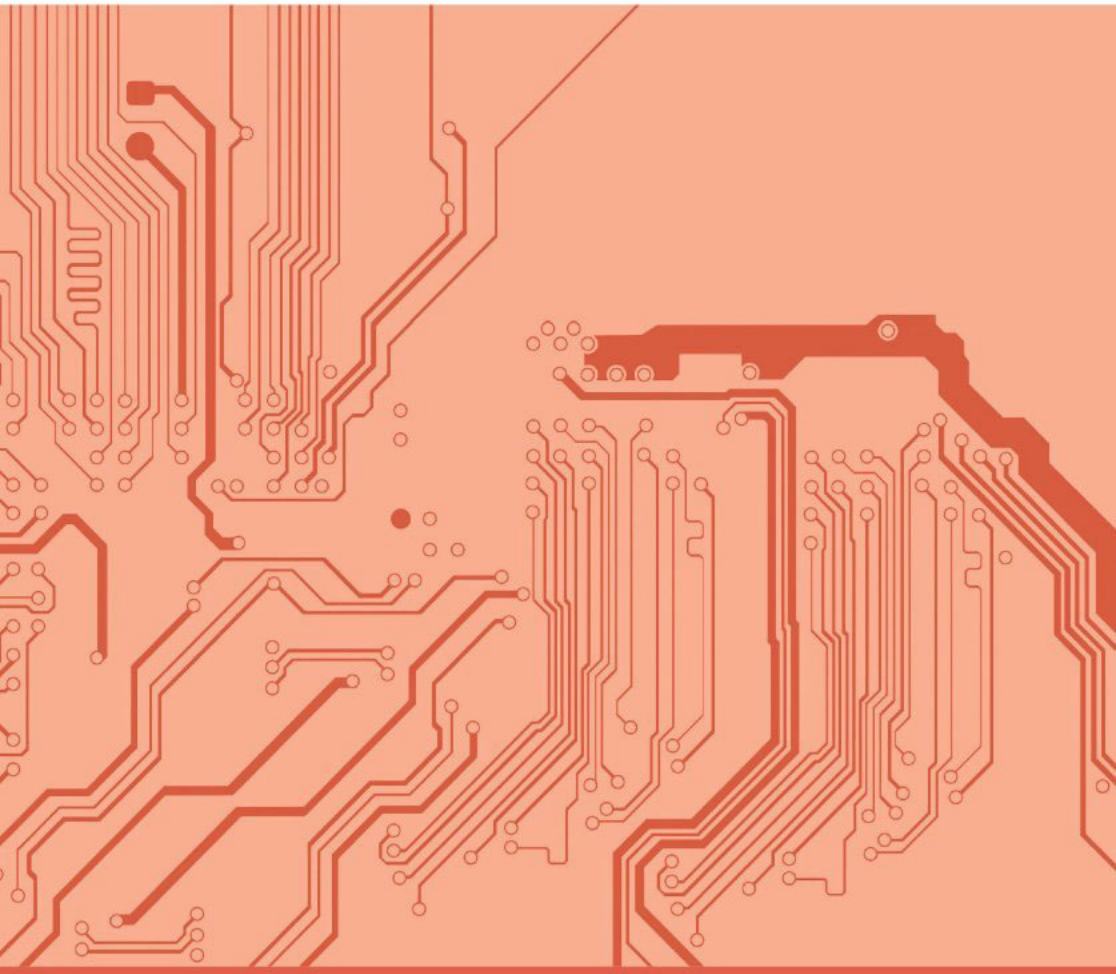
А. Л. ТИМОФЕЕВ

СХЕМОТЕХНИКА

СИГНАЛЫ И УСИЛИТЕЛИ



«Инфра-Инженерия»

А. Л. Тимофеев

СХЕМОТЕХНИКА

СИГНАЛЫ И УСИЛИТЕЛИ

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2024

УДК 621.391
ББК 32.85
Т41

Рецензент:
к. т. н., доцент Уфимского университета науки и технологий (УУНиТ)
Мешков И. К.

Тимофеев, А. Л.

Т41 Схемотехника. Сигналы и усилители : учебное пособие / А. Л. Тимофеев. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 76 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-1805-8

Кратко изложены основные понятия теории сигналов, классификация и характеристики усилителей, виды усилительных каскадов на биполярных и полевых транзисторах, их эквивалентные схемы и расчет, многокаскадные и интегральные усилители.

Для подготовки бакалавров и магистров по группе направлений и специальностей «Электроника, радиотехника и системы связи».

УДК 621.391
ББК 32.85

ISBN 978-5-9729-1805-8

© Тимофеев А. Л., 2024
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2024
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. СИГНАЛЫ ... 4
1.1. Общие понятия ... 4
1.2. Типы сигналов ... 6

Глава 2. ЭЛЕКТРОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ ... 10
2.1. Общие сведения об усилителях электрических сигналов, их основных параметрах и характеристиках ... 10
2.2. Искажения в усилителях ... 13
2.3. Усилительные каскады на биполярных транзисторах ... 15
2.3.1. Выбор режима работы транзистора ... 15
2.3.2. Стабилизация рабочей точки ... 18
2.3.3. Усилители с емкостной связью на транзисторах. Схема с общим эмиттером в области средних частот ... 24
2.3.4. Усилитель с ОЭ в области низких частот ... 28
2.3.5. Эквивалентная схема транзистора на высоких частотах ... 35
2.3.6. Усилитель с ОЭ в области высоких частот ... 39
2.3.7. Усилитель по схеме с ОБ ... 41
2.3.8. Особенности усилителя с ОБ в области высоких частот ... 43
2.3.9. Эмиттерный повторитель ... 44
2.4. Усилители на полевых транзисторах ... 47
2.4.1. Общие сведения о полевых транзисторах ... 47
2.4.2. Схема усилителя с общим истоком ... 53
2.4.3. Особенности схем с общим истоком и общим затвором ... 56

Глава 3. МНОГОКАСКАДНЫЕ УСИЛИТЕЛИ ... 59
3.1. Общие вопросы проектирования многокаскадных усилителей ... 59
3.2. Частотная характеристика многокаскадного усилителя ... 61
3.3. Многокаскадные усилители в интегральном исполнении ... 63

Глава 4. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ ... 67
4.1. Общие сведения о ДУ ... 67
4.2. ДУ с отрицательной обратной связью ... 69

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ... 72

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ... 73

Глава 1. СИГНАЛЫ

1.1. Общие понятия

Схемотехника – научно-техническое направление, занимающееся проектированием, созданием и отладкой (синтезом и анализом) электронных схем и устройств различного назначения.

В свою очередь, практически все (или все) электронные устройства предназначены для обработки сигналов.

Понятие сигнала. В технических отраслях знаний термин «сигнал» (signal, от латинского signum – знак) очень часто используется в широком смысловом диапазоне, без соблюдения строгой терминологии. Под ним понимают

- и техническое средство для передачи, обращения и использования информации – электрический, магнитный, оптический сигнал;
- и смысловое содержание определенного физического состояния или процесса, как, например, сигналы светофора, звуковые предупреждающие сигналы и т. п.

Под термином «сигнал» в узком смысле этого слова будем понимать упорядоченное *отображение* в изменении физического состояния какого-либо объекта – материального носителя сигнала.

Сигнал, в самом общем смысле, это и с математической точки зрения представляет собой функцию – зависимость одной величины от другой. Наиболее распространенное представление сигналов – в электрической форме в виде зависимости напряжения от времени U(t).

Сигнал – это информационная функция, несущая сообщение о физических свойствах, состоянии или поведении какой-либо физической системы, объекта или среды, а целью обработки сигналов можно считать извлечение определенных информационных сведений, которые отображены в этих сигналах и преобразование этих сведений в форму, удобную для восприятия и дальнейшего использования.

Под анализом или обработкой сигналов имеется в виду не только их чисто математические преобразования, но и получение на основе этих преобразований выводов о специфических особенностях соответствующих процессов и объектов.

Шумы и помехи (noise). При регистрации сигналов в сумме с основным сигналом одновременно регистрируются и мешающие сигналы – шумы и помехи самой различной природы. К помехам относят также искажения полезных

сигналов при влиянии различных дестабилизирующих факторов на процессы измерений, как, например, влияние грозовых разрядов на электрические методы измерений и т. п. Выделение полезных составляющих из общей суммы зарегистрированных сигналов или максимальное подавление шумов и помех в информационном сигнале при сохранении его полезных составляющих является одной из основных задач первичной обработки сигналов (результатов наблюдений).

Источники помех бывают внутренние и внешние.

Внутренние шумы обусловлены физической природой источников сигналов, как, например, тепловые шумы электронных потоков в электрических цепях или дробовые эффекты в электронных приборах, или возникают в измерительных устройствах и системах передачи и обработки сигналов от влияния различных дестабилизирующих факторов – температуры, повышенной влажности, нестабильности источников питания, влияния механических вибраций на гальванические соединения, и т. п.

Внешние источники шумов бывают искусственного и естественного происхождения. К искусственным источникам помех относятся индустриальные помехи – двигатели, переключатели, генераторы сигналов различной формы и т. д. Естественными источниками помех являются молнии, флуктуации магнитных полей, всплески солнечной энергии, и т. д.

Электрические и магнитные поля различных источников помех вследствие наличия индуктивных, емкостных и резистивных связей создают на различных участках и цепях сигнальных систем паразитные разности потенциалов и токи, накладывающиеся на полезные сигналы.

В зависимости от характера воздействия на сигнал помехи разделяют на аддитивные и мультипликативные. Аддитивные (налагающиеся) помехи суммируются с сигналом, не зависят от его значений и формы и не изменяют информативной составляющей самого сигнала. Мультипликативные или деформирующие помехи могут изменять форму информационной части сигнала, иметь зависимость от его значений и от определенных особенностей в сигнале и т. п. При известном характере мультипликативных помех возможна коррекция сигнала на их влияние.

Следует заметить, что деление сигналов на полезные и мешающие (шумовые) является достаточно условным. Источниками мешающих сигналов также являются определенные физические процессы, явления или объекты. При выяснении природы мешающих сигналов они могут переводиться в разряд информационных.

1.2. Типы сигналов

Выделяют следующие типы сигналов, которым соответствуют определенные формы их математического описания.

Аналоговый сигнал является непрерывной функцией непрерывного аргумента, т. е. определен для любого значения аргументов. Источниками аналоговых сигналов, как правило, являются физические процессы и явления, непрерывные в динамике своего развития во времени, в пространстве или по любой другой независимой переменной, при этом регистрируемый сигнал подобен («аналогичен») порождающему его процессу. Пример математической записи сигнала: $y(t) = 4.8 \exp[-(t-4)^2/2.8]$. При этом как сама функция, так и ее аргументы, могут принимать любые значения в пределах некоторых интервалов $y_1 \le \Delta y \le y_2$, $t_1 \le \Delta t \le t_2$. Если интервалы значений сигнала или его независимых переменных не ограничиваются, то по умолчанию они принимаются равными от $-\infty$ до $+\infty$. Множество возможных значений сигнала образует континуум – непрерывное пространство, в котором любая сигнальная точка может быть определена с точностью до бесконечности. Примеры сигналов, аналоговых по своей природе – изменение напряженности электрического, магнитного, электромагнитного поля во времени и в пространстве.

Дискретный сигнал по своим значениям также является непрерывной функцией, но определенной только по дискретным значениям аргумента. По множеству своих значений он является конечным (счетным) и описывается дискретной последовательностью отсчетов (samples) $y(n\Delta t)$, где $y_1 \le y \le y_2$, Δt – интервал между отсчетами (интервал или шаг дискретизации, sample time), $n = 0, 1, 2, ..., N$. Величина, обратная шагу дискретизации: $f = 1/\Delta t$, называется частотой дискретизации. Если дискретный сигнал получен дискретизацией аналогового сигнала, то он представляет собой последовательность отсчетов, значения которых в точности равны значениям исходного сигнала по координатам $n\Delta t$.

Цифровой сигнал квантован по своим значениям и дискретен по аргументу. Задается цифровой сигнал, как правило, в виде дискретного ряда числовых данных – числового массива по последовательным значениям аргумента при $\Delta t = const$, но в общем случае сигнал может задаваться и в виде таблицы для произвольных значений аргумента.

Цифровой сигнал конечен по множеству своих значений. Процесс преобразования бесконечных по значениям аналоговых отсчетов в конечное число цифровых значений называется квантованием по уровню, а возникающие при квантовании ошибки округления отсчетов (отбрасываемые значения) – шумами или ошибками квантования.

В системах цифровой обработки данных и в ЭВМ сигнал всегда представлен с точностью до определенного количества разрядов, а, следовательно, всегда является цифровым. С учетом этих факторов при описании цифровых сигналов функция квантования обычно опускается (подразумевается равномерной по умолчанию), а для описания сигналов используются правила описания дискретных сигналов. Что касается формы обращения цифровых сигналов в системах хранения, передачи и обработки, то, как правило, они представляет собой комбинации коротких одно- или двуполярных импульсов одинаковой амплитуды, которыми в двоичном коде с определенным количеством числовых разрядов кодируются числовые последовательности сигналов (массивов данных).

Аналого-цифровое преобразование сигналов

Процедура аналого-цифрового преобразования непрерывных сигналов представляет собой преобразование непрерывной функции времени $U(t)$, описывающей исходный сигнал, в последовательность чисел $\{U'(t_j)\}$, $j = 0, 1, 2,:$, отнесенных к некоторым фиксированным моментам времени. Эту процедуру можно разделить на две самостоятельные операции. Первая из них называется дискретизацией и состоит в преобразовании непрерывной функции времени $U(t)$ в непрерывную последовательность $\{U(t_j)\}$. Вторая называется квантованием и состоит в преобразовании непрерывной последовательности в дискретную $\{U'(t_j)\}$.

Эта процедура выполняется аналого-цифровым преобразователем – АЦП (ADC – Analog-to-Digital Converter).

Дискретизация – это представление непрерывной функции (т. е. какого-то сигнала) в виде ряда дискретных отсчетов. По-другому можно сказать, что дискретизация – это преобразование непрерывной функции в непрерывную последовательность.

Наиболее распространена равномерная дискретизация. В этом случае непрерывный сигнал S(t) подвергается разбиению на равные промежутки времени Δt. Этот промежуток есть шаг или период дискретизации. В результате получается последовательность отсчетов (дискретных) с шагом в Δt. Величина, обратная периоду дискретизации – частота дискретизации $f_д$.

Период дискретизации выбирается из условия:

$$\Delta t = 1/2F_в,$$

где $F_в$ – максимальная частота спектра сигнала. Это выражение есть не что иное, как теорема Котельникова, которая гласит: ***Любой непрерывный сигнал можно абсолютно точно восстановить на выходе идеального полосового фильтра (ПФ) с полосой $F_в$, если дискретные отсчеты взяты через интервал***