***Практическая работа 1***

**Исследование однофазных электрических цепей синусоидального тока с последовательно соединенными элементами**

**Цель работы**

Научиться определять параметры электрической цепи косвенным методом с последова­тельно соединенными элементами и строить на комплексной плоскости топо­графические диаграммы напряжений, сопротивлений и мощностей.

**Общие сведения**

Последовательное соединение участков (элементов) электрической цепи есть соединение, при котором через каждый участок (по каждому элементу) проходит один и тот же ток.

В данной практической работе предлагается исследовать электрические цепи, содержащие реальную катушку индуктивности, резистор и конденсатор.

На первом этапе расчета электрической цепи реальная цепь заменяется эквивалентной электрической схемой замещения.

Электрическая схема замещения составляется по комплексному полному сопротивлению, записанному в алгеб­раической форме.

При составлении схемы замещения используются три идеальных элемента.

Резистивный:

 .

Индуктивный:

 .

Емкостной:

 .

Поскольку в курсе электротехники расчеты электрических цепей, как правило, приводятся с записью тока, напряжения, сопротивлений и мощности в комплексной форме, целесообразно при обработке результатов измерений элек­трических величин и построении соответствующих диаграмм ис­пользовать комплексную форму записи этих величин и строить диаграммы на комплексной плоскости.

***Цепь переменного тока с реальной катушкой индуктивности***

Реальная катушка индуктивности обладает активным (Rк) и индуктив­ным (*XL*) сопротивлениями [4].

Комплекс полного сопротивления катушки индуктивности в алгебраиче­ской и показательной формах записи:

, (1.1)

где Rк и *XL* – модули вещественной и мнимой частей комплекса полного сопро­тивления катушки индуктивности, Ом.

Модуль полного сопротивления катушки индуктивности и угол φк вычисляются по формулам:

, . (1.2)

При этом  (1.3)

где= 50 Гц – частота напряжения источника питания (сети);

L – индуктивность катушки, Гн.

Если катушку индуктивности подключить к источнику однофазного си­нусоидального напряжения U (рис.1.1), то по катушке пройдет ток I, а на ее активном и индуктивном сопротивлениях появляются падения напряжения, действующие значения которых *U*ка и *UL*.

*XL*

*R*к

*UL*

*I*

*U*ка

*U*

*.*

*.*

*.*

*.*

Рис.1.1. К расчету цепи с реальной катушкой индуктивности

Начальная фаза тока цепи ψ*i* может иметь различные значения. Поэто­му комплекс действующего тока цепи находят из выражения

,

где *I* – модуль комплекса действующего тока цепи.

Приняв ψ*i*=0, получают равенство

,

используя которое, можно упростить уравнения комплексов действующего на­пряжения и полной мощности катушки, записав их в следующем ви­де:

; (1.4)

. (1.5)

Модули комплексов *U*к и *S*к вычисляют по формулам:

; (1.6)

, (1.7)

где *Р*к и *QL* – активная (Вт) и реактивная индуктивная (В·Ар) мощности катушки. Указанные величины находят из выражений:

; (1.8)

; (1.9)

; (1.10)

. (1.11)

**Примечание.** Правильность расчетов, выполненных по формулам (1.6) и (1.7), можно проверить, используя уравнения:

; (1.12)

. (1.13)

Коэффициент активной мощности катушки вычисляют по формуле

, (1.14)

где φк – угол сдвига фаз между напряжением и током катушки.

Диаграммы комплексов Z,  и Sк приведены на рис. 1.2.

*а*

-*j*

+1

+*j*



ω

ϕк

*Z*к

+*jХL*

*R*к

0

*б*

-*j*

+1

+*j*



ω

ϕк

+*jUL*

*U*кa



0

*в*

0

-*j*

+1

+*j*



ω

ϕк

*S*к

+*jQL*

*P*к

Рис. 1.2. Диаграмма сопротивлений (*а*), векторная диаграмма напряжений (*б*) и диаграмма мощностей (*в*) катушки индуктивности

В цепи с реальной катушкой индуктивности:

* Полное напряжение катушки опережает ток, протекающий по ней, на угол φк.
* Вектор падения напряжения на активном сопротивлении катушки совпадает с вектором тока по направлению, а на индуктивном сопротивлении – опережает вектор тока катушки на угол π/2.
* Из сети потребляется активная энергия (расходуется на нагрев катушки) и реактивная энергия (используется для создания магнитного поля катушки). Ко­эффициент мощности меньше единицы.

**Цепь переменного тока с идеальным конденсатором и резистором**

Идеальный конденсатор не имеет токов утечки, т. е. его заряд после от­ключения конденсатора от сети практически не уменьшается в течение дли­тельного времени [1, 4].

Комплекс полного сопротивления идеального конденсатора находится из выражения:

, (1.15)

где ХС – емкостное сопротивление конденсатора, Ом.

Реальный конденсатор при *f*=50 Гц , так как .

 (1.16)

где С – емкость конденсатора, Ф.

При подключении конденсатора *С* последовательно с резистором R к источнику синусоидального напряжения U (рис. 1.3) в цепи появляются ток и падения напряжения на активном и емкостном элементах, действующие значения которых I, UR и UC.

*XС*

*R*

*UС*

*I*

*UR*

*U*

*.*

*.*

*.*

*.*

Рис. 1.3. К расчету цепи с резистором и конденсатором

При ψ*i* = 0 уравнения комплексов полного сопротивления, действующего напряжения и полной мощности цепи, приведенной на рис. 1.3, в алгебраиче­ской и показательной формах принимают вид:

; (1.17)

; (1.18)

. (1.19)

Модули комплексов электрических величин вычисляют по формулам:

; (1.20)

; (1.21)

, (1.22)

где P и QС – активная (Вт) и реактивная (В·Ар) мощности цепи;

; (1.23)

; (1.24)

; (1.25)

; (1.26)

, (1.27)

где φ – угол сдвига фаз напряжения и тока цепи.

**Примечание.** Правильность вычисления значений U и S по формулам (1.21) и (1.22) можно проверить, определив эти величины из выражений:

; (1.28)

. (1.29)

Диаграмму сопротивлений и векторную диаграмму напряжений и диа­грамму мощностей цепи строят аналогично соответствующим диаграммам ка­тушки индуктивности:

записывают комплексы Z,  и S в алгебраической форме;

ориентируют вектор тока  по оси «+1»;

откладывают вещественные и мнимые части комплексов электрических величин в принятом масштабе по соответствующим осям координат с учетом их знаков.

Диаграммы приведены на рис.1.4.

В цепи с резистором и конденсатором:

* приложенное напряжение отстает от тока, протекающего в цепи, на угол φ;
* напряжение на резисторе совпадает с током по направлению, а на конденсаторе – отстает от тока, протекающего по нему, на угол π/2;
* из сети потребляется активная энергия для нагрева резистора и реактив­ная энергия для создания электрического поля конденсатора. Коэффициент мощности меньше единицы.

*а*

-*j*

+1

+*j*



ω

ϕ

*Z*

-*jXС*

*R*

0

*б*



0

-*j*

+1

+*j*



ω

ϕ

-*jUС*

*UR*

*в*

0

-*j*

+1

+*j*



ω

ϕ

*S*

-*jQС*

*Q*

Рис. 1.4. Диаграмма сопротивлений (*а*), векторная диаграмма напряжений (*б*) и диаграмма мощностей (*в*) цепи с резистором и конденсатором

***Цепь с резистором, конденсатором и катушкой индуктивности***

Последовательно соединенные резистор R, конденсатор *С* и реальная ка­тушка индуктивности *Z*к подключены к источнику синусоидального напряже­ния *U* (рис.1.5). По элементам цепи протекает ток и возникает падение на­пряжения UR, Uка и UL, UС.

Если по аналогии с изложенным ранее допустить, что ψ*i* = 0, то комплек­сы полного сопротивления, напряжения и мощности цепи в алгебраической и показательной формах можно записать:

; (1.30)

; (1.31)

. (1.32)

Модули полного сопротивления, напряжения и мощности цепи можно вычислить по формулам:

; (1.33)

; (1.34)

. (1.35)

*UL*

*R*

*UR*

*I*

*U*кa

*U*

*.*

*.*

*.*

*.*

*UС*

*.*

*C*

1

5

2

*.*

*L*

*R*к

4

3

*Z*к

Рис. 1.5. К расчету цепи с последовательно соединенными

элементами R, Zк, С

Из уравнений (1.8)-(1.11), (1.23)-(1.26) можно найти значения величин, входящих в формулы (1.30)-(1.35), и по формулам (1.28) и (1.29) проверить правильность выполнения расчетов.

Коэффициент активной мощности исследуемой электрической цепи вы­числяют по формуле:

, (1.36)

Построение диаграмм сопротивлений, напряжений и мощности для цепи, приведенной на рис.1.5, производят в той же последовательности, что и для рассмотренных ранее цепей. При этом возможны три режима цепи, определяе­мые характером ее нагрузки:

1. ХL > ХС – напряжение, приложенное к цепи, опережает ток, проходя­щий по ней, на угол φ(нагрузка активно-индуктивная).

Процессы в такой цепи аналогичны процессам в цепи с реальной катуш­кой индуктивности. Отличие заключается в том, что в цепи есть конденсатор, а следовательно, реактивная энергия электрического поля конденсатора использу­ется для создания магнитного поля катушки.

Но поскольку ХL > ХС, этой энергии недостаточно для создания магнитно­го поля катушки индуктивности заданной величины. Недостающая реактивная энергия потребляется из сети.

Построение диаграммы осуществляется в последовательности, указанной нумерацией точек 1-2-3-4-5.

В результате получены треугольники сопротивления и мощности цепи, точки 1-3-5 (рис. 1.6).

*б*

0

-*j*

+1

+*j*



ω

ϕ

*S*

-*jQС*

*P*к

1

4

5

3

2

+*jQ*

ϕк

*P*к

*S*к

+*jQL*

*а*

0

-*j*

+1

+*j*



ω

ϕ

*Z*

-*jXС*

*R*к

1

4

5

3

2

+*jX*

ϕк

*R*

*Z*к

+*jXL*

Рис. 1.6. Диаграммы сопротивлений (*а*) и мощностей (*б*)

цепи с *R*, *C* и *L* при *ХL* >*ХС*

Для цепей с последовательно соединенными элементами принято строить топографическую диаграмму напряжений.

Топографическая диаграмма напряжений является векторной диаграммой, по которой можно определить значение напряжения на любом участке данной цепи (аналогия с топографической картой).

Все диаграммы напряжений строят с учетом того, что центр координат плоскости должен иметь наименьший потенциал. В цепях переменного тока элемент с наименьшим потенциалом определяют в соответствии с принятым направлением тока. Этот элемент является последним при обходе цепи по на­правлению тока.

Построение топографической диаграммы напряжений рекомендуется осуществлять в следующей последовательности:

* пронумеровать точки соединения элементов цепи по направлению тока, начиная с вводного зажима;
* составить в комплексной алгебраической форме уравнение действующего напряжения, приложенного к исследуемой цепи, записывая напряжения эле­ментов цепи согласно их нумерации;
* построить из начала координат вектор напряжения элемента цепи, имеющего наименьший потенциал (элемент с наименьшим номером);
* продолжить построение диаграммы, последовательно приближаясь к последнему элементу, потенциал входного зажима которого и будет определять напряжение, приложенное к цепи (рис. 1.7).

*.*

*.*

0

-*j*

+1

+*j*



ϕ

*U*

-*jUС*

*U*кa

1

4

5

3

2

ϕк

*UR*

*U*к

+*jUL*

ω

Рис. 1.7. Векторная топографическая диаграмма напряжений

1. ХL < ХС – напряжение, приложенное к цепи, отстает от тока цепи на угол φ (нагрузка активно-емкостная).

Процессы в этой цепи аналогичны процессам в цепи с резистором и кон­денсатором. Отличие заключается в том, что часть энергии электрического по­ля конденсатора идет на создание магнитного поля катушки заданной величи­ны, а остальная часть энергии отдается в сеть, т. е. возникает избыток реактив­ной энергии в рассматриваемой цепи.

Диаграмма сопротивлений, топографическая диаграмма напряжений и диаграмма мощностей для данного режима цепи приведены на рис. 1.8.

*а*

+1

+*j*



ϕ

1

4

5

3

2

ϕк

*R*к

-*jXC*

ω

+*jXL*

*Z*

*R*

*Z*к

-*j*

0

*б*

+1

+*j*



ϕ

1

4

5

3

2

ϕк

*U*кa

-*jUC*

ω

+*jUL*

*UR*

*U*к

*U*

.

.

0

-*j*

*в*

+1

+*j*



ϕ

1

4

5

3

2

ϕк

*P*к

-*jQC*

ω

+*jQL*

*PR*

*S*к

*S*

-*j*

0

Рис.1.8. Диаграмма сопротивлений (*а*), топографическая диаграмма напряжений (*б*), диаграмма мощностей (*в*) цепи с *R*, *С*и*L*при*ХL* < *ХC*

*XL* = *XC* – при равенстве индуктивных и емкостных сопротивлений в этой цепи возникает резонанс напряжений (φ=0):

; (1.37)

При резонансе напряжений:

Из сети потребляется только активная энергия на нагрев ее элементов. Коэффициент мощности равен единице; возникает незатухающий колебательный процесс обмена энергией между электрическими и магнитными полями конденсатора и катушки индуктивности [1, 2, 4].

Диаграммы сопротивлений, напряжений и мощности цепи при резонансе напряжений приведены на рис. 1.9.

*б*

5

3

+1

+*j*



ω

ϕк

*U*к

+*jUL*

*UR*

-*jUС*

1

*U*

2

*U*кa

.

.

-*j*

0

4

*а*

5

3

+1

+*j*



ω

ϕк

*Z*к

+*jXL*

*R*

-*jXС*

1

*Z*

2

*R*к

0

-*j*

4

*в*

5

3

+1

+*j*



ω

ϕк

*S*к

+*jQL*

*PR*

-*jQС*

1

*S*

2

*P*к

-*j*

4

0

Рис. 1.9. Диаграмма сопротивлений (а), топографическая диаграмма напряжений (б), диаграмма мощностей (в) цепи с R, C и L при ХL =ХС

**Программа исследований**

Необходимо провести три опыта: с катушкой индуктивности; с резистором и конденсатором; с резистором, катушкой индуктивности и конденсатором.

***Опыт 1.*** *Исследование цепи с катушкой индуктивности*

Последовательность выполнения работ:

По данным табл. 1.1. произвести расчёты величин табл. 1.2. Вариант берётся в соответствии со списком группы.

Таблица 1.1

**Показания измерительных приборов**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Дано | | | |
| Вариант | ток цепи *I*, А | напряжение на катушке индуктивности *U*к, В | активная мощность катушки индуктивности *Р*к, Вт |
| 1 | 0,48 | 13,2 | 2,0 |
| 2 | 0,69 | 14,4 | 4,2 |
| 3 | 0,68 | 20,4 | 4,0 |
| 4 | 0,88 | 17,4 | 6,6 |
| 5 | 0,49 | 9,6 | 2,0 |
| 6 | 0,69 | 13,5 | 4,0 |
| 7 | 0,49 | 10,2 | 2,0 |
| 8 | 0,86 | 18 | 6,4 |
| 9 | 0,56 | 12 | 2,8 |
| 10 | 0,67 | 14,1 | 4,0 |

1. Вычислить для катушки индуктивности:

полное сопротивление Zк, используя формулу (1.12);

активное сопротивление Rк, используя формулу (1.10);

индуктивное сопротивление *XL*, используя формулу (1.2);

активную составляющую напряжения Uкa – по формуле (1.8);

индуктивную составляющую напряжения *UL* – по формуле (1.9);

реактивную мощность *QL* – по формуле (1.11);

полную мощность *S*к – по формуле (1.7);

коэффициент активной мощности cosφк – по формуле (1.14), проверив все три соотношения.

Результаты вычислений записать в табл. 1.2.

Таблица 1.2

**Параметры электрической цепи с реальной катушкой индуктивности**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вычислено | | | | | | | |
| Rк, Ом | *XL*,Ом | *Z*к, Ом | *U*ка, В | *UL*, В | QL, В·Ар | *S*к, В·А | cosφк |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Составить в алгебраической и показательной формах записи уравнения комплексов величин *Z*к,  и *S*к, используя уравнения (1.1), (1.4), (1.5).
2. Построить в масштабе диаграмму сопротивлений, топографическую векторную диаграмму напряжений и диаграмму мощности для катушки индуктивности (см. рис. 1.2).
3. Сформулировать краткие выводы по результатам исследований, в которых описать процесс потребления электрической энергии и показать влияние индуктивного характера нагрузки на сдвиг фаз напряжения и тока цепи.
4. Нарисовать схему эксперимента для отчета по практической работе (рис. 1.10).

*\**

А

V

*\**

W

*Z*к

*RP*

*.*

*U*

Рис. 1.10. Принципиальная схема для исследования цепи с катушкой индуктивности

***Опыт 2. Исследование цепи с резистором и конденсатором***

Последовательность выполнения работ:

По данным табл. 1.3. произвести расчёты величин табл. 1.4. Вариант берётся в соответствии со списком группы.

Таблица 1.3

**Показания измерительных приборов**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Дано | | | |
| Вариант | ток цепи *I*, А | напряжение, подведенное к  иссле­дуемой цепи *U*, В | активная мощность *Р*, Вт |
| 1 | 0,24 | 15,6 | 3,2 |
| 2 | 0,31 | 19,8 | 5 |
| 3 | 0,32 | 19,2 | 5,4 |
| 4 | 0,42 | 17,1 | 4,8 |
| 5 | 0,31 | 12,3 | 2,6 |
| 6 | 0,31 | 12,9 | 2,4 |
| 7 | 0,42 | 18 | 4,6 |
| 8 | 0,29 | 17,7 | 4,4 |
| 9 | 0,4 | 15,0 | 3,4 |
| 10 | 0,39 | 15,6 | 3,2 |

1. Вычислить для цепи R-C:

* полное сопротивление ;
* сопротивление резистора R, используя формулу (1.25);
* емкостное сопротивление конденсатора ХС, используя формулу (1.20);
* активную составляющую напряжения *UR* по формуле (1.23);
* емкостную составляющую напряжения UC – по формуле (1.24);
* емкостную мощность QC – по формуле (1.26);
* полную мощность *S* – по формуле (1.22);
* коэффициент активной мощности cosφ – по формуле (1.27).

Результаты вычислений записать в табл. 1.4.

Таблица 1.4

**Параметры электрической цепи с резистором и конденсатором**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вычислено | | | | | | | |
| *R*, Ом | ХC , Ом | Z, Ом | *UR*, В | *UC*, В | *QC*, В·Ар | *S*, В·А | cosφ |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Составить в алгебраической и показательной формах уравнения ком­плексов величин *Z*,  и *S*, используя уравнения (1.17) - (1.19).
2. Построить на комплексной плоскости диаграмму сопротивлений, топо­графическую диаграмму напряжений и диаграмму мощности для цепи R-C (см. рис. 1.4).
3. Сформулировать краткие выводы по результатам исследований, рас­крыв в них влияние емкостной нагрузки на режим электропотребления и сдвиг фаз напряжения и тока цепи.
4. Нарисовать схему эксперимента для отчета по практической работе (рис. 1.11).

*\**

*А*

*V*

*\**

*W*

*С*

*RP*

*.*

*U*

*R*

Рис. 1.11. Схема для исследования цепи с резистором и конденсатором

***Опыт 3.*** *Исследование цепи с резистором, катушкой индуктивности и конденсатором*

Последовательность выполнения работ:

По данным табл. 1.5. произвести расчёты величин табл. 1.6. Вариант берётся в соответствии со списком группы.

Таблица 1.5

**Показания измерительных приборов**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Дано | | | | | | |
| Вариант | ток цепи  I, А | напряжение | | | | активная мощность цепи Р, Вт |
| на резисторе  *UR*, В | на катушке индуктивности  *U*к, В | на  конденсаторе  UС, В | цепи  U, В |
| 1 | 0,5 | 9,9 | 10 | 16,7 | 15,97 | 7,03 |
| 2 | 0,48 | 9 | 9 | 12,5 | 13,2 | 6 |
| 3 | 0,42 | 8,9 | 7,95 | 13,12 | 13,42 | 5,07 |
| 4 | 0,56 | 16,8 | 8,96 | 29,3 | 25,37 | 12,07 |
| 5 | 0,43 | 10,8 | 8,13 | 13,38 | 15,54 | 6,15 |
| 6 | 0,58 | 8,68 | 9,69 | 8,66 | 13,04 | 7,56 |
| 7 | 0,59 | 16,64 | 7,85 | 20,7 | 25 | 12,22 |
| 8 | 0,6 | 12,3 | 9 | 7,8 | 16,8 | 10,1 |
| 9 | 0,55 | 11 | 8,1 | 19,79 | 19,47 | 8,14 |
| 10 | 0,56 | 16,8 | 8,96 | 29,3 | 25,37 | 12,07 |

1. Вычислить для цепи *R*-*L*-*C* все электрические величины, перечисленные в табл. 1.6, используя формулы из опыта 1, 2, 3:

сопротивление резистора:

; (1.38)

активную мощность резистора:

; (1.39)

активное сопротивление всей цепи:

; (1.40)

активное сопротивление катушки индуктивности:

; (1.41)

полное сопротивление катушки индуктивности *Z*к, используя формулу (1.12);

индуктивное сопротивление катушки индуктивности *XL*, используя формулу (1.2);

емкостное сопротивление конденсатора:

; (1.42)

реактивное сопротивление цепи:

; (1.43)

полное сопротивление цепи:

; (1.44)

активную мощность катушки индуктивности:

; (1.45)

индуктивную мощность катушки индуктивности *QL* – по формуле (1.11);

емкостную мощность конденсатора *QC* – по формуле (1.26);

реактивную мощность:

; (1.46)

полную мощность цепи:

; (1.47)

коэффициент активной мощности цепи cosφ – по формуле (1.36), проверив все три соотношения.

Результаты вычислений записать в табл. 1.6.

Таблица 1.6

**Параметры электрической цепи с резистором, конденсатором**

**и реальной катушкой индуктивности**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Элемент | Параметр | Единица измерения | Результат расчета |
| Резистор | *R* | Ом |  |
| *PR* | Вт |  |
| Конденсатор | *XС* | Ом |  |
| *QC* | В·Ар |  |
| Катушка индуктивности | *R*к | Ом |  |
| *Z*к | Ом |  |
| *XL* | Ом |  |
| *U*ка | В |  |
| *UL* | В |  |
| *P*к | Вт |  |

Окончание табл. 1.6

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Элемент | Параметр | Единица измерения | Результат расчета |
| Катушка индуктивности | *QL* | В·Ар |  |
| *S*к | В·А |  |
| cosφк | – |  |
| Исследуемая цепь | *R*∑ | Ом |  |
| *X* | Ом |  |
| *Z* | Ом |  |
| *Q* | В·Ар |  |
| *S* | В·А |  |
| cosφ | – |  |

1. Составить в алгебраической и показательной формах уравнения комплексов величин *Z*,  и *S*, используя уравнения (1.30) - (1.32).

**-**

1. Построить на комплексной плоскости диаграмму сопротивлений, то­пографическую векторную диаграмму напряжений и диаграмму мощ­ностей для цепи *R-С-L*. (см. рис. 1.6-1.9).
2. Сделать краткие выводы по результатам исследований. В выводах дать оценку характеру нагрузки, показать ее влияние на режим электропо­требления и сдвиг по фазе между током и напряжением исследуемой цепи.
3. Нарисовать схему эксперимента для отчета по практической работе (рис.1.12).

*\**

*А*

*V*

*\**

*W*

*С*

*RP*

*.*

*U*

*R*

4

1

2

3

*Z*к

*V*

Рис. 1.12. Схема для исследования цепи с резистором, катушкой индуктивности и конденсатором

**Содержание отчёта по практической работе 1**

1. Название и номер практической работы.
2. Цель работы.
3. Опыт 1.
4. Схема опыта (см. рис. 1.10).
5. Табл. 1.1 и 1.2.
6. Основные расчетные формулы с полностью приведенным расчетом (формула, подстановка значений, результат и единица измерения).
7. Уравнения сопротивления, напряжения и мощности в комплексной алгебраической форме.
8. Диаграммы сопротивлений, напряжений и мощности (в масштабе).
9. Краткие выводы.
10. Опыт 2.
11. Схема опыта (см. рис. 1.11).
12. Табл. 1.3 и 1.4.
13. Основные расчетные формулы (формула, подстановка значений, результат и единица измерения).
14. Уравнения сопротивления, напряжения и мощности в комплексной алгебраической форме.
15. Диаграммы сопротивлений, напряжения и мощности (в масштабе).
16. Краткие выводы
17. Опыт 3.
18. Схема опыта (см. рис. 1.12).
19. Табл. 1.5 и 1.6.
20. Основные расчетные формулы (формула, подстановка значений, результат и единица измерения).
21. Уравнения сопротивления, напряжения и мощности в комплексной алгебраической форме.
22. Диаграммы сопротивлений, напряжений и мощности (в масштабе).
23. Краткие выводы.