

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

В.Т. Долбня, Т.В. Миланич

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Утверждено
редакционно-издательским
Советом университета,
протокол № 4 от 07.12.2001 г.

Харьков НТУ «ХПИ» 2002

ББК 65.304.15
Д64
УДК 621.382

Рецензенты:

В.Б. Павлов, д-р техн. наук, ИЭД НАН Украины
Б.И. Кузнецов, д-р техн. наук, проф. УИПА

Долбня В.Т., Миланич Т.В.
Д64 Современные методы анализа электрических и электромеханических систем: Учебн. пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – С. 92 – Русск. яз.
ISBN 966-593-248-9

Изложены получившие в последнее время широкое распространение новые методы анализа электрических цепей и систем: направленные графы, топологические методы исследования установившихся и переходных процессов. Рассмотрены элементы синтеза, а именно методы проверки функций на физическую реализуемость, дано представление о применении математического аппарата цепных дробей для анализа, упрощения и синтеза систем. Изучаемый материал сопровождается конкретными примерами.

Пособие рассчитано на студентов специальностей 7092203 «Электромеханические системы автоматизации и электропривод» и 7090803 «Электронные системы», а также на инженеров-электриков.

Викладено нові методи аналізу електричних та електромеханічних систем, які одержали в останній час широке розповсюдження: напрямлені графи, топологічні методи дослідження установившихся та перехідних процесів. Розглянуто елементи синтезу, а саме методи перевірки функцій на фізичну реалізованість, наведено уявлення щодо застосування математичного апарату ланцюгових дробів для аналізу, спрощення та синтезу систем. Матеріал, що викладається, супроводжується конкретними прикладами.

Посібник розраховано на студентів спеціальностей 7092203 «Електромеханічні системи автоматизації і електропривод» і 7090803 «Електронні системи», а також на інженерів-електриків.

Ил.35. Библиогр. 9 назв.

ББК 65.304.15

ISBN 966-593-248-9

Долбня В.Т.
© Миланич Т.В.,
2002 р.

СОДЕРЖАНИЕ

Вступление	5
1. Направленные графы	7
1.1. Графы простейших электрических схем	7
1.2. Правила составления графов сложных электрических цепей	10
1.3. Общая формула передачи графа	14
1.4. Примеры анализа цепей при помощи графов	17
1.5. Инверсия графа	18
1.6. Преимущества метода графов перед общепринятыми	22
1.7. Применение графов для анализа структурных схем электроприводов	26
1.7.1. Составление структурной схемы электропривода и получение из нее передаточных функций	26
1.7.2. Получение передаточных функций непосредственно по виду структурной схемы	34
1.8. Пример анализа сложной электромеханической системы при помощи направленных графов	37
2. Ненаправленные графы. Топологический анализ электрических цепей	39
2.1. Основные положения топологического метода	39
2.2. Основные определения и понятия топологического метода	40
2.3. Определитель сложной схемы и его нахождение	42
2.4. Примеры анализа линейных схем топологическим методом	44
3. Топологический анализ переходных процессов в электрических цепях	49
4. Проверка функций линейных цепей и систем на физическую реализуемость	62
4.1. Общие вопросы задачи синтеза	62

4.2. Параметры и функции электрических цепей	63
4.3. Полюсы и нули функций пассивных электрических цепей	64
4.4. Свойства полюсов функции линейной цепи	65
4.5. Функции двухполосника	67
4.6. Методы проверки ПФФ двухполосников	68
4.6.1. Проверка ПФФ по внешнему виду	68
4.6.2. Проверка ПФФ по расположению полюсов и нулей	70
4.6.3. Проверка ПФФ по поведению ее вещественной части	76
4.7. Пример проверки на реализуемость функции двухполосника	78
4.8. Свойства функций пассивного четырехполосника	80
4.9. Нули и полюсы функции четырехполосника и требования к передаточной функции реализуемого четырехполосника	82
5. Упрощение передаточных функций электромеханических систем при помощи цепных дробей	84
5.1. Разложение в цепную дробь передаточной функции	87
Список литературы	91

ВСТУПЛЕНИЕ

Автоматизированные системы управления все шире используются в самых разнообразных устройствах и установках, подвергаясь постоянному обновлению и усовершенствованию, что неизбежно влечет за собой усложнение самих систем. Это, в свою очередь, требует разработки и применения более современных и эффективных методов анализа и расчета. В частности, на протяжении последних сорока лет в инженерную практику прочно внедряются топологические методы анализа (направленные и ненаправленные графы), основанные на графическом изображении соотношений между различными переменными, характеризующими состояние системы.

Направленные и ненаправленные графы (последние обычно относят к собственно топологическим методам) позволяют составить оптимальную с точки зрения экономичного использования ЭВМ программу решения той или иной задачи. При этом полностью отпадает необходимость в составлении уравнений или матриц и последующих действий над ними. Решения находят непосредственно по изображению объекта или схемы цепи. Топологические методы успешно применяются также и для анализа переходных процессов в электрических и электронных цепях.

Широкое внедрение средств автоматизации требует от специалистов глубоких знаний в области научно обоснованного проектирования и исследования электрических и электромеханических систем. Получение требуемых знаний невозможно без ознакомления с основами синтеза отдельных звеньев, которые могут отличаться от типовых. Обычно студенты электротехнических специальностей, достаточно подробно изучая методы анализа в курсах теоретической электротехники и последующих специальных курсах, недостаточно знакомятся с элементами синтеза.

Под синтезом подразумевается операция, обратная анализу. Заданной величиной считается реакция звена на какое-либо воздействие. Требуется создать соответствующую схему.

Настоящее пособие не претендует на изложение теории синтеза электрических цепей и систем, это достаточно сложная дисциплина и далеко не во всех высших учебных заведениях она изучается в необходимом объеме. Задача синтеза обладает двумя трудно преодолимыми трудностями:

- не обязательно существует схема, обладающая именно такой переходной характеристикой, которая требуется;
- если схема и существует, то она не является единственной, решение будет неоднозначным.

В данном пособии излагается только один этап синтеза — проверка заданной функции на физическую реализуемость.

На практике при составлении структурной схемы какого-либо устройства возникает необходимость введения некоторого нетипового звена, обладающего определенной характеристикой. До того как приступить к поискам схемного решения, следует убедиться, что эта задача в принципе разрешима. Инженер-проектировщик должен быть уверен, что предлагаемая им схема реализуема, поэтому этот вопрос студентам необходимо изучить в процессе обучения.

Существующие в настоящее время схемы электромеханических систем достаточно сложны, что представляет заметные, а иногда и непреодолимые трудности для анализа. В то же время существующую сложную схему можно заменить более простой для анализа, но имеющей такие же свойства, что и исходная сложная. Среди различных способов упрощения схем или хотя бы их передаточных функций заметными преимуществами обладает математический аппарат цепных дробей. Этот вопрос также рассматривается в настоящем пособии.

1 НАПРАВЛЕННЫЕ ГРАФЫ

История математики свидетельствует о различных способах и правилах выполнения необходимых математических действий. В древние века эти правила излагались в довольно громоздкой словесной форме, не всегда содержали общие рекомендации, а чаще всего описывали решение одной какой-либо конкретной задачи. Начиная с XVI века появляется абстрактная математическая символика, при помощи которой правила выполнения математических действий представляются в виде соответствующих формул, обладающих общностью для различных задач данного класса. Формульная символика, развиваясь и совершенствуясь, широко применяется и в настоящее время.

Появившийся сравнительно недавно метод графов основан не на буквенной, а на рисуночной форме записи математических действий: взаимосвязь между величинами или любую систему уравнений можно изобразить в виде специального рисунка, называемого *г р а ф о м*. Применение графов к анализу электрических и электронных цепей наиболее полно было изложено в трудах С. Мэзона [1]. Оказалось, что из такого рисунка гораздо проще получать всевозможные схемные или системные функции, нежели путем решения системы уравнений, представленной в символьной алгебраической или в матричной форме.

Граф представляет собой совокупность точек, называемых вершинами, или *у з л а м и*, и линий, соединяющих некоторые из этих точек. Линии называются *ребрами* или *в е т в я м и* графа. Если ветвям приписаны направления, граф называется *направленным*, в противном случае — *ненаправленным*. Граф, отражающий систему линейных уравнений, называется *линейным*. В настоящей главе рассматриваются только линейные графы.

1.1 Графы простейших электрических схем

Пусть к резистору с сопротивлением R (рис.1) приложено напряжение u , что вызывает появление тока $i = \frac{1}{R}u$. Это уравнение в алгебраической форме представляет собой взаимосвязь между переменными u и i через параметр R .

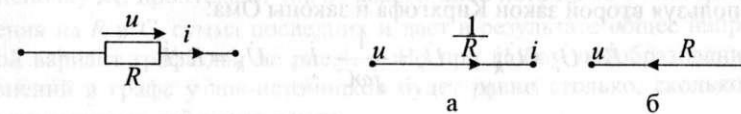


Рисунок 1

Рисунок 2

Если обратиться к приближенной функции $W'(p)$ и определить коэффициенты полинома знаменателя по приведенным выше формулам, получим

$$\begin{aligned} c_5 &= 0,197; \\ d_4 &= 24,72; \\ f_3 &= 1,54 \cdot 10^3. \end{aligned}$$

Упрощенная функция будет иметь вид

$$W'(p) = \frac{b_3}{a_6 p^3 + c_5 p^2 + d_4 p + f_3} = \frac{2,41 \cdot 10^4}{7,89 \cdot 10^{-4} p^3 + 0,197 p^2 + 24,72 p + 1,54 \cdot 10^3},$$

полосы которой $p_1 = -124,58$; $p_{2,3} = -62,5 \pm j108,8$.

Если сравнить их с полюсами исходной функции 6-го порядка, то можно увидеть, что упрощенная функция почти в точности сохранила три полюса. Выпали полюсы $p_1 = -12,56$; $p_{3,4} = -352 \pm j355$, которые мало сказываются на общем характере переходного процесса.

Так как переходная характеристика в основном определяется полюсами функции, то можно утверждать, что приближенная характеристика довольно точно совпадет с исходной.

Здесь мы ограничимся лишь числовым примером. Однако упрощенную передаточную функцию можно получить и в символьном виде через параметры цепи, как это было сделано в работе [9]. При этом приближенная характеристика укажет, какие из элементов сложной схемы являются определяющими, а какими можно пренебречь, упростив схему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мэзон С., Циммерман Г. Электронные цепи, сигналы и системы / Пер. с англ. — М.: Изд-во иностр. лит., 1963. — 620 с.
- 2 Робишо Л., Буавер М., Робер Ж. Направленные графы и их приложение к электрическим цепям и машинам / Пер. с франц. — М.; Л.: Энергия, 1964. — 248 с.
- 3 Абрахамс Дж., Каверли Дж. Анализ электрических цепей методом графов / Пер. с англ. — М.: Мир, 1967. — 174 с.
- 4 Ильинский Н.Ф. Цаценкин В.К. Приложение теории графов к задачам электромеханики: — М.: Энергия, 1968. — 200 с.
- 5 Долбня В.Т. Топологические методы исследования переходных процессов в электрических и электронных цепях: Учеб. пособие. — Харьков: Харьк. политехн. ин-т, 1982. — 84 с.
- 6 Гиллемин Э.А. Синтез пассивных цепей / Пер. с англ. — М.: Связь, 1970. — 720 с.
- 7 Долбня В.Т. Математическое описание свойств функций электрических цепей: Учеб. пособие. — К.: УМК ВО, 1991. — 70 с.
- 8 Хованский А.Н. Приложение цепных дробей и их обобщений к вопросам приближенного анализа: — М.: ГИТТГ, 1956. — 203 с.
- 9 Долбня В.Т. Топологический синтез и упрощение сложных схем высокого порядка с использованием цепных дробей // Электротехника. — 1999. — № 5.

Навчальне видання

ДОЛБНЯ Віктор Тимофійович

МИЛАНІЧ Тетяна Вікторівна

**СУЧАСНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРИЧНИХ
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ**

Навчальний посібник

Російською мовою

Роботу до друку рекомендував В.І. Міліх

Редактори: М.П. Єфремова

Л.Л. Яковлева

Коректор О.І. Шпильова

План 2001 р., поз. 1

Підп. до друку 01.04.2002 р. Формат 60х84 1/16. Папір Могра.

Друк – ризографія. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 4,1.

Облік.-вид. арк. 5,7. Наклад 200 прим. Зам. № 136. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ "ХП". Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ "ХП"