

Э. С. Астапенко, Ю. А. Орлов

**ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
АНАЛИЗА И РАСЧЕТА
ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

Э.С. Астапенко, Ю.А. Орлов

**ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
АНАЛИЗА И РАСЧЕТА
ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**

Учебное пособие

Томск
Издательство ТГАСУ
2019

УДК 621.3.011.7 (075.8)

ББК 31.211я73

Астапенко, Э.С. Графоаналитические методы анализа
А91 и расчета линейных электрических цепей : учебное пособие /
Э.С. Астапенко, Ю.А. Орлов. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-
строит. ун-та, 2019. – 84 с. – Текст : непосредственный.
ISBN 978-5-93057-901-7

В учебном пособии рассмотрены основные понятия и законы электротехники, приведены примеры расчета и анализа электрических цепей постоянного тока, однофазных и трехфазных цепей переменного тока графоаналитическими методами, являющимися наиболее простыми и наглядными для понимания сути процессов, происходящих в электрических цепях.

Пособие предназначено для студентов неэлектрических специальностей, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров «Строительство» и «Наземные транспортно-технологические комплексы», учебные планы которых содержат дисциплины «Электротехника с основами электроснабжения», «Общая электротехника и электроника».

Настоящее пособие предназначено для студентов всех форм обучения и рекомендовано к использованию при выполнении контрольных работ и индивидуальных расчетно-графических работ.

УДК 621.3.011.7 (075.8)

ББК 31.211я73

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент отделения электроэнергетики и электротехники инженерной школы энергетики ФГАОУВО НИ ТПУ
П.Р. Баранов;

канд. техн. наук, доцент кафедры общей электротехники и автоматизации ТГАСУ **Д.П. Столяров.**

ISBN 978-5-93057-901-7

© Томский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2019

© Астапенко Э.С.,
Орлов Ю.А., 2019

ВВЕДЕНИЕ

Среди студентов строительных вузов и некоторых работников строительных организаций можно услышать, что знание электротехники не обязательно и не влияет на качество выполняемой работы. Однако государственные образовательные стандарты направления подготовки «Строительство» требуют формирования компетенций в области инженерных систем зданий и сооружений, осуществить которые невозможно без знаний в области электротехники.

Потребителями электрической энергии сегодня являются не только промышленные предприятия, сельское хозяйство, транспорт, но и объекты коммунально-бытового назначения и строительства.

На строительных площадках электрическую энергию широко используют при возведении производственных помещений, специальных сооружений, жилых и общественных зданий.

Около 70 % потребляемой электрической энергии в строительстве идет на питание электродвигателей строительных машин и оборудования, таких как башенные, мостовые, козловые краны, строительные подъемники, ленточные транспортеры, бетононасосы, вентиляторы, компрессоры, бетоносмесительные агрегаты, вибраторы, ручной электроинструмент и многое другое. Примерно 20 % электроэнергии расходуется на технологические нужды – электросварку, электропрогрев бетона в зимнее время, электрокалориферную сушку помещений при отделочных работах, отопление бытовых помещений и до 10 % – на освещение строящихся объектов, стройплощадок, административных, культурно-бытовых и подсобных помещений.

От правильного и своевременного решения вопросов электроснабжения строительства во многом зависят не только темпы и качество строительства, но и в конечном счете экономические показатели работы и успешное выполнение всей программы строительства.

На основе теоретических знаний студент должен овладеть навыками практических расчетов сложных электрических цепей, в связи с этой целью и подготовлено настоящее издание.

Пособие предназначено для студентов неэлектрических специальностей, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров «Строительство» и «Наземные транспортно-технологические комплексы», учебные планы которых содержат дисциплины «Электротехника с основами электроснабжения», «Общая электротехника и электроника».

1. РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Электрическая цепь состоит из следующих элементов:

– одного или нескольких источников электрической энергии, преобразующих энергию какого-либо вида в электрическую (например, генератор, аккумуляторная батарея, солнечная батарея);

– одного или нескольких приемников, преобразующих электрическую энергию в энергию других видов (например, электрический двигатель, электролитическая ванна, электрическая печь);

– кабелей, проводов.

Кроме того, в электрическую цепь обычно включаются коммутационная аппаратура, устройства защиты сети и измерительные приборы.

1.1. Схема замещения электрической цепи

Для облегчения расчета составляется схема замещения электрической цепи, т. е. схема, отображающая свойства цепи при определенных условиях.

На схеме замещения изображаются все элементы, влиянием которых на результаты расчета нельзя пренебречь, и указываются также электрические соединения между ними.

Электрические элементы цепи, в которых электрическая энергия преобразуется в тепло, характеризуются резисторами R с определенным сопротивлением.

Источники электрической энергии представляются электродвижущей силой (ЭДС) E без внутреннего сопротивления, если это сопротивление мало по сравнению с сопротивлением приемника. На рис. 1.1 изображена электрическая цепь и ее схема замещения, указаны положительные направления токов и напряжений.

На этой схеме генератор Γ представлен ЭДС E и внутренним сопротивлением r ; два приемника Π_1 и Π_2 – соответственно сопротивлениями (резисторами) R_1 и R_2 ; распределенное сопротивление проводов линии Л заменено сосредоточенным сопротивлением $R_{Л}$; вспомогательные аппараты и приборы в схеме замещения отсутствуют, т. к. в данном случае на результаты расчета они не влияют. На рис. 1.2 показана схема более сложной электрической цепи.

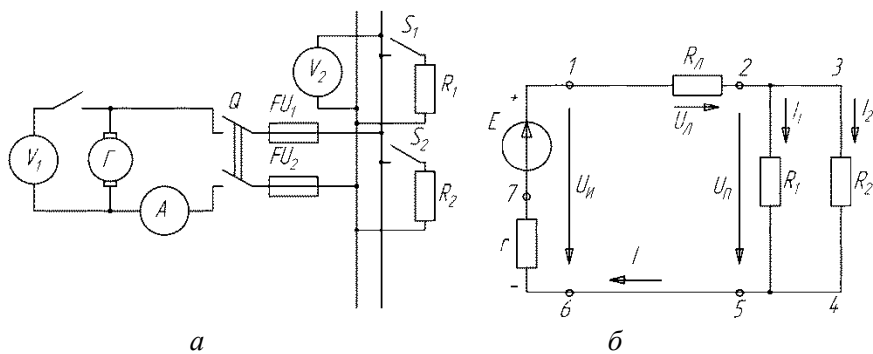


Рис. 1.1. Электрическая цепь (а) и ее схема замещения (б)

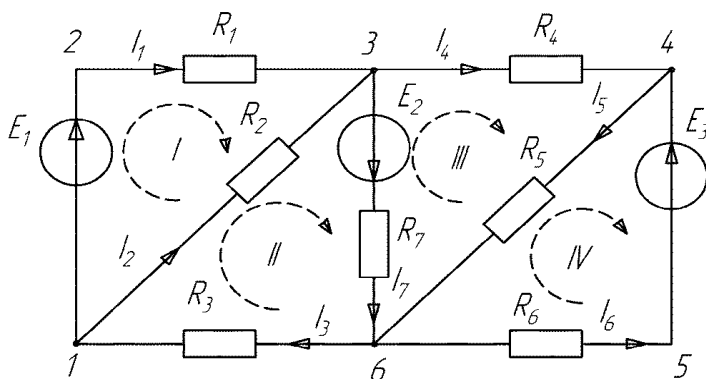


Рис. 1.2. Схема разветвленной электрической цепи

Рассматривая схемы различных электрических цепей, можно выделить в них несколько характерных участков.

Точка электрической схемы, представляющая собой место соединения трех или большего числа ветвей, называется электрическим *узлом* [1]. В цепи, изображенной на рис. 1.2, четыре такие точки: 1, 3, 4, 6.

Ветвью электрической цепи называется участок между двумя узлами, в котором ток в данный момент времени имеет одно и то же значение и изменяется одновременно и одинаково на всем протяжении участка.

Ветвь может содержать один или несколько последовательно соединенных источников ЭДС. Участки 1-2-3, 3-4, 4-5-6 и т. д. на рис. 1.2 являются ветвями цепи.

Замкнутая фигура, образованная двумя и более ветвями электрической цепи, называется *контуром*. В рассматриваемой цепи можно выделить десять контуров, но на рис. 1.2 показано только четыре:

- 1) контур I – 1-2-3-1;
- 2) контур II – 1-3-6-1;
- 3) контур III – 3-4-6-3;
- 4) контур IV – 4-5-6-4.

На схемах стрелками отмечаются положительные направления ЭДС и токов.

Связь между электродвижущими силами (ЭДС), напряжениями и токами линейных электрических цепей выражается линейными уравнениями, т. е. уравнениями первой степени, поэтому для расчета таких цепей обычно применяются аналитические методы с обычными математическими преобразованиями.

1.2. Законы Кирхгофа

Для расчета электрических цепей наряду с законом Ома применяются два закона Кирхгофа, являющиеся следствиями закона сохранения энергии [2].

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Расчет линейных электрических цепей постоянного тока	5
1.1. Схема замещения электрической цепи	5
1.2. Законы Кирхгофа	7
1.3. Неразветвленная электрическая цепь	11
1.3.1. Общий случай последовательного соединения	11
1.3.2. Последовательное соединение пассивных элементов	13
1.3.3. Последовательное соединение источников ЭДС	14
1.3.4. Потенциальная диаграмма	15
1.4. Разветвленная электрическая цепь с двумя узлами.....	20
1.4.1. Параллельное соединение пассивных элементов	20
1.4.2. Параллельное соединение источников энергии.....	23
1.4.3. Общий случай параллельного соединения источников и приемников электрической энергии	26
1.5. Расчет электрических цепей методом эквивалентных сопротивлений (метод «свертывания» цепи).....	32
1.5.1. Определение эквивалентных сопротивлений	32
1.5.2. Определение токов	34
1.6. Метод преобразования треугольника и звезды сопротивлений	34
1.6.1. Треугольник и звезда сопротивлений	35
1.6.2. Преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду.....	36
1.6.3. Преобразование звезды сопротивлений в эквивалентный треугольник	38
1.7. Анализ сложных электрических цепей.....	39
1.7.1. Порядок расчета электрической цепи методом применения законов Кирхгофа	39
1.7.2. Контрольное задание № 1	40
1.7.3. Пример расчета электрической цепи постоянного тока	43
2. Графоаналитический метод анализа и расчета цепей со смешанным соединением участков	50
2.1. Общие замечания	50
2.2. Основные понятия переменного тока	51
2.2.1. Определение переменного тока	51
2.2.2. Параметры переменного тока.....	53
2.2.3. Фаза переменного тока, сдвиг фаз	55
2.2.4. Изображение синусоидальных величин с помощью векторов	57
2.3. Цепь с активным сопротивлением R	58

2.4. Цепь с индуктивностью L	59
2.5. Цепь с емкостью C	61
2.6. Цепь с активным сопротивлением, индуктивностью и емкостью	63
2.7. Мощность в цепях переменного тока	66
2.8. Пример расчета разветвленной электрической цепи при синусоидальном токе	68
2.9. Контрольное задание № 2	75
Заключение	80
Список рекомендуемой литературы	81

Учебное издание

*Астапенко Эдуард Степанович
Орлов Юрий Александрович*

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
АНАЛИЗА И РАСЧЕТА
ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Редактор Т.А. Титоренко
Оригинал-макет подготовлен Т.А. Титоренко

Подписано в печать 01.11.2019.

Формат 60×84/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 4,9. Уч. изд. л. 4,4. Тираж 100 экз. Зак. № 210.

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2.
Отпечатано с оригинал макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.