**Лабораторная работа № 5**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

**ПОСТОЯННОГО ТОКА**

*Цель работы:* Исследовать влияние тока нагрузки на параметры линии электропередачи (ЛЭП) в различных режимах работы.

**Основные теоретические положения**

ЛЭП предназначена для передачи электроэнергии от источника к потребителю. Она представляет собой два изолированных провода с суммарным сопротивлением , к началу которых подключен генератор с напряжением , а к концу – нагрузка с сопротивлением . В генераторе, проводах линии и нагрузке при отсутствии утечки ток  имеет одну и ту же величину.

При анализе работы линии наиболее важными являются три вопроса: напряжение на нагрузке , величина передаваемой мощности  и коэффициент полезного действия  передачи.

Режим работы линии удобно рассматривать в виде зависимостей различных величин от тока  в линии. При этом ток равен .

Рассмотрим некоторые зависимости, такие как падение напряжения в линии  и напряжение на нагрузке :

, .

Величины  и  являются постоянными, поэтому все зависимости представляют собой линейные функции тока (рис. 5.1).



# Рис. 5.1. Режимы работы линии

В **режиме холостого хода**, когда ,  и .

В **режиме короткого замыкания**, когда  и , , . Это значит, что всё входное напряжение гасится на сопротивлении линии .

Мощность на входе линии  линейно зависит от тока : .

При холостом ходе она равна нулю, а при коротком замыкании определяется по формуле

.

Потери мощности  в линии равны . График зависимости  представляет собой параболу (рис. 5.1), проходящую через начало координат (квадратичная функция тока).

При холостом ходе , , а при коротком замыкании, когда :

.

Таким образом, в режиме короткого замыкания мощность , поступающая в линию, полностью теряется в линии, то есть .

Мощность , поступающая в нагрузку, равна .

Это выражение представляет собой параболу со смещённой вершиной и с обращёнными вниз ветвями, проходящими через точки  и :

.

При , , а при возрастании  мощность  сначала возрастает, достигая максимального значения и начинает убывать, стремясь к нулю при .

При каком  передаваемая нагрузке мощность будет максимальна? Продифференцируем функцию и приравняем её к нулю:

.

Приняв к нулю числитель производной, получаем:  или .

Таким образом, мощность  максимальна тогда, когда . Такой режим работы ЛЭП называют **режимом согласованной нагрузки**. Ток, протекающий при этом по линии, равен половине : , а мощность  в конце линии равна .

Коэффициент полезного действия равен отношению мощностей в конце  и начале  линии:

.

Полученная зависимость представляет собой линейную функцию тока.

При холостом ходе, когда , то  (т.е. нет передачи энергии, нет и потерь). При коротком замыкании вся передаваемая мощность теряется в линии и .

Можно определить  и следующим образом

.

При равенстве , . В реальных линиях при передаче больших мощностей . При этом . Для анализа режимов электропередачи используют ещё одну формулу .

Так как , а , то .

В результате при одной и той же мощности нагрузки , потери  пропорциональны  и обратно пропорциональны квадрату напряжения. Поэтому для увеличения  необходимо повышение напряжения и снижение  путём увеличения сечения провода и применения материала с меньшим удельным сопротивлением.

**Порядок выполнения работы**

1. Собрать схему, приведенную на рис. 5.2, где в качестве нагрузки ЛЭП использовать лампы накаливания.



Рис. 5.2. Схема для исследования ЛЭП постоянного тока

2. Установить напряжение  В и включением ламп изменять ток от  до , где максимальным является ток в режиме короткого замыкания. Результаты измерений в порядке возрастания тока в линии занести в табл. 5.1.

3. Опыт повторить при напряжении  В, а результаты измерений записать в табл. 5.1.

*Таблица 5.1*

**Результаты исследования ЛЭП постоянного тока**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № опыта | Измерено | | | Вычислено | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| В | В | А | Вт | Вт | Вт | В | Ом | Ом | – |
| 1  2  3  4  5  6 | 50  50  50  50  50  50 | 50  25  10  5  2,5  0 | 0  0,17  0,25  0,3  0,32  0,35 |  |  |  |  |  |  |  |
| 1  2  3  4  5  6 | 100  100  100  100  100  100 | 100  62,5  40  24  10  0 | 0  0,25  0,4  0,5  0,55  0,65 |  |  |  |  |  |  |  |

4. Вычислить мощность в начале  и в конце линии , потерю мощности  и напряжения , сопротивления нагрузки  и проводов линии , ее КПД . Результаты расчетов занести в табл. 5.1.

Сопротивление проводов линии , где  - удельное сопротивление проводов линии, Ом/мм;  - поперечное сечение проводов линии, мм2;  - длина линии, м. Параметры линии указаны на лабораторном стенде. Сопротивление нагрузки .

5. Построить совместно графики зависимостей , , , ,  и  отдельно для низкого и высокого напряжений в одинаковых масштабах.

6. Определить по графикам и таблицам отношения , ,  и кпд для режима, когда мощность в нагрузке принимает максимальное значение.

7. Сделать выводы по результатам исследований.

**Контрольные вопросы**

1. Доказать, что напряжение на выходе ЛЭП уменьшается с ростом тока нагрузки.

2. Как зависит напряжение на потребителе от сечения проводов ЛЭП?

3. Почему мощность в нагрузке равна нулю при холостом ходе и при коротком замыкании?

4. Как зависят потери мощности от сопротивления ЛЭП?

5. Как подобрать сопротивление нагрузки, чтобы в ней выделялась максимальная мощность?

6. Чему равен кпд ЛЭП при максимальной мощности в нагрузке?

7. Может ли ток в ЛЭП превышать величину тока короткого замыкания?

8. Докажите, почему выгоднее эксплуатировать ЛЭП при высоком напряжении?

**Лабораторная работа № 6**

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

*Цель работы:* исследование свойств электрических цепей переменного тока; определение параметров активного, реактивного и полного сопротивлений неразветвленной электрической цепи переменного тока; исследование явления резонанса напряжений; построение векторных диаграмм тока и напряжений.

**Основные теоретические положения**

**Активное сопротивление ** – это параметр электрической цепи, характеризующий электромагнитную энергию , которая необратимо преобразуется в тепловую или механическую энергии. Величина сопротивления определяется как . На рис. 6.1 показана векторная диаграмма тока и напряжения для активного сопротивления.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 6.1. Векторная диаграмма для активного сопротивления | Таким образом, **в активном сопротивлении напряжение и ток совпадают по фазе, их начальные фазы одинаковы, угол сдвига фаз равен нулю. Векторы на векторной диаграмме направлены в одну сторону.** |

Напряжение и ток в активном сопротивлении связаны законом Ома , .

При всяком изменении тока в проводнике электрической цепи магнитное поле, окружающее проводник, будет изменяться.

При пересечении проводника своим же собственным магнитным полем в нём возникает ЭДС, называемая **ЭДС самоиндукции.** Она имеет реактивный характер.

Магнитное поле в катушке создаётся током  и характеризуется магнитным потоком , который называют потоком самоиндукции. Индуктируемая в катушке ЭДС  определяется по формуле:

,

где  – потокосцепление самоиндукции , Вб;  – количество витков катушки;  – индуктивностью катушки, коэффициент пропорциональности между  и , Гн.

Знак минус в правой части обусловлен законом Ленца, определяющим направление индуктивной ЭДС: «ЭДС самоиндукции направлена так, что своим действием препятствует причине, вызвавшей её появление (т.е. току )».

Препятствуя изменению тока ЭДС самоиндукции,  оказывает ему сопротивление, которое называется **индуктивным** и обозначается . Формула, определяющая индуктивное сопротивление, Ом, имеет вид . Напряжение на зажимах катушки при протекании по ней тока , откуда , где  – индуктивная проводимость , См.

На рис. 6.2 представлены векторные диаграммы токов и напряжений в индуктивности на обычной координатной плоскости без (рис. 6.2,*а*) и при его наличии (рис. 6.2,*б*). **Начальная фаза напряжения больше начальной фазы тока на . Таким образом, в индуктивности ток отстаёт от напряжения на .**

Система из двух проводящих тел, разделённых диэлектриком, образует конденсатор. Эти проводящие тела называются обкладками конденсатора. Если к ним подключить источник энергии, то на них будет накапливаться заряд , пропорциональный напряжению на конденсаторе , . Коэффициент пропорциональности С между  и  называется **ёмкостью конденсатора**.

*а б*



Рис. 6.2. Векторные диаграммы токов и напряжений в индуктивности: *а* - на координатной плоскости без ; *б* - при его наличии

Емкостная проводимость  определяется как . Величина, обратная ёмкостной проводимости, называется **ёмкостным сопротивлением** . Величина тока определяется , отсюда .

На рис. 6.3 представлены векторные диаграммы токов и напряжений в ёмкости на координатной плоскости без (рис. 6.3,*а*) и при его наличии (рис. 6.3,*б*). **Таким образом, в ёмкости ток опережает напряжение на .**

*а б*



Рис. 6.3. Векторные диаграммы токов и напряжений в ёмкости: *а* - на координатной плоскости без ; *б* - при его наличии

Определение тока в цепи и напряжения на ее элементах можно выполнить на основе векторной диаграммы.

В последовательной цепи (рис. 6.4,*а*) общим для всех элементов является протекающий по ним ток. С него начинаем построение векторной диаграммы последовательной электрической цепи. На рис. 6.4,*б* изображается вектор тока горизонтально. Далее строятся векторы напряжений на всех элементах. В соответствии со вторым законом Кирхгофа вектор входного напряжения равен . Сложение векторов выполняется по правилу многоугольника, когда каждый последующий вектор пристраивается к концу предыдущего.

*а б*



Рис. 6.4. Неразветвленная электрическая цепи переменного тока: *а* - схема последовательного соединения R, L и C элементов; *б* - векторная диаграмма

Известно, что напряжение на активном сопротивлении  совпадает по фазе с током, поэтому вектор  направлен по вектору тока . К его концу пристраиваем вектор  и направляем его вверх под углом , так как напряжение на индуктивности  опережает ток на . Напряжение на ёмкости  находится в противофазе с , т. е. отстаёт от тока на , поэтому вектор , пристроенный к концу вектора , направлен вниз. Сумма векторов  даёт вектор напряжения .

Величины напряжений на отдельных элементах цепи определяются согласно закону Ома: , , .

Согласно теореме Пифагора из треугольника oab определяется:

,

где  – полное сопротивление цепи, Ом;  – общее реактивное сопротивление, Ом.

Закон Ома для всей цепи , где  – полная проводимость цепи, См.

Угол сдвига фаз между напряжением  и током  определяется из треугольника напряжений oabили треугольника сопротивлений:

.

Для вычисления мощностей, потребляемых цепью из сети используем формулы, выведенные из закона Джоуля-Ленца:  – активная мощность, Вт;  – реактивная индуктивная мощность, вар;  – реактивная емкостная мощность, вар;  – общая реактивная мощность, вар;  – полная мощность электрической цепи переменного тока, ВА.

Режим, когда в цепи, содержащей последовательно соединённые активное сопротивление, индуктивность и ёмкость, ток совпадает по фазе с напряжением называют **резонансом напряжения**. Это означает, что входное реактивное сопротивление в цепи равно нулю:  или . В этом случае , и цепь носит чисто активный характер, т.е. , и сдвиг фаз отсутствует ().

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 6.5. Векторная диаграмма при резонансе напряжения | Так как при резонансе , то соответственно .  Напряжения на индуктивности и ёмкости в этом режиме равны по величине и, находясь в противофазе, компенсируют друг друга (рис. 6.5). Всё приложенное к цепи напряжение приходится на её активном сопротивлении. |

Напряжение на индуктивности и ёмкости может значительно превышать напряжение на входе цепи. Их отношение, называемое добротностью контура , определяется величинами индуктивного (или ёмкостного) и активного сопротивлений:

.

**Добротность** показывает, во сколько раз напряжения на индуктивности и ёмкости при резонансе превышают напряжение, приложенное к цепи.

Резонанса можно достичь, изменяя любой из параметров – частоту, индуктивность, ёмкость. При этом меняются реактивное и полное сопротивления цепи, а вследствие этого – ток, напряжение на элементах и сдвиг фаз.

Ёмкость , при которой наступает резонанс, можно определить из формулы:

.

При резонансе  или , откуда , где  – собственная частота колебания контура. Таким образом, при резонансе напряжений частота  источника напряжения равна собственной частоте  колебания контура.

При резонансе напряжения . Величина  называется **волновым сопротивлением контура**. Тогда добротность  равна .

**Порядок выполнения работы**

1. Расчетная часть

В электрической цепи, изображенной на рис. 6.4,*а*, определить: полное сопротивление в цепи ; ток и напряжения на всех участках цепи; активную, реактивную и полную мощности, потребляемые цепью из сети; приравнять величину емкостного сопротивления к индуктивному  и рассчитать параметры схемы в режиме резонанса. Напряжение сети, значения активных , индуктивных  и емкостных  сопротивлений приведены в табл. 6.1.

*Таблица 6.1*

**Исходные данные**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Величина | Вариант | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| , В | 230 | 210 | 127 | 380 | 400 | 160 | 200 | 240 | 280 | 260 |
| , Ом | 2 | 4 | 6 | 7 | 9 | 4 | 12 | 11 | 7 | 4 |
| , Ом | 8 | 10 | 2 | 12 | 8 | 8 | 10 | 6 | 6 | 7 |
| , Ом | 4 | 2 | 9 | 4 | 2 | 4 | 7 | 7 | 11 | 12 |

Построить векторные диаграммы тока и напряжений. Результаты вычислений занести в первую строку табл. 6.2.

2. Экспериментальная часть

Создать экспериментальную схему в рабочем поле EWB, аналогичную рис. 6.4,*а*. Установить параметры элементов схемы согласно заданному варианту. В программе EWB для задания параметров реактивных элементов используются значения индуктивности и емкости, которые можно определить из исходных данных по следующим формулам:

, мГн; , мкФ, где  Гц.

Для измерения тока последовательно в цепь подключить амперметр, а для измерения напряжений параллельно к источнику питания и к элементам схемы – вольтметры.

Измерить ток и напряжения на элементах электрической цепи и записать полученные данные во вторую строку табл. 6.2.

Определить емкость , при которой наступает резонанс; рассчитать емкостное сопротивление , добротность резонансного контура ; волновое сопротивление контура ; установить параметры элементов схемы в режиме резонанса и убедиться в выполнении условий резонанса напряжений (,, ); построить векторную диаграмму для режима резонанса.

*Таблица 6.2*

**Расчетные и экспериментальные данные**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды работ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расчетная часть |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Экспериментальная  часть |  |  |  | 36,71 |  | 330,4 | 297,9 | 72,42 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

3. Сформулировать краткие выводы по работе.

**Контрольные вопросы**

1. Дайте определение понятиям: активное и реактивные индуктивное и емкостное сопротивления.

2. Чем характеризуются реактивные сопротивления?

3. Что такое полное сопротивление цепи и как оно определяется?

4. Что такое угол φ в электрических цепях переменного тока с активными и реактивными сопротивлениями?

5. Как построить векторную диаграмму тока и напряжения на элементах цепи?

6. Какой режим называют режимом резонанса напряжений?

7. Какой режим называют режимом резонанса тока?

8. Почему при равенстве , угол сдвига фаз на входе последовательной цепи равен нулю?