Частотная характеристика коэффициента передачи тока для резонансного усилителя .....	101

Эквивалентная схема транзистора для высоких частот.....	103
Пересчёт импедансов.....	106

## Глава 5.

### **ДЕМОДУЛЯТОР .....107**

5.1. ДЕМОДУЛЯЦИЯ И ЛИНЕЙНЫЙ ДЕТЕКТОР.....	110
Демодуляция.....	111
Линейный детектор.....	111
Принцип линейного детектирования.....	112
5.2. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ОГИБАЮЩЕЙ.....	114
5.3. ФИЛЬТРЫ.....	115
Фильтры нижних частот.....	115
Фильтры верхних частот.....	116
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....	122
О частотной модуляции (ЧМ).....	122

## Глава 6.

### **УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ .....125**

6.1. ЧТО ТАКОЕ УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ.....	130
Три типа усилителей.....	131
6.2. УСИЛИТЕЛЬ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ.....	132
6.2.1. ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА.....	133
6.2.2. ЦЕПЬ СМЕЩЕНИЯ.....	134
Что такое рабочие точки.....	136
Оптимальная рабочая точка.....	137
6.2.3. СХЕМА УСИЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	138
Эквивалентная схема для переменного тока.....	139
6.2.4. КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ПО ТОКУ.....	141
Коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером.....	143
Инверсия фазы.....	144
6.2.5. ВХОДНОЙ И ВЫХОДНОЙ ИМПЕДАНСЫ (1).....	145
Входной импеданс $Z_{вх}$ (1).....	145
Выходной импеданс $Z_{вых}$ (1).....	146

6.3. УСИЛИТЕЛЬ С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ .....	148
6.3.1. ЭМИТТЕРНЫЙ ПОВТОРИТЕЛЬ .....	148
Буферный каскад .....	148
6.3.2. РАСЧЁТ ЦЕПИ СМЕЩЕНИЯ .....	150
6.3.3. ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА ДЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ....	151
6.3.4. КОЭФФИЦИЕНТЫ УСИЛЕНИЯ ПО НАПРЯЖЕНИЮ И ТОКУ .....	155
Коэффициент усиления по напряжению .....	155
Коэффициент усиления по току .....	156
6.3.5. ВХОДНОЙ И ВЫХОДНОЙ ИМПЕДАНСЫ (2) .....	157
Входной импеданс $Z_{вх}$ (2) .....	157
Выходной импеданс $Z_{вых}$ (2) .....	158
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ .....	160
Связь с децибелами (дБ) .....	160
Зачем нужен эмиттерный повторитель? .....	160
Что произойдёт при каскадном включении эмиттерного повторителя? .....	161
Каскадирование усилителей .....	162
Характеристики усилителя на высоких частотах .....	164
<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ .....</b>	<b>172</b>

