Электрические сети и энергосистемы

Лекция № 5

Параметры ЛЭП.

Активное и реактивное сопротивления ВЛ и КЛ.

Емкостная и активная проводимости ЛЭП.

ЛЭП с расщепленными фазами.

Транспозиция проводов трехфазной ЛЭП.

Схемы замещения ЛЭП

Параметры ЛЭП

Высоковольтные ЛЭП являются *длинными линиями (ЛЭП с распределенными параметрами)*, вдоль которых равномерно распределены:

- тепловые потери энергии, которые учитываются в виде активных сопротивлений;
- переменное электромагнитное поле, которое наводит ЭДС само- и взаимоиндукции;
- токи смещения, обусловленные емкостными проводимостями;
- токи утечки через изоляцию, обусловленные активной проводимостью;
- коронный разряд, возникающий при плохих погодных условиях.

Расчет таких ЛЭП сложен, поэтому их представляют в виде схем с сосредоточенными параметрами.

Активное и реактивное сопротивления ВЛ и КЛ

Различают *омическое* сопротивление проводов постоянному току и *активное* сопротивление переменному току с учетом поверхностного эффекта.

Активные сопротивления проводов и жил, изготовленных из цветного металла практически не отличаются от их омических сопротивлений (не более 0,5 %).

В проводах, выполненных из стали сильно проявляется *поверхностный эффект* (*скин-эффект*), поэтому их сопротивления существенно зависят от тока в них.

Сопротивление сталеалюминиевых (АС) проводов принимают равным сопротивлению алюминиевой части.

Активное и реактивное сопротивления ВЛ и КЛ

Сопротивление проводов и жил существенно зависит от температуры:

$$R_\theta = R(1 + \alpha(\theta + 20^0)) \qquad (4.1)$$

где α – температурный коэффициент сопротивления, который для Al и Cu равен 0,004;

θ – температура провода;

R – сопротивление провода при температуре 20 град (справочные данные).

Активное и реактивное сопротивления ВЛ и КЛ

Индуктивное сопротивление провода характерно только для цепей, передающих переменный ток, что объясняется выражением:

$$X = \omega L \tag{4.2}$$

где ω – угловая частота, равная для постоянного тока нулю;

L – индуктивность.

Удельное индуктивное сопротивление провода в системе «провод-земля» можно определить по выражению, Ом/км:

$$x_0 = x_0^{|} + x_0^{||} \tag{4.3}$$

где $x_0^{|}$ – *внешнее* индуктивное сопротивление;

$x_0^{||}$ – *внутреннее* индуктивное сопротивление.

Активное и реактивное сопротивления ВЛ и КЛ

Внутреннее индуктивное сопротивление обусловлено магнитными полями, сосредоточенными внутри провода. Определяется свойствами материала и равно, Ом/км:

$$x_0^{\parallel} = 0{,}016\mu \qquad (4.4)$$

где μ – относительная магнитная проницаемость материала провода.

Для Al и Cu собственная магнитная проницаемость на частоте тока 50 Гц равна приблизительно 1, поэтому внутреннее сопротивление для таких проводов принимается равным 0,016 Ом/км. Для стали μ сильно зависит от тока в проводе.

Активное и реактивное сопротивления ВЛ и КЛ

Внешнее индуктивное сопротивление фазы ЛЭП обусловлено магнитными потоками, расположенными вне провода и геометрическими размерами системы проводов и проводов и земли. Определяется выражением, Ом/км:

$$x_0^{|} = 0{,}145 \lg \frac{D_{ср}}{r_{пр}} \qquad (4.5)$$

где $D_{ср}$ – среднегеометрическое расстояние между фазными проводами, м, равное

$$D_{ср} = \sqrt[3]{D_{AB} D_{AC} D_{BC}} \qquad (4.6)$$

$r_{пр}$ – радиус провода, м.

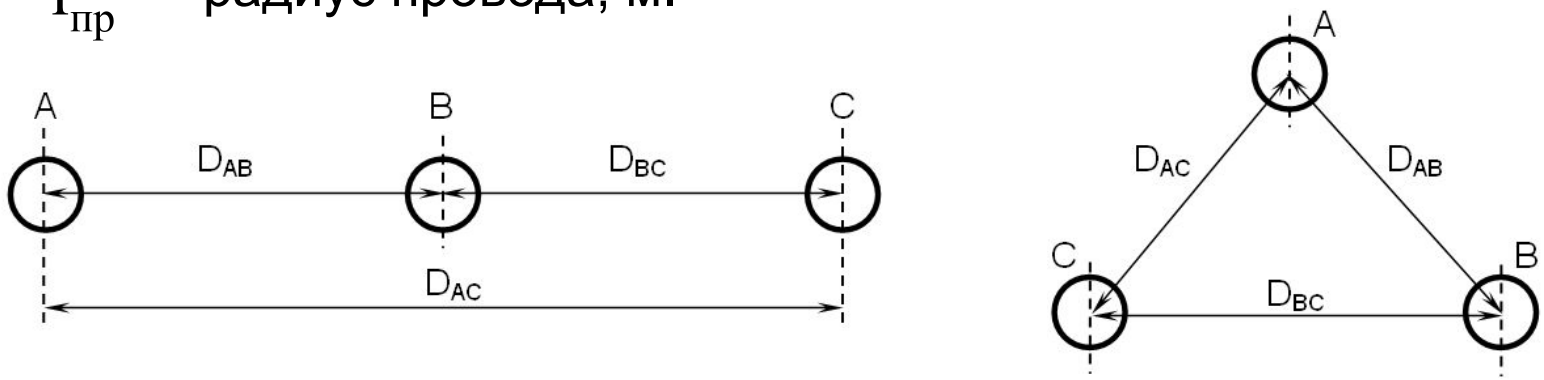


Рис. 7. К определению среднегеометрического расстояния

Активное и реактивное сопротивления ВЛ и КЛ

Среднегеометрическое расстояние между проводами ВЛ зависит от класса напряжения сети (см. лекцию № 3).

Индуктивное сопротивление кабельных линий в несколько раз меньше чем воздушных.

Таблица 4.1

Средние значения индуктивного сопротивления для ЛЭП различного класса напряжения

$U_н$, кВ	110	35	6; 10	до 1
Среднее значение x_0, Ом/км:				
ВЛ	0,42	0,4	0,36	0,34
КЛ	---	0,12	0,08	0,07

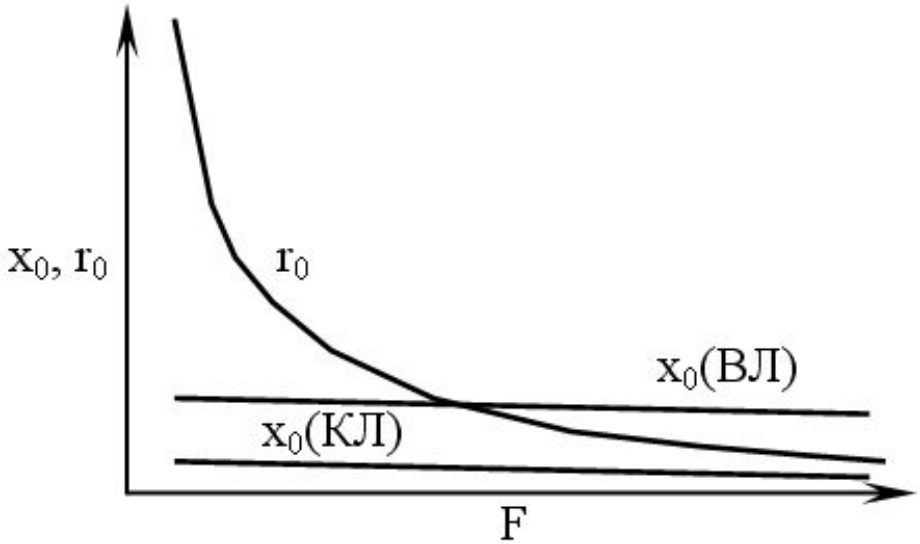


Рис. 8. Примерные зависимости сопротивления проводов ВЛ и КЛ от сечения

Емкостная и активная проводимости ЛЭП

Емкостная проводимость обусловлена емкостями между фазами, фазными проводами и землей. Для ВЛ с частотой 50 Гц она может быть определена общим выражением, См/км:

$$b_0 = \omega C_0 = \frac{7{,}58}{\lg \frac{D_{ср}}{r_{пр}}} 10^{-6} \qquad (4.7)$$

Рабочая емкость КЛ существенно выше чем ВЛ и сильно зависит от конструкции кабеля.

Емкостная и активная проводимости ЛЭП

Активная проводимость ЛЭП обусловлена потерями активной мощности (ΔP) из-за несовершенства изоляции (утечки по поверхности изоляторов, токов проводимости (смещения) в материале изолятора) и ионизации воздуха вокруг проводника вследствие коронного разряда. Удельная активная проводимость ВЛ определяется выражением, См/км:

$$g_0 = \frac{\Delta P}{U_{ном}^2} 10^{-3} \qquad (4.8)$$

Коронирование зависит от:

- напряжения ВЛ;
- радиуса провода;
- состояния поверхности провода;
- от АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ.

Емкостная и активная проводимости ЛЭП

Для снижения потерь на корону до экономически приемлемого уровня ПУЭ устанавливают минимальные сечения (диаметры) проводов:

- для ВЛ 110 кВ – АС-70 (11,8 мм);
- для ВЛ 220 кВ – АС-240 (21,6 мм).

Потери мощности на корону учитывают только при электрических расчетах ВЛ напряжением 330 кВ и выше.

Активные потери КЛ определяются только свойствами материала изоляции жил.

$$g_0 = b_0 \mathrm{tg}\delta \qquad (4.9)$$

где $\mathrm{tg}\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь, определяющий токи утечки через изоляцию.

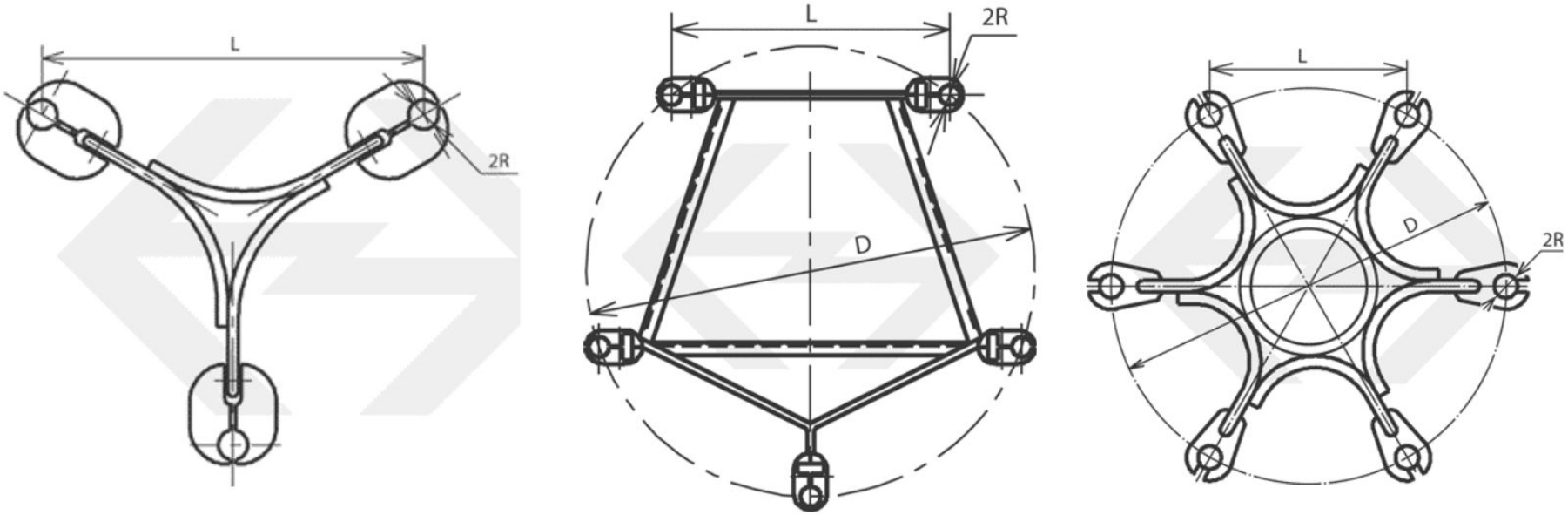
Активная проводимость учитывается для КЛ с номинальным напряжением 110 кВ и выше.

ЛЭП с расщепленными фазами

Расщепление фаз используют на высоковольтных ВЛ для:

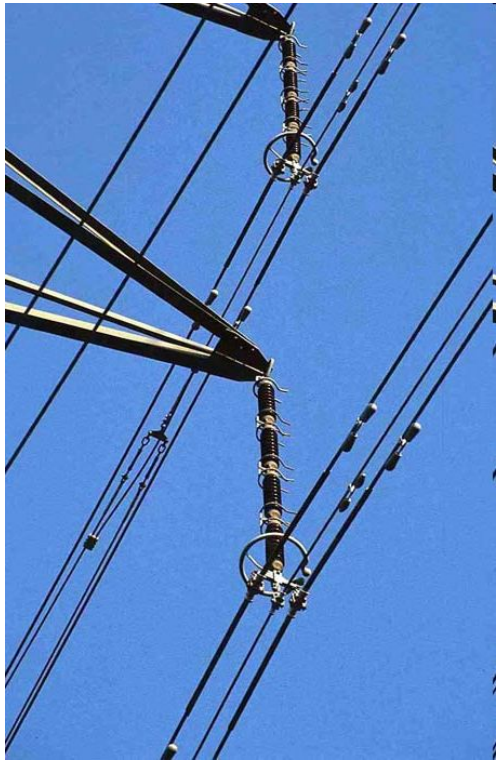
- уменьшения индуктивного сопротивления;
- ослабления «короны»;
- повышения пропускной способности ЛЭП.

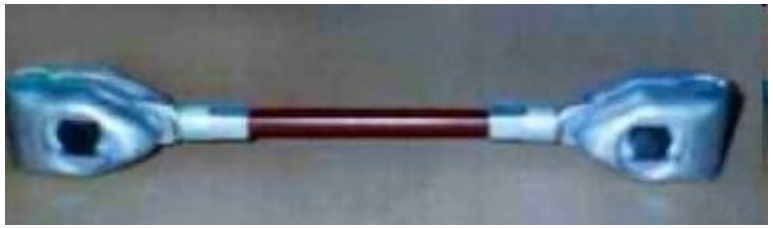
Провода в фазе располагаются по углам равностороннего многоугольника и фиксируются в пролете проводящими распорками.



ЛЭП с расщепленными фазами

Внешний вид расщепленных фаз и проводящих распорок





ЛЭП с расщепленными фазами

Внешний вид ЛЭП с расщепленными фазами

ЛЭП с расщепленными фазами

Согласно ПУЭ в фазе ЛЭП следует использовать:

- при 330 кВ – 2*АСО-240 (1*АСО-600);
- при 500 кВ – 3*АСО-400 (2*АСО-700);
- при 750 кВ – 4-5*АСО-400.

Фазы ЛЭП напряжением 220 кВ расщепляются редко.

При *n* проводах в фазе увеличивается эквивалентный радиус расщепления конструкции фазы:

$$r_{пр}^{экв} = \sqrt[n]{r_{пр} a^{n-1}} \qquad (4.10)$$

где a – расстояние между проводами в фазе, равное 30-60 см .

В соответствии с (4.5) при увеличении радиуса снижается индуктивное сопротивление, но при этом, в соответствии с (4.7) возрастает емкостная проводимость.

Транспозиция проводов трехфазной ЛЭП

При транспозиции линия в пределах *цикла* (9 – 10 км) делится на три участка (*шага*) (3 – 3,5 км), на которых каждый из трех проводов занимает все три возможных положения, чем достигается одинаковость параметров фаз.

Рис. 9. Схема транспонированной ЛЭП

Схемы замещения ЛЭП

При электрических расчетах сетей используют П-образные схемы замещения набор параметров которых зависит от целей расчета.

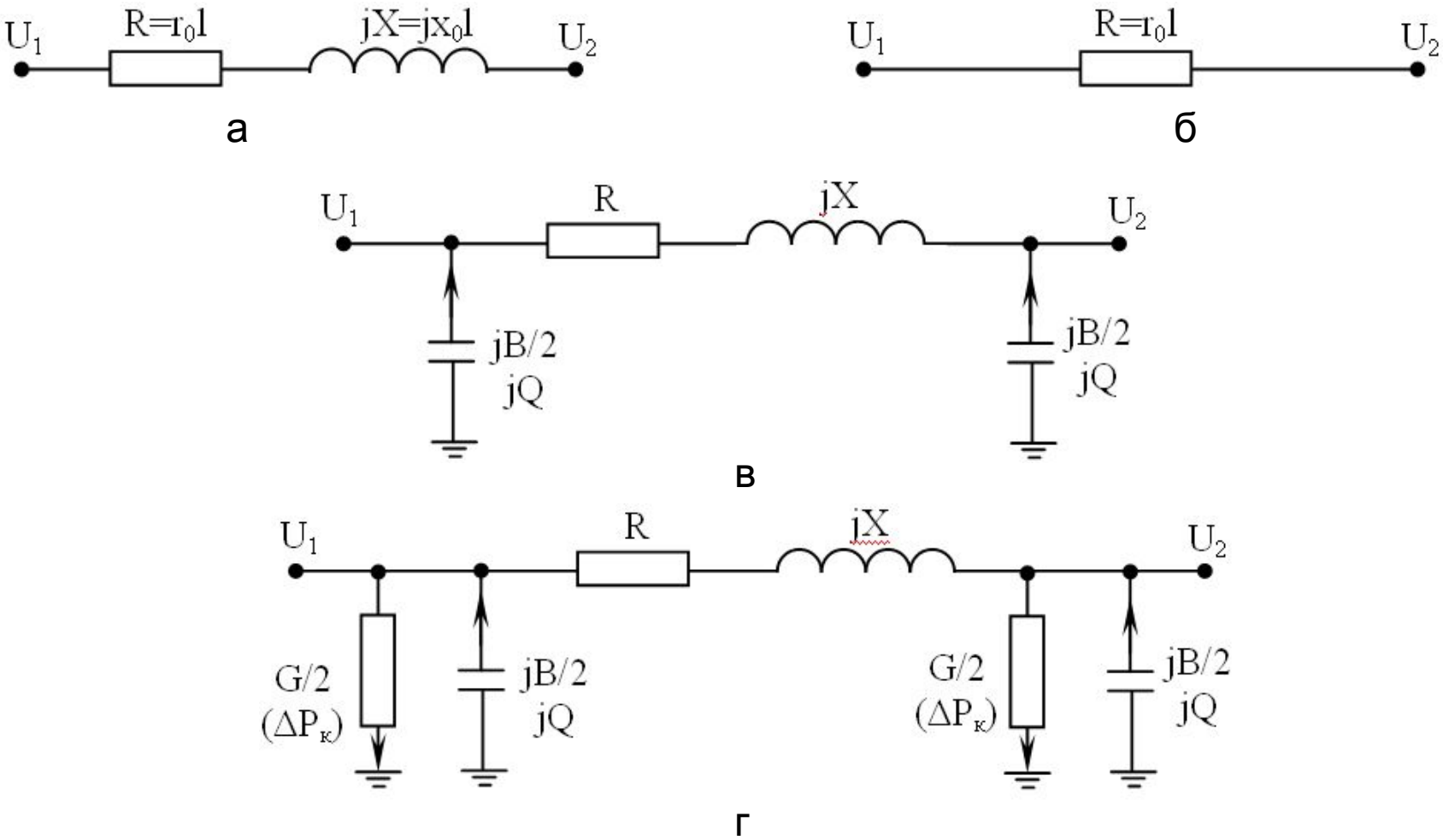


Рис. 10. Схемы замещения ВЛ и КЛ

Схемы замещения ЛЭП

Схема, приведенная на рис. 10, *а* используется при расчетах ВЛ 0,4–35 кВ и КЛ 0,4–20 кВ. (присутствуют R и X)

Схема, приведенная на рис. 10, *б* используется при расчетах КЛ 0,4–10 кВ малых сечений. (присутствует только R, X - пренебрегается)

Схема, приведенная на рис. 10, *в* используется при расчетах ВЛ 110–220 кВ и КЛ напряжением от 35 кВ.

Схема, приведенная на рис. 10, *г* используется при расчетах, где требуется вычисление потерь электроэнергии.

В схемах *в* и *г* необходимость учета емкости и зарядной мощности ЛЭП зависит от соизмерения зарядной и нагрузочной мощности .