

ПРЕДИСЛОВИЕ

Электронная схема представляет собой электрическую цепь, содержащую полупроводниковые элементы, такие как диоды и транзисторы. 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 описывается механизм, на выходе которого мы слышим звук. Обычно многие учебники по радиоэлектронике начинаются с описания простейшего усилителя, а затем постепенно переходят к более сложным схемам. Однако в этой книге я решил взять за основу путь прохождения сигнала, то есть описать процесс, начинающийся с выбора нужного канала из принимаемых антенной радиоволн и заканчивающийся воспроизведением звука. Мне кажется более естественным осваивать электронные схемы в процессе изучения системы под названием «радиоприёмник», двигаясь вдоль пути прохождения сигнала от радиоволны к звуку. Чтобы процесс обучения был ещё увлекательнее, в манге вам составят компанию два персонажа – ученики старшей школы Сидэн Тору и Эрэки Ая.

Опираясь на лекции по теории электронных схем, которые я читаю в университете, я постарался сделать содержание книги интересным как для учащихся профессиональных школ, так и для всех, кого заинтересовала электроника.

В заключение я хочу поблагодарить художника манги г-на Такаюма Яма, коллективу компании TRENDPRO, ответственному за оформление, а также всем сотрудникам издательства Ohmsha, которое дало мне возможность взяться за перо. Кроме того, я признателен читателям, изволившим открыть эту книгу, и буду очень рад, если она поможет Вам пробудить интерес к электронным схемам.

*Танака Кэнъити.
Октябрь 2009 г.*

СОДЕРЖАНИЕ

Пролог. БЕСПОКОЙНЫЙ НОВИЧОК	1
---	---

Глава 1. ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ? А ЧТО ЭТО ТАКОЕ? ...	9
--	----------

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. НАПРИМЕР, В СЛУЧАЕ РАДИОПРИЁМНИКА	23
FOLLOW UP	27
Операционный усилитель - совершенная схема усиления	27
Логические схемы	28

Глава 2. УСТРОЙСТВО ТРАНЗИСТОРА	31
---	-----------

2.1. ЧТО ТАКОЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ?	34
Ковалентные связи между атомами кремния	36
Полупроводники p-типа	38
Полупроводники n-типа	39
2.2. ДИОДЫ С P-N-ПЕРЕХОДОМ	40
Напряжение смещения	41
Выпрямитель	43
2.3. БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ	44

Транзисторы pnp-типа 46

FOLLOW UP	54
Устройство и принцип работы ПТУП	54
ПТТ МОП	55
Отличия между биполярными и полевыми транзисторами	56

Глава 3.

СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕТЯХ 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 Н-ПАРАМЕТРАМИ	67
FOLLOW UP	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
FOLLOW UP	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
FOLLOW UP	122
О частотной модуляции (ЧМ)	122

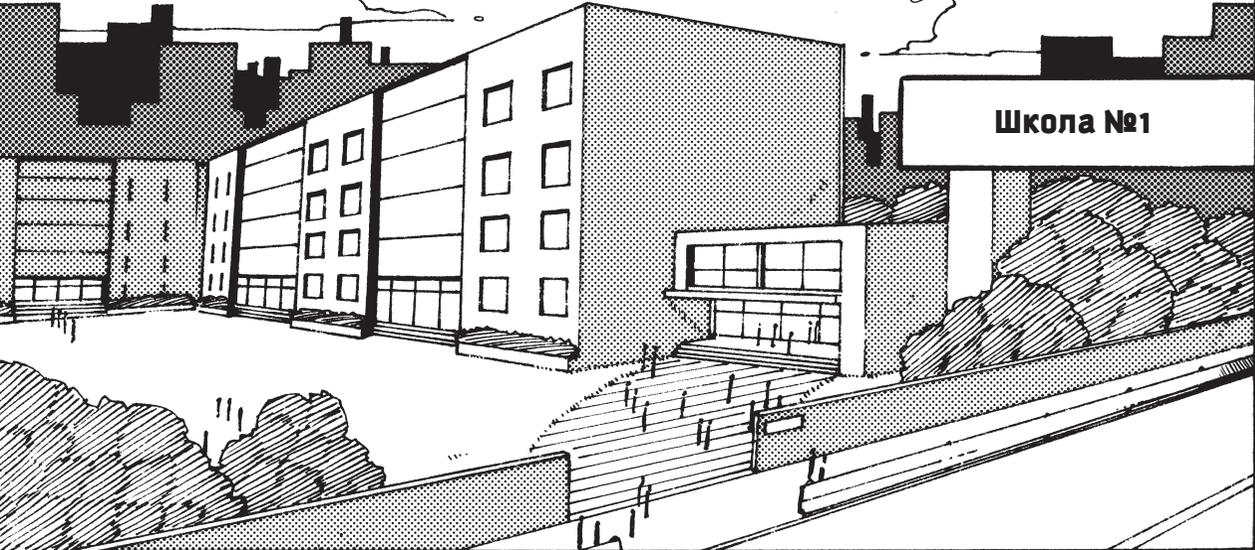
Глава 6.	
УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ	125
6.1. ЧТО ТАКОЕ УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ	130
Три типа усилителей	131
6.2. УСИЛИТЕЛЬ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ	132
6.2.1. ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА	133
6.2.2. ЦЕПЬ СМЕЩЕНИЯ	134
Что такое рабочие точки	136
Оптимальная рабочая точка	137
6.2.3. СХЕМА УСИЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	138
Эквивалентная схема для переменного тока	139
6.2.4. КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ПО ТОКУ	141
Коэффициент усиления по току в схеме с общей базой	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
FOLLOW UP	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
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	172



ПРОЛОГ.
БЕСПОКОЇНЫЙ
НОВИЧОК



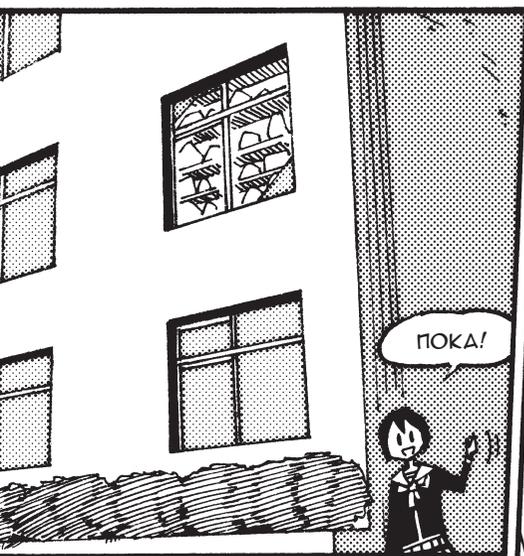


Школа №1

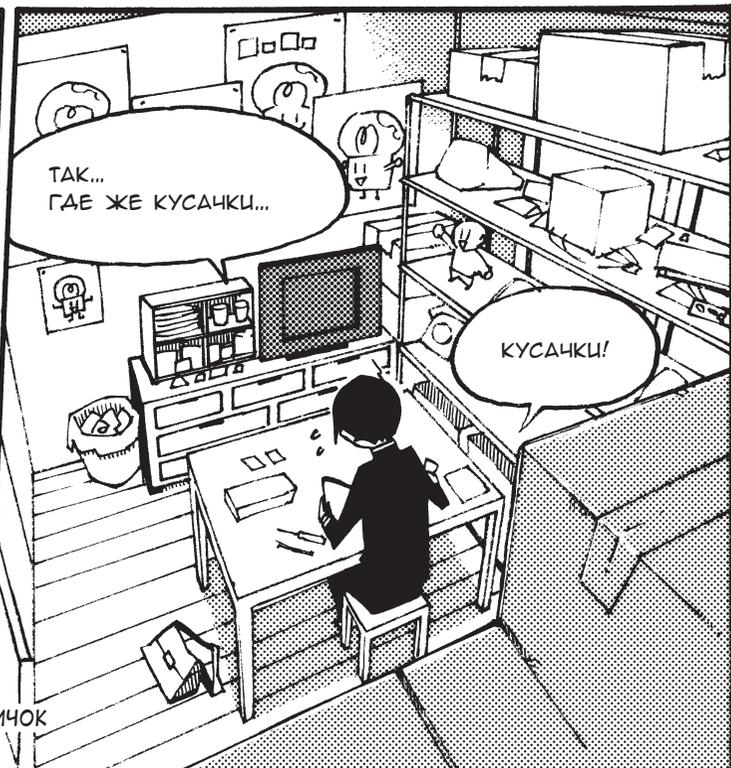


ЕСЛИ ХОЧЕШЬ,
ПРИХОДИ
ПОСМОТРЕТЬ!

ДА

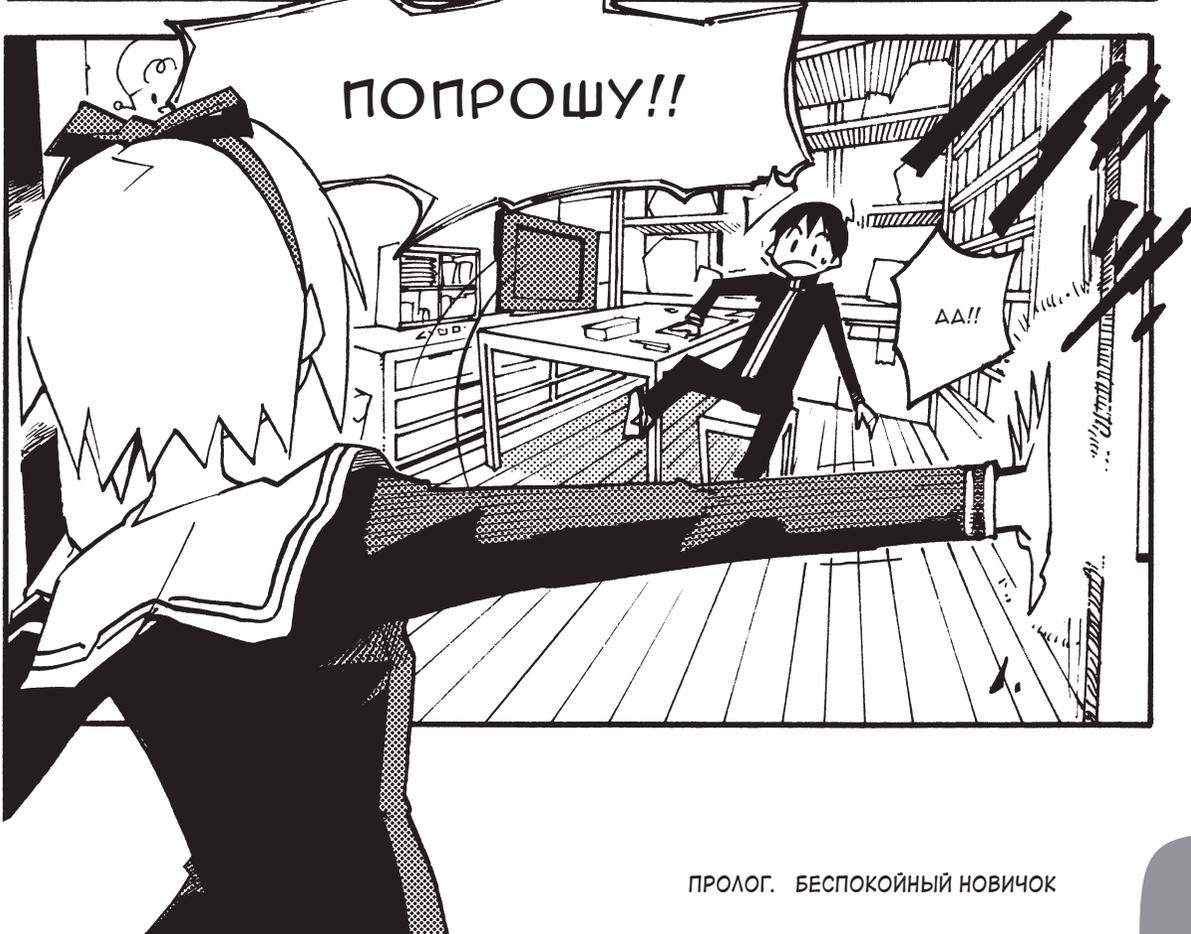


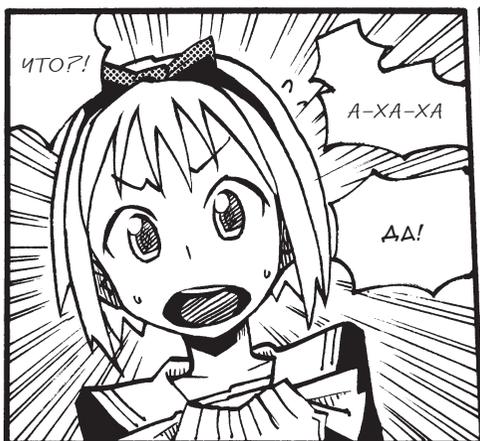
ПОКА!



ТАК...
ГДЕ ЖЕ КУСАЧКИ...

КУСАЧКИ!







ДА,

ДА,

ДА!

я....

КО-
НЕЧ-
НО,

КО-
НЕЧ-
НО

ЛЮБ-
ЛЮ!!!



ЧТО?

А, НЕТ,
НЕТ,
Я ЭТО
ЛЮБЛЮ!



СКАЗАТЬ, ЧТО Я ЛЮБЛЮ
ЭЛЕКТРОНИКУ? ДА!
Я ОЧЕНЬ ЛЮБЛЮ ЭЛЕКТРОНИКУ!

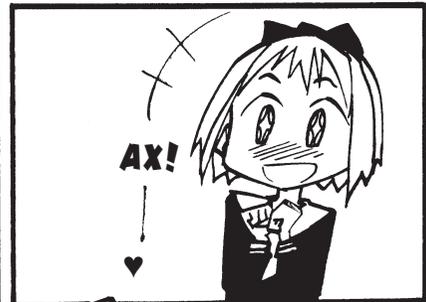
ОДНАКО, ОДНАКО, КАК
БЫ ЭТО СКАЗАТЬ, Я В
НЕЙ НЕ ОЧЕНЬ ТО И
РАЗБИРАЮСЬ...
ИЛИ ЛУЧШЕ СКАЗАТЬ,
ВООБЩЕ НЕ ПОНИМАЮ!
НИ КАПЕЛЬКИ!

ОДНАКО ИНТЕРЕС ВСЁ ЖЕ
ЕСТЬ
ВОТ Я И ПОДУМАЛА, ЧТО
ЕСЛИ ЗАПИШУСЬ В КРУЖОК,
ТО СМОГУ НАУЧИТЬСЯ..
КАК НЕСКРОМНО С МОЕЙ
СТОРОНЫ!!

ДА!

Я ГЛУПАЯ, ДУРОЧКА
И ПРОСТФИЯ
К ТОМУ ЖЕ НЕУМЁХА.
В ОБЩЕМ, СОВСЕМ ОБЫЧНАЯ
СТАРШЕКЛАССНИЦА,
МОЖНО ТАК СКАЗАТЬ?
ОДНАКО Я ХОЧУ С ТОБОЙ
ПОДРУЖИТЬСЯ! ТЫ НЕ
ПРОТИВ??







ТЫ ПРАВДА
НЕ ВОЗРАЖАЕШЬ?

НЕТ,
КОНЕЧНО



СТЫДНО ПРИЗНАТЬСЯ,
НО СЕЙЧАС В ЭТОМ
КРУЖКЕ ТОЛЬКО Я
СЕРЬЕЗНО ЗАНИМАЮСЬ.
СКУЧНО ВСЁ ВРЕМЯ
ОДНОМУ...

ДА, ЗОВУТ МЕНЯ
СИДЭН ТОРУ.

ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ!



ТО ЕСТЬ, МОЖНО
ЗАПИСАТЬСЯ?!
ТЫ ВСЁ ВРЕМЯ
ОДИН?!
ЗНАЧИТ, ЕСЛИ Я
ЗАПИШУСЬ...



...МЫ С ТОБОЙ БУДЕМ ОДИН?!?!

ЧТО?!?

БАХ



С ТОБОЙ ...
ВСЁ В
ПОРЯДКЕ?

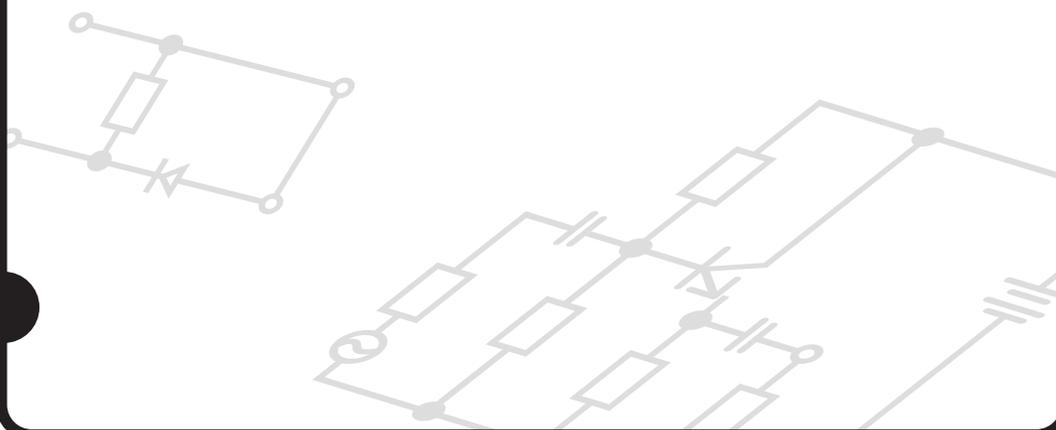
А..ДА, В ПОРЯДКЕ.

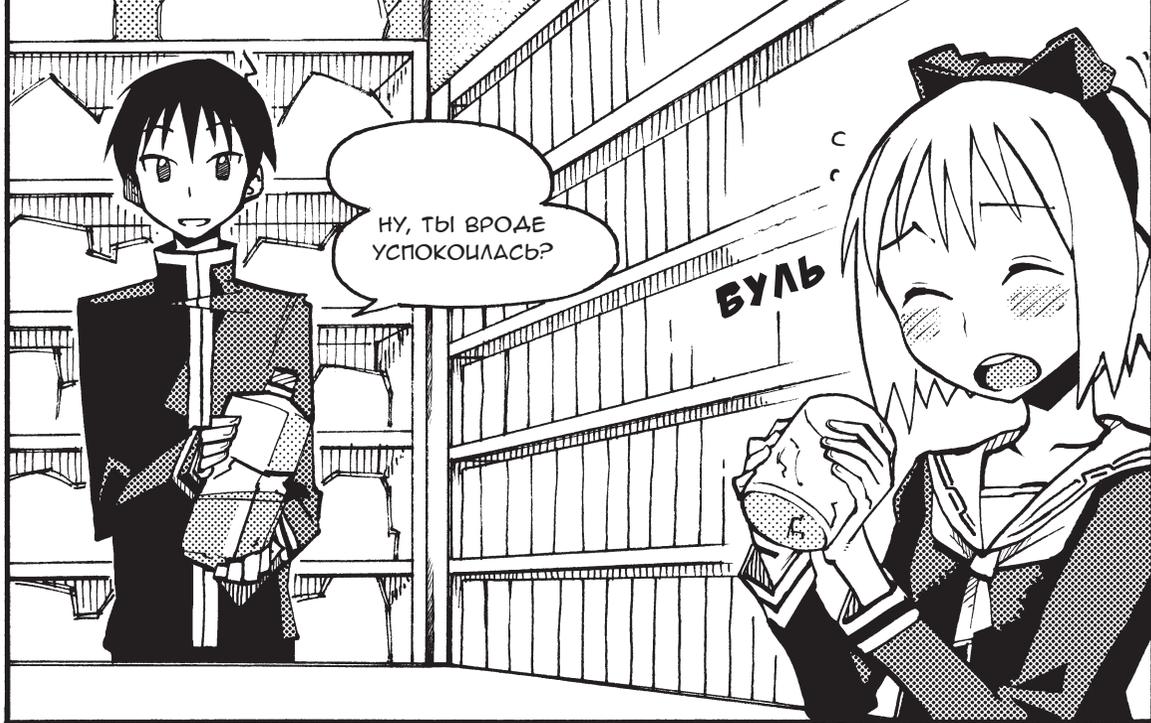
ГМ.
СТРАННАЯ КАКАЯ-ТО ...



1
ГЛАВА

ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ?
А ЧТО ЭТО ТАКОЕ?





НУ, ТЫ ВРОДЕ
УСПОКОИЛАСЬ?

БУЛЬ



ПРОСТИ!
ВСЁ УЖЕ
В ПОРЯДКЕ!

ЛУЧШЕ...
РАССКАЖИ МНЕ
ПРО ЭЛЕКТРОННЫЕ
СХЕМЫ?

ПРЯМО
СЕЙЧАС?

ВОТ ЭТО
ЭНТУЗИАЗМ!



НЕТ... Я ПРОСТО...
ХОЧУ ПОСЛУШАТЬ
ТВОЙ РАССКАЗ...

ТЕБЕ НЕ ТРУДНО?



ДА ЧТО ТЫ!
С УДОВОЛЬСТВИЕМ
РАССКАЖУ!



АХ!

1.1. ПРОИЗВОДНАЯ СУММЫ ФУНКЦИЙ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ СОДЕРЖАТ СЛЕДУЮЩИЕ ТРИ ВИДА ЭЛЕМЕНТОВ:

- РЕЗИСТОРЫ (СОПРОТИВЛЕНИЯ) (R)
- КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ (L)
- КОНДЕНСАТОРЫ (ЁМКОСТИ) (C)

Электрическая цепь (параллельная RLC-цепь)

ДАААА?

С ДРУГОЙ СТОРОНЫ, ЭЛЕКТРОННАЯ СХЕМА КРОМЕ РЕЗИСТОРОВ, КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ И КОНДЕНСАТОРОВ СОДЕРЖИТ ТАКЖЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ТАКИЕ КАК ТРАНЗИСТОРЫ, ДИОДЫ.

Электронная схема (линейный детектор)

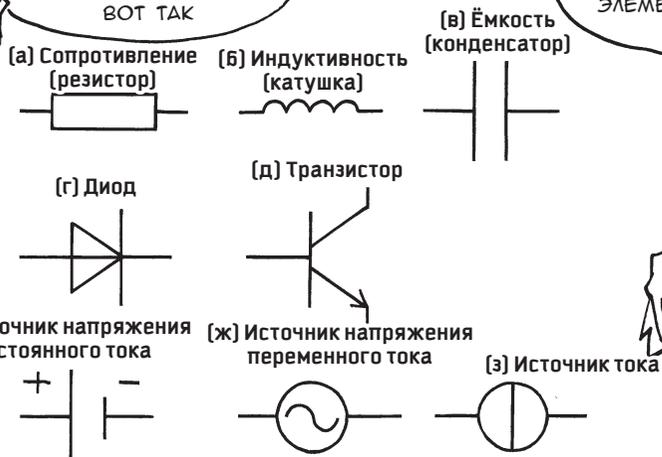
ОТЛИЧИЯ ЭЛЕМЕНТОВ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМАХ

ИХ ОТЛИЧИЯ МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ В ВИДЕ ВОТ ТАКОЙ ТАБЛИЦЫ!

Элементы	Единицы измерения	Электрические цепи	Электронные схемы
Сопротивления (R)	[Ом] (омы)	○	○
Катушки индуктивности (L)	[Гн] (генри)	○	○
Ёмкости (C)	[Ф] (фарады)	○	○
Диоды	Не определены однозначно	×	○
Транзисторы	Не определены однозначно	×	○
Другие полупроводниковые элементы	Не определены однозначно	×	○

ДАЛЕЕ НА ЧЕРТЕЖАХ ЭЛЕМЕНТЫ ОБОЗНАЧАЮТСЯ ВОТ ТАК

ЗНАЧИТ, ОНИ ОТЛИЧАЮТСЯ ТОЛЬКО СОСТАВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ?



НУ ТЕПЕРЬ, КОГДА МЫ РАЗОБРАЛИСЬ В ОТЛИЧИЯХ, ДАВАЙ ПОГОВОРИМ ПРО ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ!

ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ БЫВАЮТ САМЫЕ РАЗНЫЕ, НО ИХ ГРУБО МОЖНО РАЗДЕЛИТЬ НА ВОСЕМЬ ТИПОВ. Я ОПИШУ ОСОБЕННОСТИ КАЖДОГО ИЗ НИХ!

- (1) УСИЛИТЕЛИ
- (2) ГЕНЕРАТОРЫ
- (3) МОДУЛЯТОРЫ
- (4) ДЕМОДУЛЯТОРЫ
- (5) ФИЛЬТРЫ
- (6) ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ
- (7) ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ
- (8) ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

1.2. РАЗЛИЧНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ

<Усилители>





ТРЕТИМ ПУНКТОМ
У НАС ЦДУТ
МОДУЛЯТОРЫ.

ЧТОБЫ ПЕРЕДАТЬ
ЗВУКОВОЙ СИГНАЛ ДЛЯ
РАДИО ИЛИ ТЕЛЕВИЗОРА,
НЕОБХОДИМО НАЛОЖИТЬ
ЕГО НА РАДИОВОЛНУ,
КОТОРАЯ ИМЕЕТ ВЫСОКУЮ
ЧАСТОТУ КОЛЕБАНИЙ.

<Модуляторы>

ДЛЯ ЭТОГО С ПОМОЩЬЮ
ЭТОЙ СХЕМЫ ЧИНОГДА
ИЗМЕНЯЮТ АМПЛИТУДУ
РАДИОВОЛНЫ, А ЧИНОГДА -
ЧАСТОТУ.

АХ,
ВОТ КАК?

КСТАТИ,
АМПЛИТУДНУЮ
МОДУЛЯЦИЮ
ОБОЗНАЧАЮТ АМ,
А ЧАСТОТНУЮ - FM.
НУ КАК, ВСПОМНИЛА?

КОНЕЧНО, ЭТО ЖЕ
ОБЫЧНОЕ РАДИО!
КАК ПРОСТО!

