

Лекционные материалы

Дисциплина «Электроэнергетические системы и сети»

Разработаны доцентом кафедры «Электроэнергетические системы»
ВятГУ Вычегжаниным А.В.

Линии электропередачи. Схемы замещения и параметры.



Схемы замещения линий электропередачи

- Основные допущения, принимаемые для составления схем замещения линий при расчетах установившихся режимов.
- Параметры схемы замещения. Сопротивления.
- Параметры схемы замещения. Проводимости.
- Понятие пропускной способности. Способы снижения реактивного сопротивления линий.
- Некоторые особенности схем замещения линий различного номинального напряжения.

Основные допущения, принимаемые для составления схем замещения линий при расчетах установившихся режимов

Назначение линий электропередачи – транспорт электрической энергии от ее источников и распределение между отдельными потребителями.

При этом очевидно, что линии являются протяженными элементами.

В большинстве случаев можно полагать, что параметры линии электропередачи (активное и реактивное сопротивления, активная и емкостная проводимости) равномерно распределены по ее длине.

Для линий электропередачи длиной менее 300 км можно не учитывать распределенность параметров линии вдоль ее длины.

Представление линий в расчетных схемах установившихся режимов

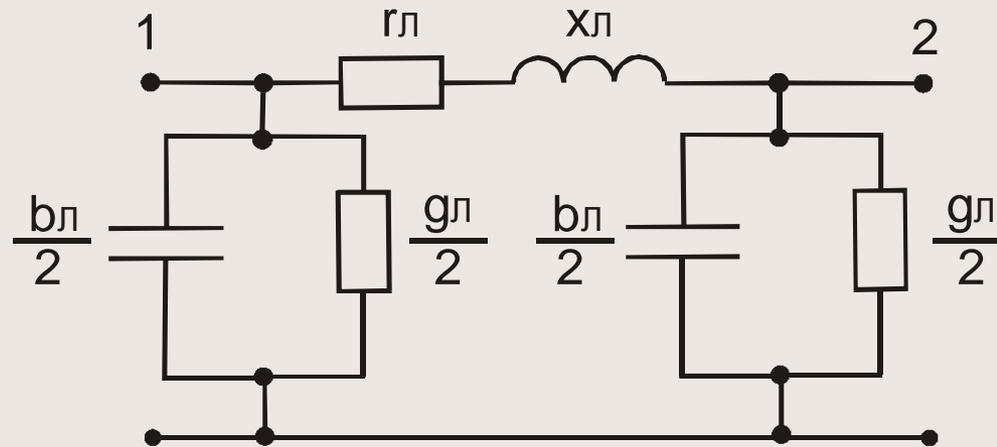
Общее обозначение линий электропередачи в
расчетных схемах



Обозначение кабельных линий электропередачи в
расчетных схемах



Обычно применяются П-образные схемы замещения



- $r_{л}$ – активное сопротивление проводов ЛЭП
- $x_{л}$ – реактивное сопротивление проводов ЛЭП
- $g_{л}$ – активная проводимость ЛЭП
- $b_{л}$ – реактивная проводимость ЛЭП

Активное сопротивление определяется по формуле:

$$r_l = \frac{\rho}{F} \cdot l = \frac{1000}{\gamma \cdot F} \cdot l = r_o \cdot l,$$

- где ρ - удельное активное сопротивление провода или жилы кабеля, Ом·мм²/км ;
- γ - удельная проводимость, м/(Ом·мм²);
- l - длина линии, км;
- F - сечение провода или жилы кабеля, мм²;
- r_o - погонное активное сопротивление, отнесенное к 1 км длины линии, Ом/км.

Реактивное сопротивление определяется по формуле:

$$x_l = x_0 \cdot l,$$

где x_0 - погонное индуктивное сопротивление, Ом/км.

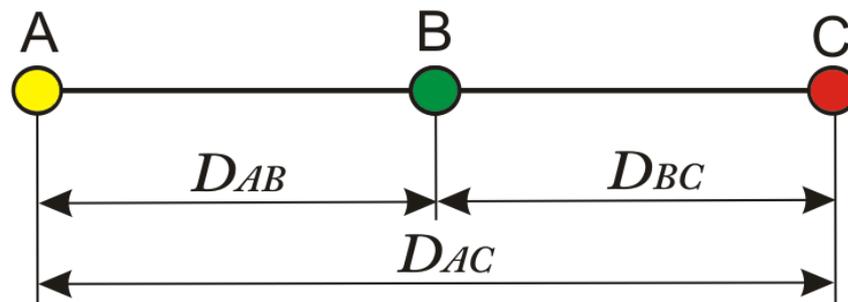
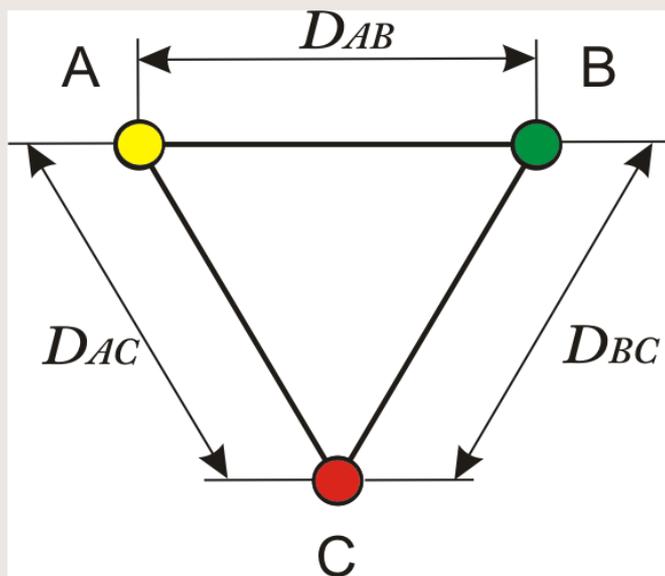
$$x_0 = 2\pi f \left(4,6 \cdot \lg \left(\frac{D_{cp}}{r_{np}} \right) + 0,5\mu \right) \cdot 10^{-4},$$

- где f - частота сети, Гц;
- D_{cp} - среднегеометрическое расстояние между проводами фаз, см;
- r_{np} - радиус провода, см.

Среднегеометрическое расстояние $D_{ср}$

$$D_{ср} = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{BC} \cdot D_{CA}},$$

где D_{AB} , D_{BC} , D_{CA} - расстояния между проводами фаз **A**, **B**, **C** соответственно.



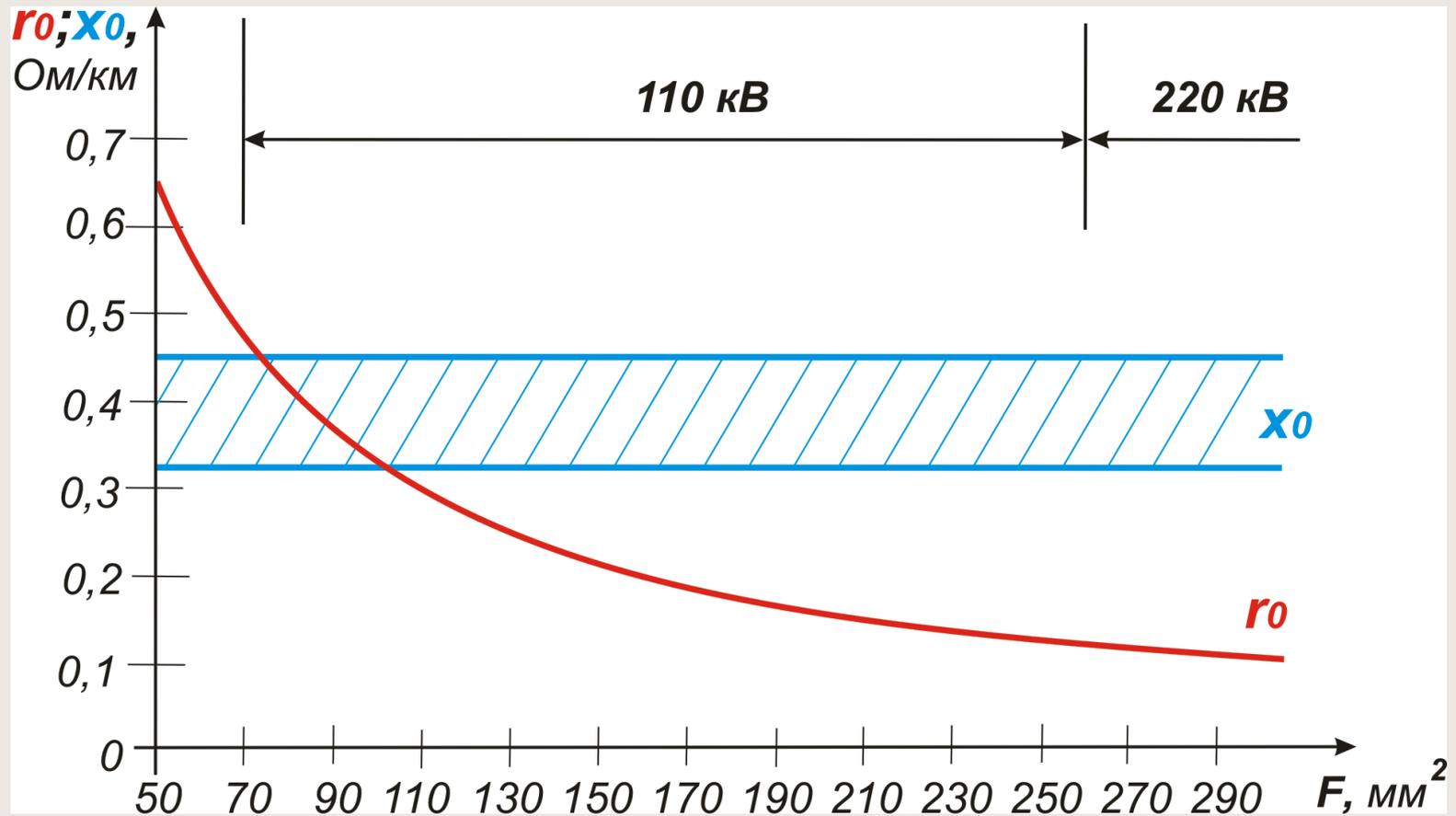
При отсутствии информации о расположении проводов на опорах D_{CP} определяют по таблице.

$U_{ном}, \text{кВ}$	6 и 10	35	110	150	220	500	750
$D_{CP}, \text{м}$	1,1	3,5	5,0	6,5	8,0	14,0	19,5

При определении x_0 воздушной линии электропередачи на частоте 50 Гц формула примет вид:

$$x_0 = 0,144 \cdot \lg \left(\frac{D_{cp}}{r_{np}} \right) + 0,0157,$$

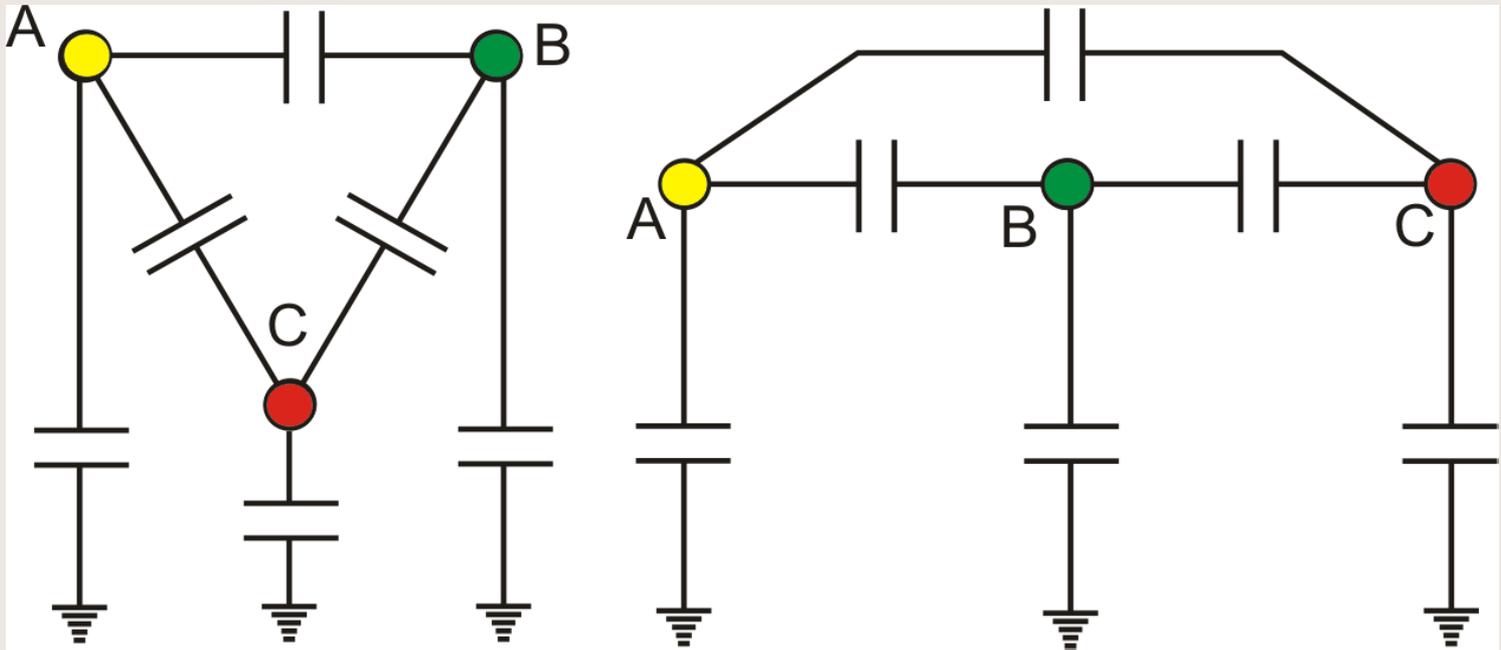
Соотношения погонных **активных** r_0 и **реактивных** x_0 сопротивлений воздушных линий электропередачи



Активная проводимость ЛЭП

- Активная проводимость g_l обусловлена несовершенством изоляции, т.е.
 - утечкой тока через изоляторы, и
 - потерями активной мощности на корону (диэлектрические потери).
- Токи утечки через изоляторы воздушных линий малы и ими можно пренебречь.
- Для снижения потерь мощности на корону сечения проводов выбирают таким образом, чтобы напряженность электрического поля на поверхности провода не превышала некоторого критического значения, тем самым исключалась бы возможность образования общей короны.
- Поэтому при расчете установившихся режимов сетей $U_{ном} \leq 220$ кВ активная проводимость линий не учитывается.

Емкостная проводимость $b_{\text{л}}$ обусловлена наличием емкостных связей между проводами разных фаз и между проводами и землей.



Емкостная проводимость b_l определяется по формуле:

$$b_l = b_0 \cdot l,$$

где b_0 - погонная емкостная проводимость, См/км, которая зависит от среднегеометрического расстояния между проводами фаз ВЛ (D_{cp}) и радиусом провода (r_{np}):

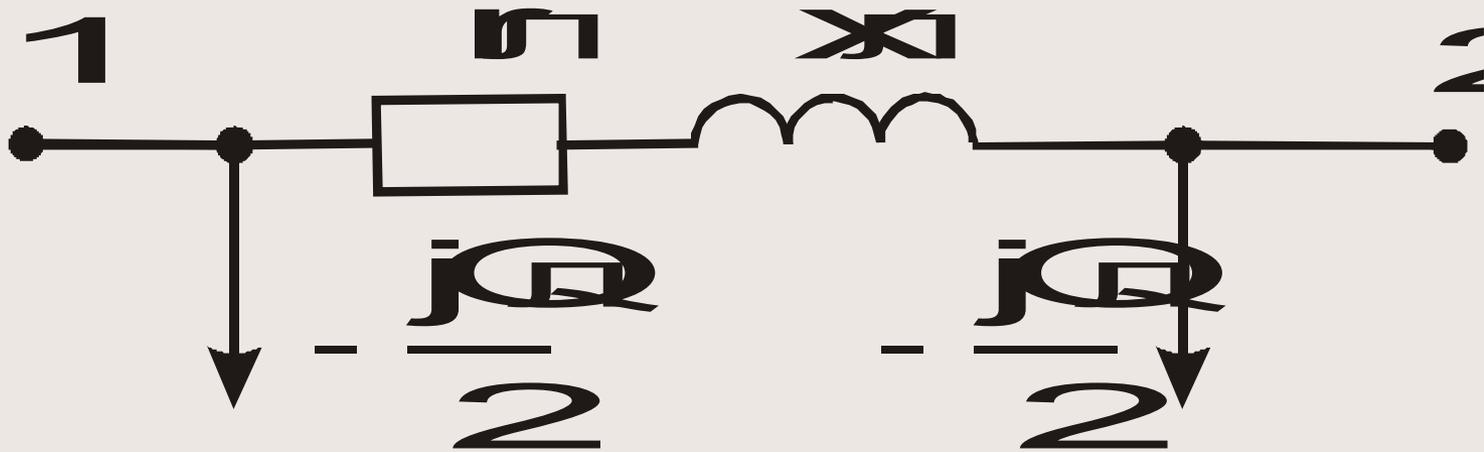
$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{cp}}{r_{np}}} \cdot 10^{-6}.$$

Для большинства расчетов электрических сетей 110-220 кВ вместо емкостной проводимости в схеме замещения учитывается зарядная мощность линии

Q_L , равная:

$$Q_L = U^2 \cdot b_L.$$

При этом схема замещения будет иметь вид:



В линиях электропередачи напряжением 330 кВ и выше для снижения индуктивного сопротивления и уменьшения потерь активной мощности на корону выполняется расщепление фазных проводов на несколько проводов, что соответствует увеличению эквивалентного радиуса $r_{\text{э}}$, определяемого по формуле:

$$r_{\text{э}} = \sqrt[n]{r_{\text{пр}} \cdot a_{\text{ср}}^{n-1}},$$

где $r_{\text{пр}}$ - радиус провода, см;

$a_{\text{ср}}$ - среднегеометрическое расстояние между проводами в фазе, см.

n - число проводов в одной фазе.

В этом случае x_0 и b_0 рассчитываются по формулам:

$$x_0 = 0,144 \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r_{\text{Э}}} + \frac{0,0157}{n},$$

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{cp}}{r_{\text{Э}}}} \cdot 10^{-6}.$$

А погонное активное сопротивление линии r_0 уменьшается в n раз.

Погонные сопротивления и проводимости линии электропередачи можно определить и с помощью специальных таблиц.

- Погонные активные сопротивления r_0 в таких таблицах указаны для соответствующих марок проводов.
- Величина погонного индуктивного сопротивления x_0 для **сталеалюминиевых проводов** и проводов из цветного металла дается в зависимости от сечения F и среднегеометрического расстояния между фазами $D_{ср}$, а для **стальных проводов** еще необходимо знать ток I , протекающий по линии.
- Значение емкостной проводимости b_0 определяют по известным значениям сечения провода F и среднегеометрического расстояния $D_{ср}$.

Пропускная способность линии

- Зачем требуется снижать индуктивные сопротивления линий?
- Сети номинального напряжения **220 кВ и выше** при традиционном исполнении линий электропередачи характеризуются тем, что **величина активного сопротивления проводов значительно меньше индуктивного**. В такой ситуации **пропускная способность линии определяется ее индуктивным сопротивлением**.

$$P = \frac{U_2 \cdot U_1}{x_L} \cdot \sin \delta.$$

Поэтому способам уменьшения индуктивного сопротивления линии должно уделяться особое внимание.

Основными способами уменьшения индуктивного сопротивления линии являются:

- **расщепление** фазных проводов;
- **сближение** фазных проводов (компактные ЛЭП);
- **транспозиция** фазных проводов. (Транспозиция проводов позволяет не столько снижать индуктивные сопротивления, сколько симметрировать напряжения различных фаз на приемном конце линии, что в целом снижает индуктивное сопротивление фаз, находящихся в наиболее неблагоприятном положении, но повышает сопротивление других фаз.)

$$x_0 = 0,144 \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r_{\text{Э}}} + \frac{0,0157}{n},$$

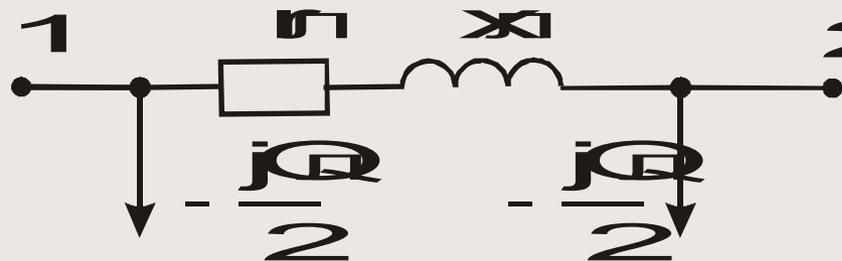
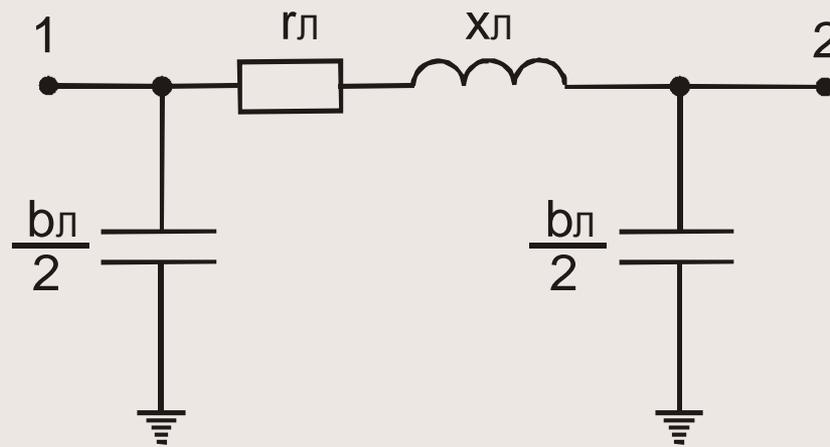
Цикл транспозиции одноцепной линии

- Под транспозицией проводов понимают последовательное изменение взаимного расположения проводов фаз по отношению друг к другу и к земле на разных участках линии.
- При этом провод каждой фазы проходит одну треть длины участка на одном, вторую – на другом и третью – на третьем месте. Одно такое тройное перемещение проводов называют циклом транспозиции.



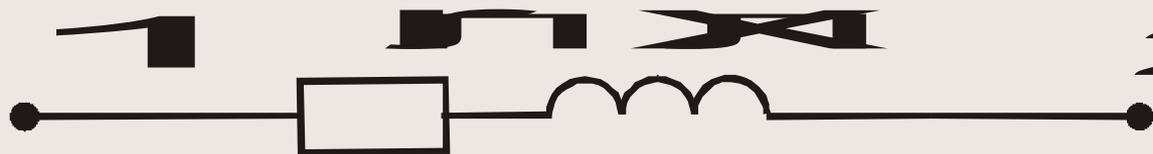
Упрощенные схемы замещения линий электропередачи:

Воздушная и кабельная линии **110-220 кВ**

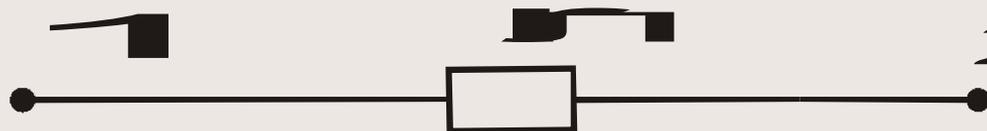


Упрощенные схемы замещения линий электропередачи:

Воздушные линии до **35 кВ** включительно



Кабельные линии до **10 кВ**



Источники дополнительных сведений

- **Идельчик В.И. Электрические системы и сети. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 588 с.**
- **Электрические системы. Т. 2. Электрические сети/ Под ред. В.А. Веникова. - М.: Высшая школа, 1971. - 440 с.**
- **Передача и распределение электрической энергии. Учебное пособие. / Герасименко А.А., Федин В.Т. - Изд. 2-е. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. - 715, [2] с. – (Высшее образование).**
- **Боровиков В.А. и др. Электрические сети энергетических систем. Изд. 3-е, переработанное. Л., «Энергия», 1977.**
- **Черепанова Г.А., Вычегжанин А.В. Установившиеся режимы электрических сетей в примерах и задачах. - Киров: изд. ВятГУ, 2009 - 114 с.**



Спасибо за внимание!