

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра экологии

***ОЦЕНКА СПОСОБОВ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ***

Методическое пособие  
для практических занятий по дисциплине  
«Основы экологии и энергосбережения»

Минск 2008

УДК 621.3.05(076)

ББК 31.2 я 7

О-93

А в т о р ы :

А. И. Навоша, Е. В. Гончарик, И. Ф. Лисименко, А. С. Рылов

**Оценка** способов передачи электроэнергии : метод. пособие для практ. занятий по дисц. «Основы экологии и энергосбережения» / А. И. Навоша [и др.]. – Минск : БГУИР, 2008. – 18 с.  
ISBN 978-985-488-259-8

Содержится краткая характеристика способов передачи электроэнергии. Рассматривается понятие реактивной мощности в линиях электропередачи и способы ее уменьшения. Приведены примеры решения задач с использованием изложенных методик и предложены варианты задач для самостоятельной работы студентов. В приложении приведены необходимые для решения задач справочные материалы. Пособие предназначено для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР.

УДК 621.3.05(076)

ББК 31.2 я 7

ISBN 978-985-488-259-8

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2008

## 1. Краткая характеристика способов передачи электроэнергии

Передача электроэнергии потребителю может осуществляться двумя способами: без повышения напряжения и с повышением напряжения. Для передачи электроэнергии применяются электрические сети, которые состоят из воздушных или кабельных линий электропередачи (ЛЭП), трансформаторных подстанций, распределительных устройств.

Источник энергии, провода, приемник (потребитель) образуют неразветвленную электрическую цепь (рис. 1).

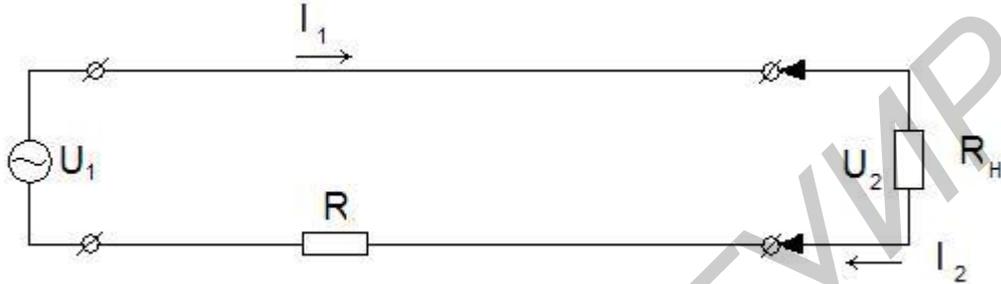


Рис. 1. ЛЭП без повышения напряжения

Для анализа электрической цепи применяются закон Ома и формула для расчета мощности участка цепи, т.е.

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{и} \quad P = IU,$$

где  $I$  – электрический ток, А;  $U$  – напряжение цепи, В;  $P$  – мощность, Вт.

Положим, что полезная нагрузка  $P$ , обусловленная сопротивлением потребителя  $R_H$  и сопротивлением цепи  $R$ , остается постоянной. При этих допущениях полезная мощность  $P$ , передаваемая от источника потребителю, равна

$$P = I_1 U_1 \quad \text{и} \quad P = I_2 U_2.$$

Потери энергии оцениваются выражениями

$$P_1 = I_1^2 R \quad \text{и} \quad P_2 = I_2^2 R.$$

Относительная величина потерь составит

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1^2 R}{I_2^2 R} = \frac{I_1^2}{I_2^2}.$$

Так как  $I_1^2 = \frac{P^2}{U_1^2}$ , а  $I_2^2 = \frac{P^2}{U_2^2}$ , то получим

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{P}{U_1}\right)^2 : \left(\frac{P}{U_2}\right)^2 = \frac{P^2 \times U_2^2}{P^2 \times U_1^2} = \frac{U_2^2}{U_1^2}.$$

Следовательно, потери энергии при ее передаче обратно пропорциональны квадрату напряжения. По этой причине в линиях электропередачи используется высокое напряжение. Применение высокого напряжения позволяет передавать большие мощности на далекие расстояния при относительно малом сечении провода.

При передаче энергии имеет место падение напряжения в проводах. Следовательно, напряжение в конце линии  $U_2$  меньше напряжения в начале  $U_1$ . Разность между напряжениями  $U_1$  и  $U_2$  называют потерей напряжения  $\Delta U$ , т.е.  $\Delta U = U_1 - U_2$ . Потери напряжения объясняются сопротивлением проводов  $r_0$ , которое оценивается выражением

$$r_0 = \frac{l \cdot \rho}{S},$$

где  $l$  – длина провода;

$\rho$  – удельное сопротивление материала провода;

$S$  – поперечное сечение провода.

Выразим величину потерь напряжения  $\Delta U$  по закону Ома :

$$\Delta U = I \cdot r_0, \text{ или } \Delta U = \frac{I \cdot l \cdot \rho}{S}.$$

Потеря напряжения обычно допускается небольшой по сравнению с напряжением  $U_1$  с целью экономии энергии и обеспечения незначительного колебания напряжения у потребителя при изменении сопротивления, а значит, и тока приемника.

Так, например, для электрических ламп допустимо изменение напряжения на 1–2 %, для электродвигателей на 2–5 % номинального значения напряжений.

Очень часто при расчетах потерь значения напряжения задаются, а необходимое сечение провода определяется:

$$S = \frac{I \cdot l \cdot \rho}{\Delta U}. \quad (1)$$

Выразим потерю напряжения у потребителя в процентах напряжения:

$$e = \frac{\Delta U}{U_2} \cdot 100 \ %.$$

Подставив значение  $\Delta U$  в формулу (1), получим

$$S = \frac{I \cdot l \cdot r \cdot 100}{U_2 \cdot e}. \quad (2)$$

Умножая числитель и знаменатель правой части выражения (2) на  $U_2$ , получим

$$S = \frac{I \cdot l \cdot r \cdot 100}{e \cdot U_2} \cdot \frac{U_2}{U_2} = \frac{P_2 \cdot l \cdot r \cdot 100}{e \cdot U_2^2}. \quad (3)$$

Рассчитанное сечение провода проверяется на нагрев.

При передаче энергии некоторая ее часть «теряется» в проводах. Мощность потерь оценивается выражением

$$\Delta P = I^2 \cdot r_0 = \frac{I^2 \cdot l \cdot r}{S} \quad \text{или} \quad DP = I \cdot DU.$$

*Пример 1.* Напряжение источника электроэнергии  $U_1=220$  В. Расстояние от источника до потребителя 1,5 км. Напряжение в конце линии электропередачи  $U_2=215$  В. Определить сечение медных проводов для передачи мощности  $P_2=1,5$  кВт и проверить сечение на нагрев.

Решение

1. Определяем допустимую потерю напряжения:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = 220 - 215 = 5 \text{ В}.$$

2. Выражаем потерю напряжения у потребителя в процентах:

$$e = \frac{\Delta U}{U_2} \cdot 100\% = \frac{5}{215} \cdot 100\% = 2,33\%.$$

3. Определяем сечение медного провода, у которого удельное сопротивление  $\rho = 0,0175$  Ом·мм<sup>2</sup>/м (см. табл. П.1 приложения), по формуле (3):

$$S = \frac{P_2 \cdot l \cdot r \cdot 100}{e \cdot U_2^2} = \frac{1500 \cdot 1500 \cdot 0,0175 \cdot 100}{2,33 \cdot 46225} = 36,5 \text{ мм}^2.$$

(Ближайшее стандартное сечение  $S = 50$  мм<sup>2</sup>, табл. П.2 приложения)

4. Проверяем выбранное сечение на нагрев. Изолированный медный провод сечением 50 мм<sup>2</sup> допускает ток 190 А.

Определяем ток в линии:

$$I = \frac{P_2}{U_2} = \frac{1500}{215} = 6,97 \text{ А},$$

т.е. значительно меньше допустимого.

Второй способ передачи электроэнергии потребителю осуществляется путем изменения напряжения в ЛЭП с помощью трансформаторов (рис. 2).

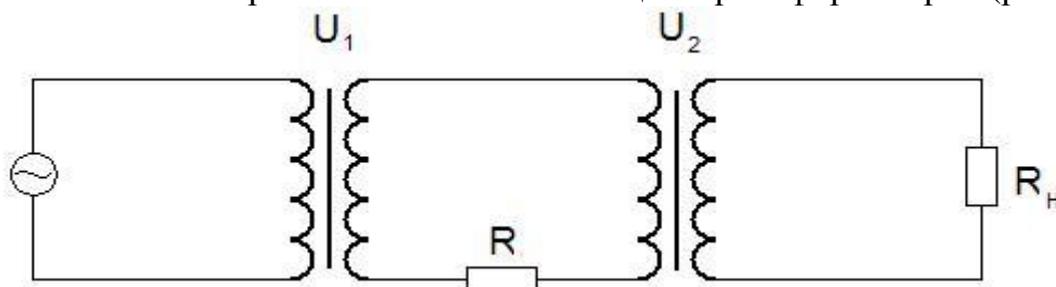


Рис. 2. ЛЭП с повышением напряжения

Наличие трансформаторов в передающих и распределяющих системах переменного тока приводит к возникновению индуктивного сопротивления и дополнительным потерям энергии за счет реактивной мощности.

Неразветвленная цепь переменного тока с последовательно включенными активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями приведена на рис. 3.

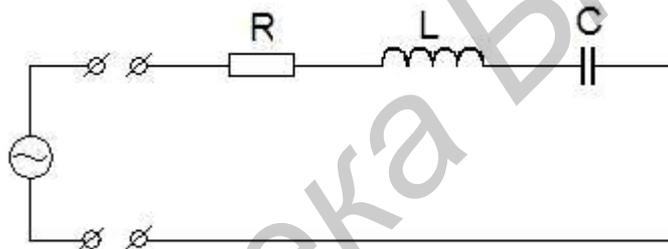


Рис. 3. Электрическая цепь с последовательно включенными активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями

Переменное напряжение электрической цепи создает в ней переменный ток, который, в свою очередь, приводит к возникновению магнитного потока. Магнитный поток наводит в цепи электродвижущую силу (ЭДС) самоиндукции. Таким образом, цепь с индуктивностью обладает индуктивным сопротивлением  $X_L = \omega L = 2\pi f L$ , величина которого увеличивается с ростом частоты.

В цепи, показанной на рис. 3, имеется также емкость. При переменном напряжении конденсатор периодически заряжается и разряжается. Это происходит вследствие того, что напряжение на его обкладках изменяется как по величине, так и по направлению.

Произведение емкости конденсатора  $C$  на угловую частоту  $\omega$  называется его проводимостью. Емкостное сопротивление, которое оказывает конденсатор переменному току, равно величине, обратной проводимости.

Емкостное сопротивление  $X_c$  оценивается выражением  $X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$ .

Напряжение, которое образуется на обкладках конденсатора, является причиной возникновения дополнительного емкостного сопротивления.

Электрическую цепь, в которой имеет место изменение магнитного и электрического полей, а также преобразование электрической энергии в тепловую, характеризуют тремя основными параметрами: сопротивлением, индуктивностью и емкостью. Полное напряжение  $U$  в этой цепи состоит из напряжений на активном сопротивлении  $U_a$ , на индуктивном  $U_L$  и емкостном сопротивлении  $U_C$ , т.е.

$$U^2 = U_a^2 + (U_L - U_c)^2.$$

Выразив напряжения через ток и соответствующие значения сопротивлений, получим

$$U = I \sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}.$$

Ток  $I$ , протекающий в цепи, оценивается выражением

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}. \quad (4)$$

Формула (4) является математическим выражением закона Ома для цепи переменного тока, состоящей из активного  $R$ , индуктивного  $\omega L$  и емкостного  $1/\omega C$  сопротивлений.

На рис. 4 показан треугольник сопротивлений для рассматриваемой электрической цепи.

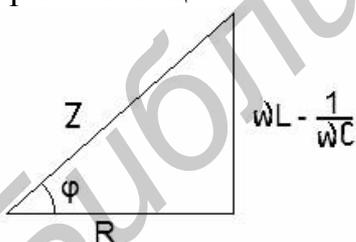


Рис. 4. Треугольник сопротивлений

Полное сопротивление для такой цепи  $Z$  может быть определено из выражения

$$Z = \sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}.$$

Из треугольника сопротивлений получим формулу для определения коэффициента мощности  $\cos \varphi$  («косинус фи»), т.е.

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}.$$

Зная  $\cos \varphi$ , можно найти угол сдвига фаз между током и напряжением, т.е. угол  $\varphi$ .

Из треугольника сопротивлений видно, что величина коэффициента мощности ( $\cos \varphi$ ) зависит от соотношения между индуктивным и емкостным сопротивлением.

Рассматриваемая электрическая цепь характеризуется полной (полезной) мощностью  $P_n$ . Полная мощность состоит из двух составляющих частей: активной  $P_a$  и реактивной  $P_p$ . Она рассчитывается из выражения

$$P_n = \sqrt{P_a^2 + P_p^2}.$$

Активная мощность затрачивается в электрической цепи на преобразование электрической энергии в тепловую (механическую, световую). Это преобразование происходит в активном сопротивлении  $R$ . Активная мощность оценивается соотношением

$$P_a = U_a \cdot I = I^2 \cdot R.$$

Реактивная мощность характеризует часть электрической энергии, получаемую от источника переменного тока и возвращаемую обратно из цепи к источнику тока. Эта мощность связана с индуктивным сопротивлением и рассчитывается из соотношения

$$P_p = U_L \cdot I = I^2 \cdot \omega L.$$

Реактивная мощность приводит к потерям энергии в ЛЭП. Эту мощность можно уменьшить, последовательно включив в цепь емкостное сопротивление  $X_C$  в виде батареи конденсаторов.

Полная мощность и ее составляющие части, представленные в виде отрезков, образуют треугольник мощности (рис. 5).

О соотношении между активной и полной мощностью можно судить по коэффициенту мощности ( $\cos \varphi$ ), который показывает степень запаздывания тока от напряжения:

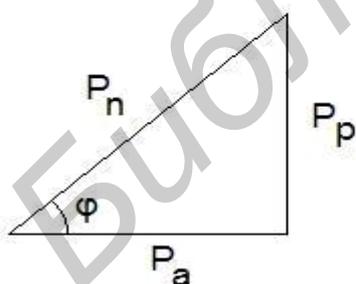


Рис. 5. Треугольник мощности

$$P_n = \frac{P_a}{\cos j}; \quad \cos j = \frac{P_a}{P_n} = \frac{I^2 \cdot R}{I^2 \cdot Z} = \frac{R}{Z}.$$

Так как активная мощность равна произведению полного напряжения, приложенного к цепи, тока в ней и коэффициента мощности, то

$$P_a = U \cdot I \cdot \cos j.$$

Поэтому всегда надо стремиться к тому, чтобы  $\cos \varphi$  был возможно большим. Для цепей, состоящих только из индуктивного сопротивления или только емкостного, коэффициент мощности равен нулю. Для цепи, в которой имеется только активное сопротивление, он равен единице.

Снижение потерь в ЛЭП может быть достигнуто использованием постоянного тока или сверхпроводников. Однако в этих случаях требуются мощные преобразователи напряжения, а также эксплуатация таких линий показала их высокую стоимость и нерентабельность.

*Пример 2.* Электрическая цепь переменного тока содержит последовательно включенные активное сопротивление  $R = 100$  Ом и индуктивное сопротивление  $X_L = 120$  Ом. Для компенсации реактивной мощности в цепь включено емкостное сопротивление  $X_C = 50$  Ом. Напряжение в цепи равно  $U = 127$  В. Определить, на какую величину изменилась потребляемая мощность.

Решение

1. Определяем сопротивление цепи с активным и индуктивным сопротивлениями:

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2} = 156 \text{ Ом.}$$

2. Определяем сопротивление цепи с активным, индуктивным и емкостным сопротивлением:

$$Z_2 = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = 122 \text{ Ом.}$$

3. Определяем потребляемую мощность:

$$P_1 = \left(\frac{U^2}{R}\right) \cdot \left(\frac{Z_1}{R}\right) = 251,6 \text{ Вт}; \quad P_2 = \left(\frac{U^2}{R}\right) \cdot \left(\frac{Z_2}{R}\right) = 196,7 \text{ Вт.}$$

$$DP = 251,6 - 196,7 = 54,9 \text{ Вт.}$$

Вывод. Потребляемая мощность при подключении емкости уменьшилась на 54,9 Вт.

*Пример 3.* Напряжение приемника электрической энергии  $U = 1$  кВ, мощность  $P = 50$  кВт. Определить мощность потерь в проводах, соединяющих приемник с источником энергии, при  $\cos \varphi_1 = 0,8$  и  $\cos \varphi_2 = 0,2$ , если сопротивление проводов  $r_0 = 0,1$  Ом.

Решение

1. Определяем ток приемника в первом и втором случаях :

$$I_1 = \frac{P}{U \cdot \cos j_1} = \frac{50\,000}{1\,000 \cdot 0,8} = 62,5 \text{ А.}$$

$$I_2 = \frac{P}{U \cdot \cos j_2} = \frac{50\,000}{1\,000 \cdot 0,2} = 250 \text{ А.}$$

2. Определяем мощность потерь в соединительных проводах :

$$P_1 = I_1^2 \cdot r_0 = 62,5^2 \cdot 0,1 = 390 \text{ Вт.}$$

$$P_2 = I_2^2 \cdot r_0 = 250^2 \cdot 0,1 = 6250 \text{ Вт.}$$

3. Выражаем в процентах мощности потерь по отношению к мощности приемника:

$$DP_1 = \frac{390 \cdot 100 \%}{50\,000} = 0,78 \% ; \quad DP_2 = \frac{6\,250 \cdot 100 \%}{50\,000} = 12,5 \% .$$

Выводы

1. Повышение  $\cos \varphi$  означает громадную экономию электрической энергии, так как уменьшаются потери в источнике энергии, трансформаторах, воздушных или кабельных сетях.

2. Низкий коэффициент мощности не позволяет полностью использовать установленную мощность источника энергии.

*Пример 4.* К источнику электроэнергии с напряжением  $U = 250$  В и частотой  $f=50$  Гц подключена последовательная цепь, состоящая из активного сопротивления  $R = 30$  Ом, индуктивности  $L = 382$  мГн и емкости  $C = 40$  мкФ.

Определить: реактивные сопротивления индуктивности и емкости; полное сопротивление цепи и ток в ней; активную и реактивные слагающие напряжений на активном сопротивлении, индуктивности и емкости,  $\cos \varphi$ ;  $\sin \varphi$ ; активную, реактивную и полную мощности цепи.

Решение

1. Определяем сопротивление индуктивности  $X_L$ :

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,382 = 120 \text{ Ом.}$$

2. Определяем сопротивление емкости  $X_C$  :

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 40} = 80 \text{ Ом.}$$

3. Определяем полное сопротивление цепи  $Z$ :

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{30^2 + (120 - 80)^2} = 50 \text{ Ом.}$$

4. Определяем ток в цепи  $I$ :

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{250}{50} = 5 \text{ А.}$$

5. Определяем активную и реактивные слагающие напряжения на:

а) активном сопротивлении:

$$U_a = I \cdot R = 5 \cdot 30 = 150 \text{ В;}$$

б) индуктивности:

$$U_L = I \cdot X_L = 5 \cdot 120 = 600 \text{ В;}$$

в) емкости:

$$U_C = I \cdot X_C = 5 \cdot 80 = 400 \text{ В.}$$

6. Определяем углы сдвига фаз между напряжением и током:

$$\cos j = \frac{R}{Z} = \frac{30}{50} = 0,6;$$

$$\sin j = \frac{X_L - X_C}{Z} = \frac{120 - 80}{50} = 0,8.$$

7. Определяем активную мощность цепи:

$$P_a = U_a \cdot I \cdot \cos j = 150 \cdot 5 \cdot 0,6 = 450 \text{ Вт.}$$

8. Определяем реактивную мощность цепи:

$$P_p = (U_L - U_C) \cdot I \cdot \sin j = (600 - 400) \cdot 5 \cdot 0,8 = 800 \text{ ВАР.}$$

9. Определяем полную мощность цепи:

$$P_n = \sqrt{P_a^2 + P_p^2} = \sqrt{450^2 + 800^2} = 918 \text{ Вт.}$$

В рассмотренных выше электрических цепях с сосредоточенными параметрами сопротивления и емкости сосредоточены на отдельных коротких участках. Для этих цепей характерно, что в каждый момент времени ток в любом сечении неразветвленной цепи имеет одно и то же значение.

Цепи, в которых эти параметры распределены по всей длине, называют цепями с распределенными параметрами. В таких цепях токи в разных сечениях неодинаковы по ряду причин. Во-первых, из-за проводимости изоляции отдельных участков, обуславливающей токи утечки; во-вторых, вследствие емкости между отдельными участками, обуславливающей токи смещения и др.

Так как токи утечки пропорциональны напряжению, а токи смещения пропорциональны частоте и напряжению, то с ростом частоты и напряжения их влияние становится более заметным.

К цепям с распределенными параметрами относятся линии и сети, соединяющие источник энергии и потребителя (см. рис. 1). Ток в любом сечении один и тот же; в частности, ток в начале линии  $I_1$  равен току в конце линии  $I_2$ , а напряжение в конце линии  $U_2$  меньше напряжения в начале линии  $U_1$  на величину падения напряжения  $\Delta U$  в проводах.

Гораздо сложнее расчет режима с учетом токов утечки и смещения. В этом случае передачу энергии следует рассматривать как движение электромагнитных волн или тока и напряжения.

При включении генератора в начале линии возникают волны тока и напряжения, которые двигаются от источника (начало линии) к приемнику (конец линии). Когда электромагнитная волна достигает конца линии, ее энергия в общем случае лишь частично поглощается приемником. Поэтому возникают отраженные волны тока и напряжения, перемещающиеся в обратном направлении. Только при подобранном сопротивлении нагрузки вся энергия может поглощаться приемником и отраженные волны будут отсутствовать.

Скорость распространения электромагнитных волн вдоль проводов воздушных линий примерно 300 000 км/с. Тогда длина волны  $\lambda$  равна

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

где  $c$  – скорость распространения электромагнитных волн;  
 $f$  – частота источника энергии.

При частоте  $f = 50$  Гц длина волны  $\lambda = \frac{300\,000}{50} = 6\,000$  км, при частоте  $f = 10^6$  Гц имеем  $\lambda = 300$  м и т.д.

Если длина волны известна, то легко качественно показать распределение тока (или напряжения) вдоль линии в любой момент времени и без вычислений токов утечки и смещения.

Так как длина волны обратно пропорциональна частоте, то одна и та же линия при одной частоте будет длинной линией, а при другой, меньшей частоте может быть и «недлинной».

Любая электрическая линия характеризуется четырьмя параметрами, отнесенными к единице ее длины: активным сопротивлением проводов  $r_0$ , индуктивностью проводов  $L_0$ , активной проводимостью изоляции между проводами  $q_0$  и емкостью между проводами  $C_0$ .

Если активное сопротивление и индуктивность распределены равномерно по всей длине линии, то линию называют однородной.

При исследовании длинных линий, обладающих распределенными параметрами, их обычно заменяют равнозначными схемами. Длинная линия рассматривается состоящей из бесконечно большого числа элементарных ячеек – элементов линии бесконечно малой длины: с активным сопротивлением, индуктивностью, проводимостью изоляции и емкостью, находящихся на разном расстоянии от начала линии.

В каждом элементе линии наблюдаются падение напряжения на активном сопротивлении и индуктивности, а также ответвление тока вследствие проводимости изоляции и емкости.

При синусоидальном напряжении источника энергии для расчета режима линии применяют символический метод. В этом случае используют дифференциальные уравнения однородной линии [1]:

$$-\frac{dU}{dx} = (R_0 + j\omega L_0)I = Z_0 \cdot I, \quad (5)$$

$$-\frac{dI}{dx} = (q_0 + j\omega C_0)U = Y_0 \cdot U, \quad (6)$$

где  $Z_0 = R_0 + j\omega L_0$  – комплекс сопротивления единицы длины линии;

$Y_0 = q_0 + j\omega C_0$  – комплекс проводимости единицы длины линии.

Уравнение (5) показывает, что уменьшение напряжения в линии на единицу ее длины равно току, проходящему в этом сечении линии, умноженному на полное сопротивление единицы длины линии.

Из уравнения (6) следует, что уменьшение тока на единицу длины линии равно напряжению между проводами в данном сечении линии, умноженному на полную проводимость между проводами на единицу длины линии.

## 2. Задачи для самостоятельной работы

**Задача 1.** Напряжение источника электроэнергии  $U_1$ , В. Расстояние от источника до потребителя  $l$ , км. Напряжение в конце линии электропередачи

$U_2$ , В. Определить сечение проводов для передачи мощности  $P_2$ , кВт и проверить сечение на нагрев. Исходные данные для расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
$U_1$ , В	125	225	220	127	120	230
$U_2$ , В	120	212	215	122	115	225
$l$ , км	1,0	2,0	3,0	2,5	2,0	1,5
$P_2$ , кВт	1,0	0,8	3,0	2,0	2,5	1,5
Вид провода	Медь	Медь	Алюминий	Медь	Алюминий	Медь

Продолжение табл. 1

Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
$U_1$ , В	220	125	127	220	127	127
$U_2$ , В	218	120	125	215	125	125
$l$ , км	2,0	1,5	1,0	1,5	0,8	1,0
$P_2$ , кВт	1,2	3,0	3,5	2,5	4,0	3,2
Вид провода	Алюминий	Медь	Алюминий	Медь	Алюминий	Медь

**Задача 2.** Электрическая цепь переменного тока содержит последовательно включенные активное сопротивление  $R$ , Ом и индуктивное сопротивление  $X_L$ , Ом. Для компенсации реактивной мощности в цепь включено емкостное сопротивление  $X_C$ , Ом. Напряжение в цепи  $U = 127$  В. Определить, на какую величину изменилась потребляемая мощность. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
$R$ , Ом	110	90	80	100	120	95
$X_L$ , Ом	125	120	110	130	135	115
$X_C$ , Ом	55	40	35	50	55	45

Продолжение табл. 2

Параметр	Номер варианта
----------	----------------

	7	8	9	10	11	12
$R, \text{ Ом}$	85	115	125	75	130	85
$X_L, \text{ Ом}$	130	145	150	115	160	125
$X_C, \text{ Ом}$	60	65	70	45	80	65

**Задача 3.** Напряжение приемника электрической энергии  $U$ , кВ, мощность  $P$ , кВт. Определить мощность потерь в проводах, соединяющих приемник с источником энергии, при  $\cos \varphi_1 = 0,8$  и  $\cos \varphi_2 = 0,2$ , если сопротивление проводов  $r_0 = 0,1$  Ом. Исходные данные для расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
$U, \text{ кВ}$	1,0	1,5	1,7	2,0	2,3	2,5
$P, \text{ кВт}$	45	48	50	52	55	57

Продолжение табл. 3

Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
$U, \text{ кВ}$	2,7	3,0	1,2	1,9	2,4	3,1
$P, \text{ кВт}$	60	62	46	49	54	61

**Задача 4.** К источнику электроэнергии с напряжением  $U = 250$  В и частотой  $f = 50$  Гц подключена последовательная цепь, состоящая из активного сопротивления  $R$ , индуктивности  $L$  и емкости  $C$ .

Определить: реактивные сопротивления индуктивности и емкости; полное сопротивление цепи и ток в ней; активные и реактивные слагающие напряжений на активном сопротивлении, индуктивности и емкости;  $\cos \varphi$  и  $\sin \varphi$ ; активную, реактивную и полную мощности цепи. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
$R, \text{ Ом}$	35	37	39	40	34	36
$L, \text{ мГн}$	390	395	400	405	350	360
$C, \text{ мкФ}$	45	50	55	60	40	44

Продолжение табл. 4

Параметр	Номер варианта
----------	----------------

	7	8	9	10	11	12
$R$ , Ом	45	50	47	49	42	44
$L$ , мГн	410	420	405	380	400	385
$C$ , мкФ	65	70	62	42	45	41

### Контрольные вопросы

1. Способы передачи электроэнергии и их характеристика.
2. Перечислите элементы, входящие в состав электрической сети.
3. Понятие о потерях напряжения в линиях электропередачи и факторы, от которых они зависят.
4. Почему в линиях электропередач применяются высокие напряжения?
5. Характеристика факторов, от которых зависит сечение провода в высоковольтных линиях.
6. Что такое активная мощность в цепи переменного тока и от чего она зависит?
7. Понятие о реактивной мощности и способы ее компенсации.
8. Понятие о полной мощности в цепи переменного тока и методика ее расчета.
9. Что показывает коэффициент мощности и методика его расчета ?
10. Почему в электрических цепях с распределенными параметрами токи в разных сечениях проводов неодинаковы?
11. Характеристика параметров длинной электрической линии.
12. Пояснить причины образования отраженных электромагнитных волн в конце линии электропередачи.

### Литература

1. Володин, В. И. Энергосбережение : учеб. пособие / В. И. Володин. – Минск : БГТУ, 2001.
2. Мансуров, Н. Н. Теоретическая электротехника : учеб. пособие / Н. Н. Мансуров, В. С. Попов. – М. : Энергия, 1968.

## Приложение

Таблица П.1

Материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности на разрыв, кг/мм <sup>2</sup>	Температура плавления, °С	Удельное сопротивление, Ом·мм <sup>2</sup> /м
Алюминий	2,7	14–22	657	0,029
Вольфрам	18,7	415	3370	0,056
Медь	8,9	25–40	1083	0,0175
Сталь	7,8	80–150	1400	0,13–0,25
Железо	7,7	—	1520	0,13–0,3

Таблица П.2

Поперечное сечение, мм <sup>2</sup>	Наибольший допустимый ток, А	Поперечное сечение, мм <sup>2</sup>	Наибольший допустимый ток, А
0,50	10	35	150
0,75	13	50	190
1,0	15	70	240
1,5	20	95	290
2,5	27	120	340
4,0	36	150	390
6,0	46	185	450
10	68	240	535
16	90	300	615
25	120	400	735

Учебное издание

**Навоша** Адам Имполитович  
**Гончарик** Елена Валентиновна  
**Лисименко** Иван Филиппович  
**Рылов** Александр Сергеевич

## **ОЦЕНКА СПОСОБОВ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Методическое пособие  
для практических занятий по дисциплине  
«Основы экологии и энергосбережения»

Редактор М. В. Тезина  
Корректор Е. Н. Батурчик

---

Подписано в печать 21.01.2008.  
Гарнитура «Таймс».  
Уч.-изд. л. 1,1.

Формат 60×84 1/16.  
Печать ризографическая.  
Тираж 300 экз.

Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 1,28.  
Заказ 629.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровки, 6