

М. Б. Коломейцева, В. М. Беседин, Т. В. Ягодкина

ОСНОВЫ ИМПУЛЬСНОЙ И ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА**

2-е издание, исправленное и дополненное

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по инженерно-техническим направлениям*

**Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru**

Москва ■ Юрайт ■ 2018

УДК 621.374(075.8)
ББК 32.842я73
К61

Авторы:

Коломейцева Маргарита Борисовна — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры управления и информатики Института автоматизации и вычислительной техники Национального исследовательского университета «МЭИ»;

Беседин Валерий Михайлович — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры управления и информатики Института автоматизации и вычислительной техники Национального исследовательского университета «МЭИ»;

Ягодкина Татьяна Владимировна — доцент, кандидат технических наук, профессор кафедры управления и информатики Института автоматизации и вычислительной техники, профессор кафедры менеджмента в энергетике и промышленности Инженерно-экономического института Национального исследовательского университета «МЭИ».

Коломейцева, М. Б.

К61 Основы импульсной и цифровой техники : учеб. пособие для академического бакалавриата / М. Б. Коломейцева, В. М. Беседин, Т. В. Ягодкина. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 124 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс).

ISBN 978-5-534-06429-2

В пособии представлены основные теоретические положения анализа и синтеза линейных импульсных и цифровых систем. Рассмотрены свойства и теоремы дискретного преобразования Лапласа, вопросы определения временных и частотных характеристик, понятие и оценка устойчивости, синтез систем с заданными свойствами.

Содержание учебника соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям.

УДК 621.374(075.8)
ББК 32.842я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

© Беседин В. М., Ягодкина Т. В.,
Коломейцева М. Б., 2007

© Беседин В. М., Ягодкина Т. В.,
Коломейцева М. Б., 2018, с изменениями
© ООО «Издательство Юрайт», 2018

ISBN 978-5-534-06429-2

Оглавление

Предисловие	5
Глава 1. Общие сведения о дискретных системах автоматического управления	8
1.1. Квантование сигнала	8
1.2. Классификация дискретных систем управления	9
1.3. Типовая структура импульсной САУ. Представление сигнала при АИМ	10
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	14
Глава 2. Методы описания импульсных систем	15
2.1. Решетчатая функция, дискретное преобразование Лапласа	15
2.2. Свойства и теоремы дискретного преобразования Лапласа	19
2.3. Описание ИСАУ в области изображений. Дискретная передаточная функция	26
2.4. Описание ИСАУ во временной области. Определение значений временных сигналов	30
2.5. Временные характеристики	37
2.6. Спектр сигнала при амплитудно-импульсной модуляции	39
2.7. Частотные характеристики разомкнутой ИСАУ	42
2.8. Условия, когда импульсную систему автоматического управления можно исследовать методами непрерывных систем	51
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	53
Глава 3. Переменные состояния в импульсных системах	54
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	60
Глава 4. Анализ импульсных систем	61
4.1. Понятие устойчивости, необходимые и достаточные условия устойчивости	61
4.2. Алгебраический критерий устойчивости Гурвица	64
4.3. Частотные критерии устойчивости	67
4.4. Прямые показатели качества управления в импульсных системах	74

4.5. Системы с конечной длительностью переходного процесса	78
4.6. Оценка точности обработки задающего воздействия замкнутой импульсной системой	79
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	82
Глава 5. Синтез импульсных систем	83
5.1. Постановка задачи синтеза и способ реализации корректирующего устройства	83
5.2. Условие осуществимости и грубости ИСАУ	84
5.3. Основные уравнения аналитического синтеза	86
5.4. Синтез корректирующих устройств на основе ЛАЧХ	90
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	95
Глава 6. Случайные воздействия в импульсных системах	96
6.1. Основные характеристики случайных процессов при квантовании по времени	96
6.2. Расчет точности работы ИСАУ при случайных воздействиях	102
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	106
Глава 7. Цифровые системы автоматического управления	107
7.1. Особенности сигналов и элементов в САУ с ЦВМ	107
7.2. Структурная схема ЦАС	109
7.3. Цифровая коррекция непрерывных САУ	115
7.4. Учет влияния эффекта от квантования по уровню на работу ЦАС	119
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	121
Литература	122
Новые издания по дисциплине «Основы импульсной и цифровой техники» и смежным дисциплинам	123

Предисловие

В настоящем пособии рассматриваются основные теоретические положения анализа и синтеза линейных импульсных и цифровых систем.

В первой главе пособия приводятся общие сведения о дискретных системах автоматического управления. В ней рассматриваются виды квантования сигналов, классификация дискретных систем управления, структура таких систем и представление сигнала при амплитудной импульсной модуляции.

Вторая глава посвящена методам описания импульсных систем. В ней рассмотрены свойства и теоремы дискретного преобразования Лапласа, описания импульсных систем в различных областях, дискретная передаточная функция, временные характеристики таких систем, спектры сигналов, частотные характеристики. Кроме того, в главе приводятся условия, позволяющие исследовать импульсную систему автоматического управления методами непрерывных систем.

В третьей главе разбираются переменные состояния в импульсных системах, позволяющие представить описание импульсной системы в виде системы разностных уравнений первого порядка.

Четвертая глава содержит основы анализа импульсных систем. В главе вводится понятие устойчивости, ее условия и критерии ее оценки, в частности, критерий Гурвица, частотные критерии (Михайлова, Найквиста). Рассматриваются показатели качества работы импульсной системы автоматического управления и оценка точности замкнутых импульсных систем.

Пятая глава посвящена синтезу импульсных систем с заданными свойствами.

В шестой главе рассмотрены случайные воздействия в импульсных системах, приводятся основные характеристики случайных процессов при квантовании по времени, примеры расчетов точности работы систем при таких воздействиях.

Заключительная, седьмая, глава пособия посвящена цифровым системам автоматического управления.

После освоения материала пособия студенты должны:

знать

- принцип действия электронных компонентов;
- алгоритмы работы основных логических схем;
- принципы действия и схемотехнику импульсных и цифровых устройств;
- математические модели электронных компонентов, а также построение эквивалентных схем для различных режимов работы;
- особенности расчета узлов электронных устройств;
- основные параметры импульсных и цифровых устройств.
- основные теоремы и свойства математического аппарата для расчета дискретных САУ;
- временные и частотные характеристики импульсных систем;
- условия, при которых импульсные САУ можно исследовать методами непрерывных систем;

уметь

- анализировать прохождение импульсных сигналов через линейные и нелинейные цепи;
- пользоваться законами Булевой алгебры;
- экспериментально определять параметры импульсных и цифровых устройств.
- синтезировать простые логические схемы.
- составлять структурные схемы для импульсных САУ;
- определять передаточные функции импульсных САУ;
- исследовать качество работы импульсных САУ;

владеть

- навыками математически описывать физические процессы, происходящие в электронных устройствах;
- способами правильно выбирать элементную базу для построения аппаратуры;
- методами анализа и синтеза электронных устройств с учетом особенностей работы полупроводниковых приборов и микросхем в различных режимах и частотных диапазонах их применения;
- навыками описания импульсных САУ во временной и частотной областях;
- методами определения устойчивости импульсных САУ;
- навыками построения частотных характеристик импульсных САУ;
- навыками работы с учебной и научной литературой.

Учебное пособие будет полезно для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям.

Глава 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

1.1. Квантование сигнала

Процессы передачи и преобразования сигналов лежат в основе работы систем связи, контроля и управления. Известные способы передачи сигналов можно разделить на непрерывные и дискретные. При непрерывном способе передается и преобразуется *каждое мгновенное значение* сигнала. При дискретизации (квантовании) сигнала проводится замена *непрерывных его значений дискретными, выбранными по заданному правилу*. Дискретизация может быть осуществлена *по времени, уровню или времени и уровню*.

На рис. 1.1 представлены все три вида квантования сигнала, здесь точками отмечены его дискретные значения. При квантовании по времени выделяются значения сигнала в заранее фиксированные моменты времени, отстоящие друг от друга на постоянное значение T , называемое периодом квантования (см. рис. 1.1). Квантование по уровню соответствует выделению значений сигнала при достижении им заранее фиксированных уровней, отстоящих друг от друга на постоянное значение , называемое интервалом квантования по уровню. Дискретизация сигнала по времени и уровню соответствует выделению в заранее фиксированные моменты времени значений сигнала, ближайших к заранее фиксированным уровням (см. рис. 1.1). Типичный пример квантования по времени представляет собой кинолента, а примером квантования по времени и уровню (по аргументу и функции) служат таблицы и сигналы в цифровых системах, использующих ЭВМ.

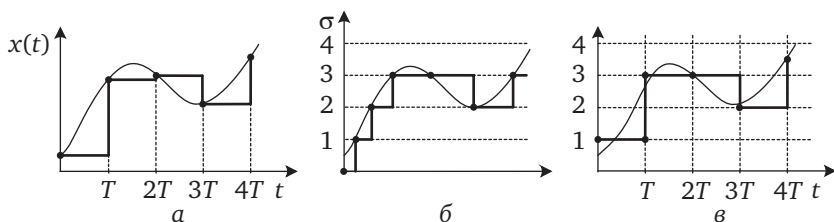


Рис. 1.1

Дискретный способ передачи и преобразования информации обеспечивает высокую помехозащищенность сигнала и в связи с этим позволяет повысить точность работы системы. Кроме того, при дискретизации возможна передача большого числа сигналов по одному каналу.

Дискретные системы в настоящее время получили широкое распространение. Большая часть из них является дискретной по своей физической природе, т.е. информация в этих системах существует только в дискретные моменты времени. К ним относятся процессы в социальных и экономических сферах, ряд биологических и физических явлений, а также большое число технических систем, где дискретизация сигнала является одной из основ принципа действия. Существует и вторая категория дискретных систем, в которых информация существует непрерывно, но специально квантуется, что обеспечивает ряд достоинств и новых возможностей по сравнению с непрерывными системами. К ним относятся повышение надежности, увеличение точности, уменьшение габаритов и стоимости, новое решение структуры элементов систем автоматического управления.

1.2. Классификация дискретных систем управления

Системы автоматического управления (САУ), работающие с дискретным сигналом, в зависимости от вида квантования классифицируются следующим образом:

- 1) импульсные системы, в которых происходит квантование по времени;
- 2) релейные системы, в которых происходит квантование по уровню;
- 3) цифровые системы, в которых происходит квантование по времени и уровню.

В квантованном по времени сигнале носителем информации является импульс произвольной формы $S(t)$, $t \in [0, T]$. Значение дискретизируемого сигнала передается параметром импульса. Это может быть амплитуда импульсов при постоянной его ширине, ширина импульсов при постоянной амплитуде, частота импульсного сигнала или фаза при постоянной ширине и амплитуде. Применительно к перечисленным вариантам, имеет место амплитудная (АИМ), широтная (ШИМ), частотная (ЧИМ) или фазовая (ФИМ) импульсные модуляции.

Если модулируемый параметр последовательности импульсов определяется значениями входного сигнала в фиксированные равноотстоящие моменты времени и остается постоянным в течение времени существования импульса, то такой вид модуляции называется *импульсной модуляцией первого рода*. В отличие от этого типа возможны случаи, когда модулируемый параметр последовательности импульсов в течение времени существования импульса изменяется в соответствии с текущим значением входного сигнала. Такой вид модуляции называется *импульсной модуляцией второго рода*. Примером систем с модуляцией второго рода являются системы прерывистого регулирования (системы с конечным временем замыкания импульсного элемента).

Системы автоматического управления в зависимости от вида импульсной модуляции подразделяются на амплитудно-импульсные (АИС), широтно-импульсные (ШИС), фазо-импульсные (ФИС) и частотно-импульсные (ЧИМ) системы.

1.3. Типовая структура импульсной САУ. Представление сигнала при АИМ

Импульсные системы с амплитудно-импульсной модуляцией являются наиболее распространенными, и поэтому при их обозначении, как правило, форма модуляции не указывается. Процесс квантования и импульсной модуляции в системе осуществляется импульсным элементом (ИЭ), который преобразует непрерывно изменяющуюся величину, поступающую на его вход, в последовательность модулированных по амплитуде импульсов. Основными параметрами импульсного элемента являются коэффициент усиления $k_{\text{и}}$ (статическая характеристика), период квантования (или частота кванто-

вания $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$), длительность импульсов (или скважность)

и форма выходных импульсов $S(t)$. Зависимость амплитуды выходной импульсной последовательности от соответствующих дискретных значений входной величины называется статической характеристикой ИЭ. Эта характеристика может быть линейной и нелинейной. В диапазоне линейности крутизна характеристики определяет коэффициент усиления импульсного элемента (ИЭ) как отношение значения модулируемого параметра (в рассматриваемом случае амплитуды A) выходной последовательности импульсов к соответствующему дискретному значению $x(T)$ входной величины ИЭ.

$$k_{\text{и}} = \frac{A(T)}{x(T)} = \text{tg}\alpha. \quad (1.1)$$

Непрерывная часть, входящая в состав импульсной системы, представляет собой динамическую систему, физическая природа которой может быть различной: электрическая, механическая, гидравлическая, термодинамическая, с распределенными и сосредоточенными параметрами. Ее математическое описание может быть линейным, нелинейным с постоянными и переменными параметрами.

В дальнейшем будем рассматривать линейные импульсные системы, где непрерывная часть (НЧ) описывается линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами. Простейшая функциональная блок-схема замкнутой ИСАУ представлена на рис. 1.2.

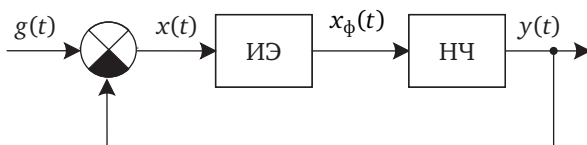


Рис. 1.2

Функциональная роль обозначенных сигналов понятна из рис. 1.2, а относительно их свойства следует сказать: сигналы $g(t)$, $x(t)$, $y(t)$ непрерывные, сигнал $x_{\phi}(t)$ дискретный и представляет собой последовательность модулированных импульсов. Дискретность сигнала $x_{\phi}(t)$ отмечена звездочкой, а индекс « ϕ » указывает, что импульсы модулирующей после-

довательности имеют определенную форму. Как показывает практика, форма используемых импульсов может быть весьма разнообразной, что и продемонстрировано на рис. 1.3.

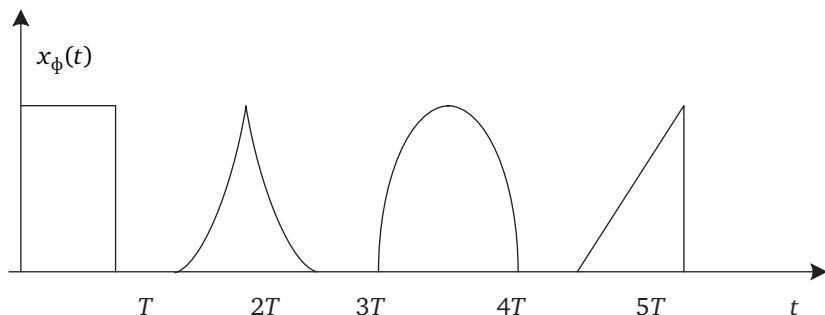


Рис. 1.3

Совершенно очевидно, что форма импульса окажет влияние на динамику процессов в ИСАУ, что должно быть учтено в описании системы. В настоящее время во всех методиках по исследованию импульсных систем принято представлять ИЭ в виде двух звеньев: идеального импульсного элемента (ИИЭ), генерирующего последовательность $\delta[t - lT]$ функций [11, 12], и формирователя с передаточной функцией $W_\phi(p)$. Известно, что если на вход звена с заданной передаточной функцией подать сигнал, имитирующий $\delta(t)$, то на выходе получим весовую функцию этого звена в виде $w(t)$. Следовательно, нужно подобрать звено-формирователь с передаточной функцией $W_\phi(p)$ таким образом, чтобы его весовая функция $w_\phi(t)$ имела форму модулируемых импульсов, тогда два звена, ИИЭ и $W_\phi(p)$, достаточно точно будут представлять реальный импульсный элемент.

Самая распространенная форма сигнала при АИМ — прямоугольный импульс длительности γT , где $0 < \gamma \leq 1$, и условной единичной амплитуды. Аналитически можно записать

$$x_\phi(t) = 1_0(t) - 1_0(t - \gamma T),$$

или

$$x_\phi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < \gamma T; \\ 0 & \gamma T \leq t \leq T. \end{cases}$$