

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ВЛ И СМЕЖНЫХ КОММУНИКАЦИЙ



- 1. Влияние ВЛ на смежные коммуникации.***
- 2. Емкостное влияние***
- 3. Индуктивное влияние***



Определение ВЛ

Воздушная линия электропередачи (ВЛ)

- устройство, предназначенное для передачи или распределения электрической энергии по проводам.



Классификация ВЛ

По роду тока

- ВЛ переменного тока
- ВЛ постоянного тока

По напряжению

- ВЛ до 1 кВ (ВЛ низшего класса напряжений)
- ВЛ 1 - 35 кВ (ВЛ среднего класса напряжений)
- ВЛ 110 - 220 кВ (ВЛ высокого класса напряжений)
- ВЛ 330 - 500 кВ (ВЛ сверхвысокого класса напряжений)
- ВЛ 750 кВ и выше (ВЛ ультравысокого класса напряжений)

Влияние ВЛ на смежные коммуникации

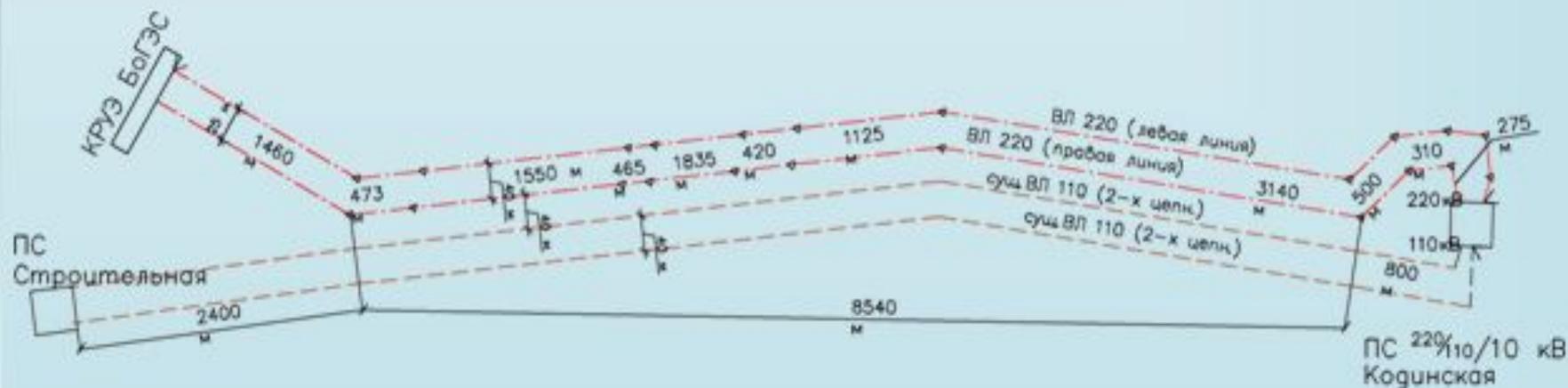
Различают три вида влияния:

- **емкостное** (под действием электрического поля, создаваемого напряжением провод ВЛ - земля);
- **индуктивное**, создаваемое магнитным полем токов, протекающих по проводам ВЛ;
- **кондуктивное** (гальваническое), создаваемое токами, протекающими в земле.

- Кондуктивное влияние могут оказывать ВЛ как постоянного, так и переменного тока.
- Индуктивное влияние могут оказывать только ВЛ переменного тока.
- Емкостное влияние могут оказывать ВЛ переменного тока.
- Емкостное влияние ВЛ постоянного тока из-за наличия утечки по изоляции и сопротивления нагрузки смежной коммуникации практически отсутствует.
- Подземные коммуникации (трубопроводы, кабели и т.п.) подвержены только индуктивному и кондуктивному влиянию.
- Надземные коммуникации могут быть подвержены всем трем видам влияний.

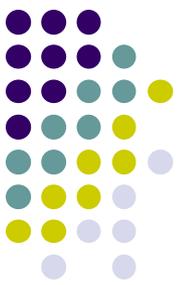
В качестве смежных коммуникаций может оказаться протяженное оборудование, попавшее в зону сближения с ВЛ:

- другие ВЛ (напр. выведенные в ремонт),
- воздушные линии связи,
- надземные и подземные трубопроводы,
- кабели связи, силовые кабели,
- и т.п.



Режимы работы ВЛ

- При рассмотрении влияния ВЛ различают **нормальный, вынужденный и аварийный режимы ВЛ.**
- Под нормальным режимом понимается тот режим, при котором линия работает постоянно.
- Вынужденный режим - это тот, при котором ВЛ вынуждена работать определенный промежуток времени в режиме, отличающемся от нормального.
- Аварийный режим возникает при нарушении нормальной работы ВЛ, например, при обрыве и заземлении провода одной из фаз ВЛ.
- При вынужденном и аварийном режимах работы ВЛ влияние на линии связи резко возрастает по сравнению с нормальным режимом работы.



Емкостное влияние ВЛ

Емкостное влияние двух тел

Рассмотрим два тела с зарядами T_1 и T_2 .

Зависимости между потенциалами и зарядами тел:

Потенциал первого тела: $U_1 = \alpha_{11}\tau_1 + \alpha_{12}\tau_2$

Потенциал второго тела: $U_2 = \alpha_{21}\tau_1 + \alpha_{22}\tau_2$

где

a_{11} и a_{22} – собственные потенциальные коэффициенты тел 1 и 2,

a_{12} и a_{21} – взаимные потенциальные коэффициенты тел 1 и 2.

Физический смысл потенциальных коэффициентов

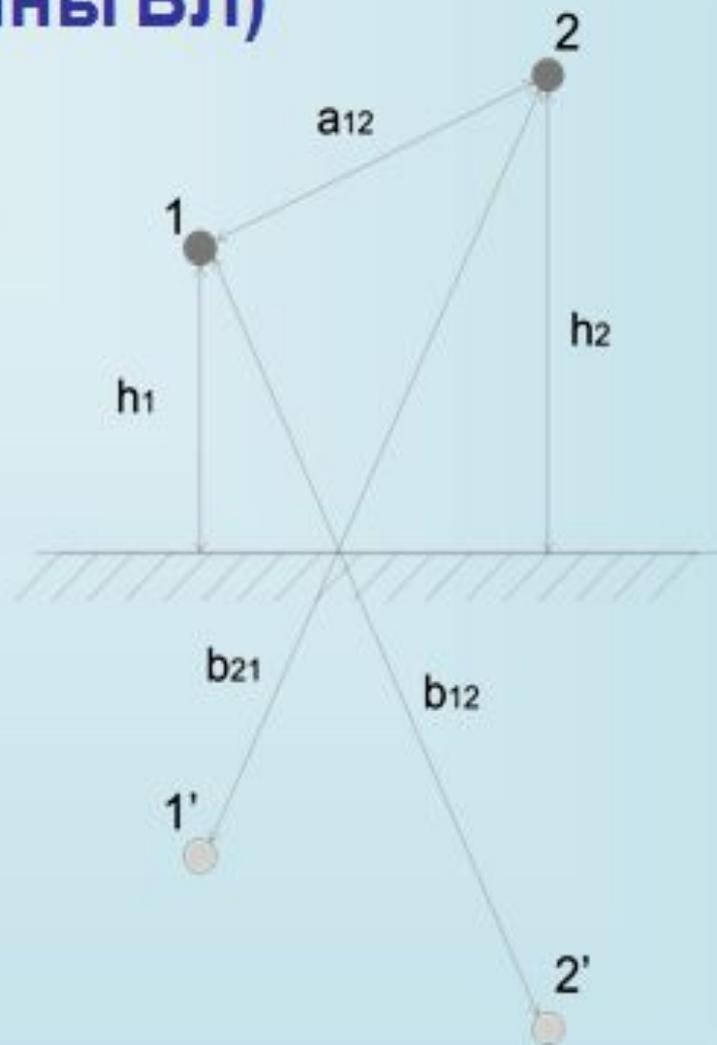
- Собственный потенциальный коэффициент a_{nn} – потенциал, который приобретает тело с собственным зарядом 1 Кл, при этом заряды остальных тел равны 0.
- Взаимный потенциальный коэффициент a_{nm} – потенциал, приобретаемый телом с нулевым зарядом от другого тела с зарядом, равным 1 Кл.
- Потенциальные коэффициенты определяются величиной, формой и расположением проводников, а также диэлектрической проницаемостью среды.

Определение потенциальных коэффициентов проводов фаз ВЛ (на 1 м длины ВЛ)

$$\alpha_{nn} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h_n}{r_n}$$

r_n – радиус провода

$$\alpha_{nm} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{b_{nm}}{a_{nm}}$$



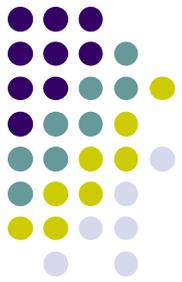
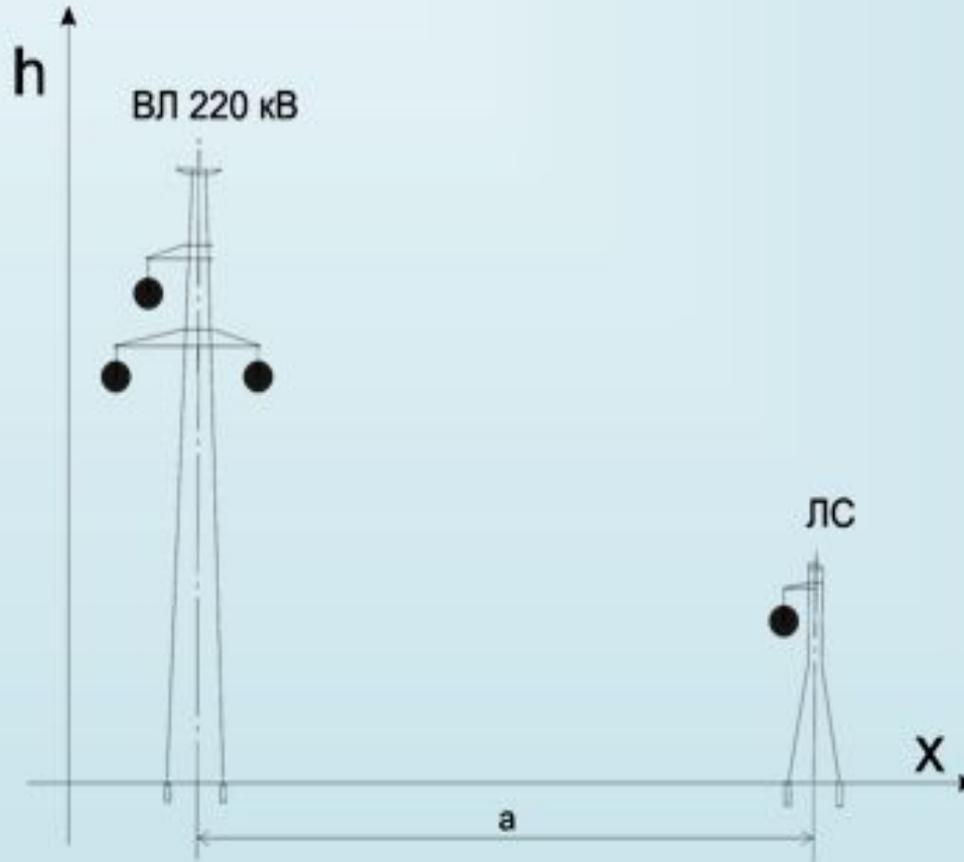


Схема определения координат фазных проводов ВЛ и провода ЛС



Для определения зарядов T на проводах фаз ВЛ требуется найти решение системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) следующего вида:

$$\begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{13} & \alpha_{23} & \alpha_{33} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \dot{t}_1 \\ \dot{t}_2 \\ \dot{t}_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \end{vmatrix}$$

Здесь индексами 1,2 и 3 обозначены фазы ВЛ, коэффициенты $\alpha_{11} - \alpha_{33}$ – собственные и взаимные потенциальные коэффициенты проводов фаз ВЛ. U_1, U_2, U_3 – фазные напряжения проводов ВЛ, равные:

$$\dot{U}_1 = -\frac{U_{ном}}{\sqrt{3}}; \quad \dot{U}_2 = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} (0,5 + j0,87); \quad \dot{U}_3 = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} (0,5 - j0,87)$$

*система решается в комплексном виде

Потенциал на проводе ЛС М, наводимый всеми тремя фазами (в нормальном режиме работы ВЛ) определяется по выражению:

$$\dot{\varphi}_M = \alpha_{1M} \dot{i}_1 + \alpha_{2M} \dot{i}_2 + \alpha_{3M} \dot{i}_3$$

α_{nM} – взаимные потенциальные коэффициенты между проводом коммуникации М и каждым фазным проводом ВЛ n

Потенциал на проводе ЛС М, наводимый одной фазой ВЛ в аварийном режиме:

$$\dot{\varphi}_M = \alpha_{nM} \dot{i}_n$$

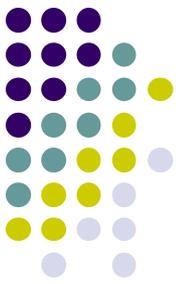
где n – номер фазы, оставшейся под напряжением.
Заряды других фаз принимаем равными нулю.

Защита от емкостного влияния

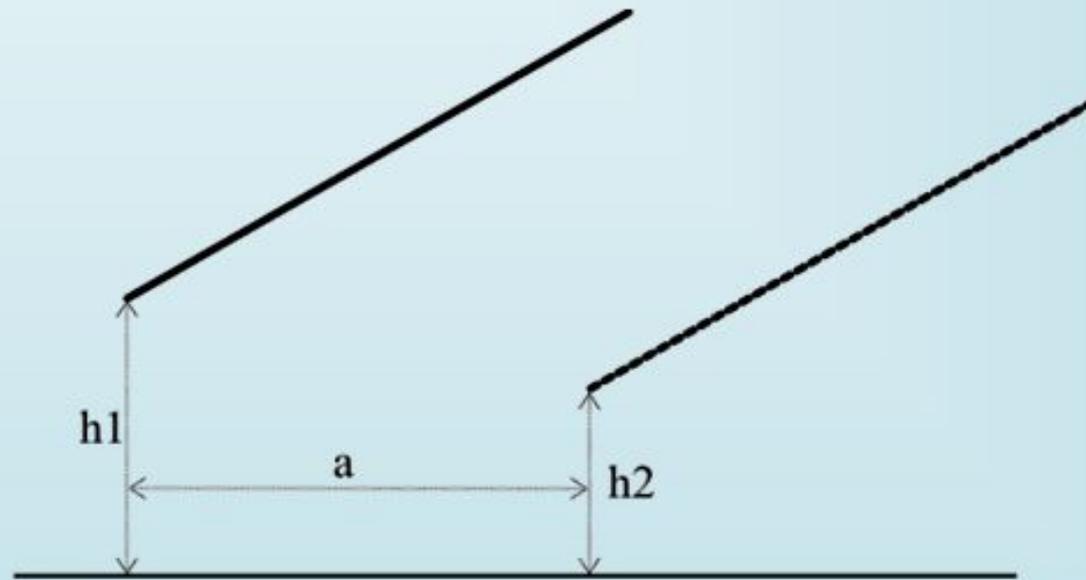
- Увеличение расстояния от ВЛ до коммуникации
- Заземление коммуникации
- Экранирование коммуникации (экраны для снижения электрического поля ВЛ)
- Установка на коммуникации защитных аппаратов



Индуктивное влияние ВЛ



Индуктивное влияние двух однопроводных линий



Индуктивное влияние двух параллельных однопроводных линий

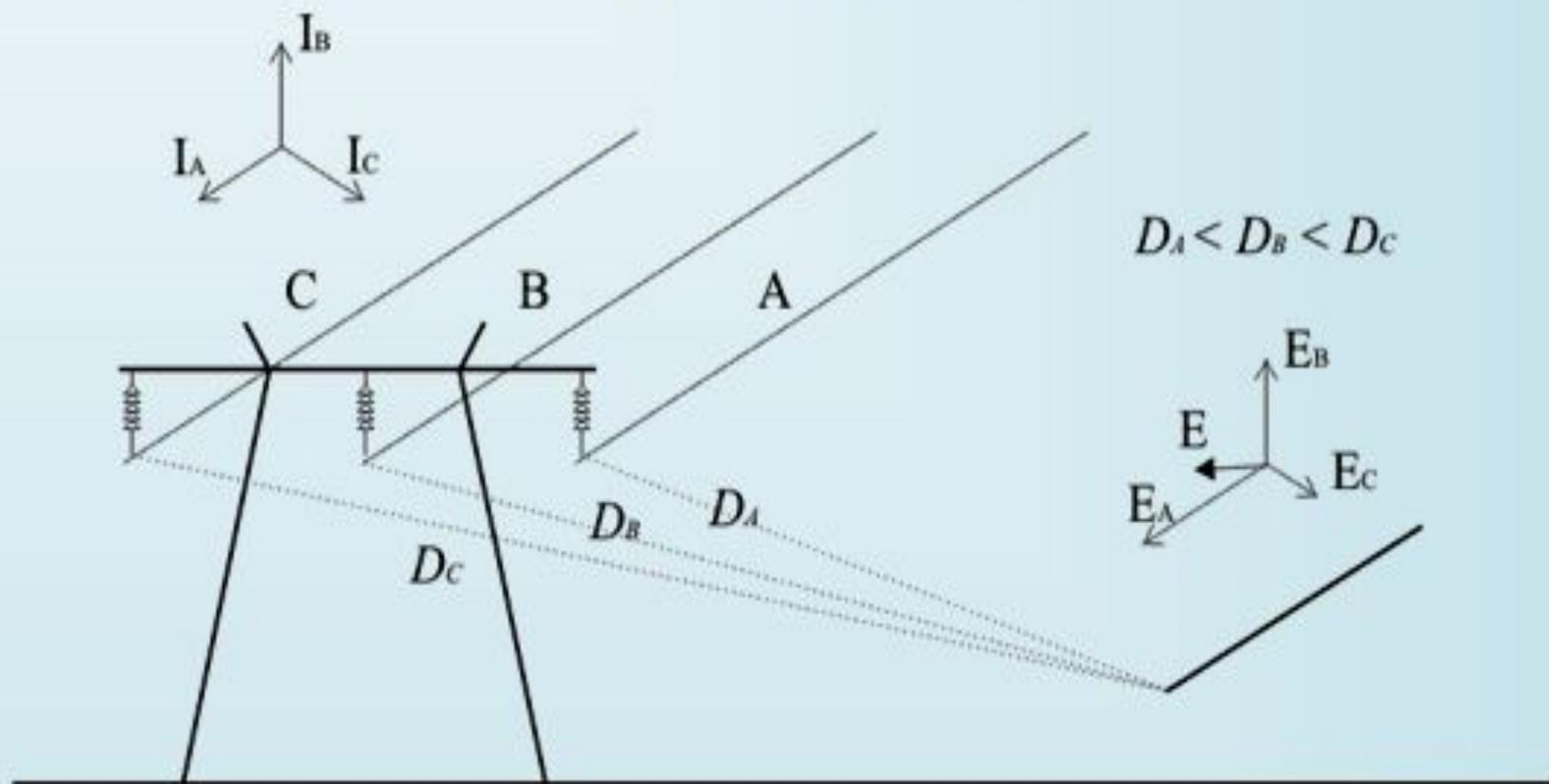
Формула для расчета модуля взаимной индуктивности двух параллельных однопроводных линий

$$M = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{\sqrt{a^2 + (h_1 + h_2 + 800 \sqrt{\frac{\rho}{f}})^2}}{\sqrt{a^2 + (h_1 - h_2)^2}}, \text{ Гн/м}$$

где:

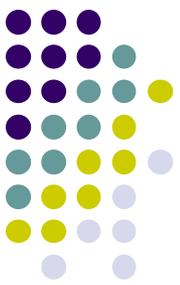
- h_1 – средняя высота подвеса влияющего провода,
- h_2 – средняя высота подвеса провода, подверженного влиянию,
- a – расстояние между проводами по горизонтали,
- ρ – удельное сопротивление грунта, Омм
- ω – угловая частота тока,
- $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$

Влияние ВЛ



Взаимные индуктивности между каждым фазным проводом ВЛ и однопроводной линией различны в силу разного расстояния между ними, а токи в фазах линии в случае нормального режима равны по амплитуде, но сдвинуты на 120° относительно друг друга. В результате суммарная ЭДС не равна нулю, но меньше, чем от каждой фазы, взятой по отдельности.

Влияние ВЛ



В случае влияния одноцепной трехфазной ВЛ **в нормальном режиме** продольная ЭДС, наводимая в смежной однопроводной линии может быть рассчитана как:

$$\dot{E}_{3\Phi} = L \cdot (\dot{I}_A \cdot j\omega M_A + \dot{I}_B \cdot j\omega M_B + \dot{I}_C \cdot j\omega M_C)$$

где

I_A, I_B, I_C – токи нагрузки в фазных проводах ВЛ,

M_A, M_B, M_C – взаимные индуктивности между каждой из фаз и однопроводной линией, Гн.

L – длина участка сближения, м

*расчет производится в комплексной форме

Расчет наведенной ЭДС в аварийном режиме

$$E_{K3} = L \cdot I_{K3} \cdot j\omega M_1$$

где

I_{K3} – ток КЗ в поврежденном фазном проводе ВЛ, А

M_1 – взаимная индуктивность между поврежденной фазой и однопроводной линией, Гн/м,

L – длина участка сближения, м.

Расчет взаимной индуктивности на участках косоугольного сближения

- Участком косоугольного сближения называется участок, где прямолинейная трасса однопроводной линии и трасса ВЛ образуют при их пересечении острый угол (угол сближения).
- Коэффициент взаимоиндукции может быть получен интегрированием на участке косоугольного сближения двух одноцепных линий:

$$M = \int_0^L M_i \cos \theta \, dl$$

где θ – угол сближения или пересечения, l – переменная координата по длине участка косоугольного сближения (от 0 до L), L – длина участка косоугольного сближения или пересечения.

Защита от индуктивного влияния

- Увеличение расстояния от ВЛ до коммуникации
- Секционирование коммуникации (разбиение на изолированные друг от друга участки)
- Магнитное экранирование коммуникации (пассивные, активные экраны в виде замкнутых контуров, снижающие магнитное поле ВЛ)
- Установка на коммуникации защитных аппаратов





Кондуктивное влияние ВЛ

Кондуктивное влияние электрифицированного транспорта

- Отличительной особенностью данной электрической сети является использование рельс в качестве обратного провода системы электроснабжения поездов.

Блуждающие токи

- Так как рельсовый путь не изолирован от земли, то она оказывается шунтирующим проводником, по которому протекает часть тягового тока.
- Эти токи (блуждающие), растекаясь по земле, встречают на своем пути заземленные металлические коммуникации и протекают по ним.
- Опасным моментом наличия блуждающих токов является повышенная коррозия коммуникаций, попадающих в зону растекания этих токов.

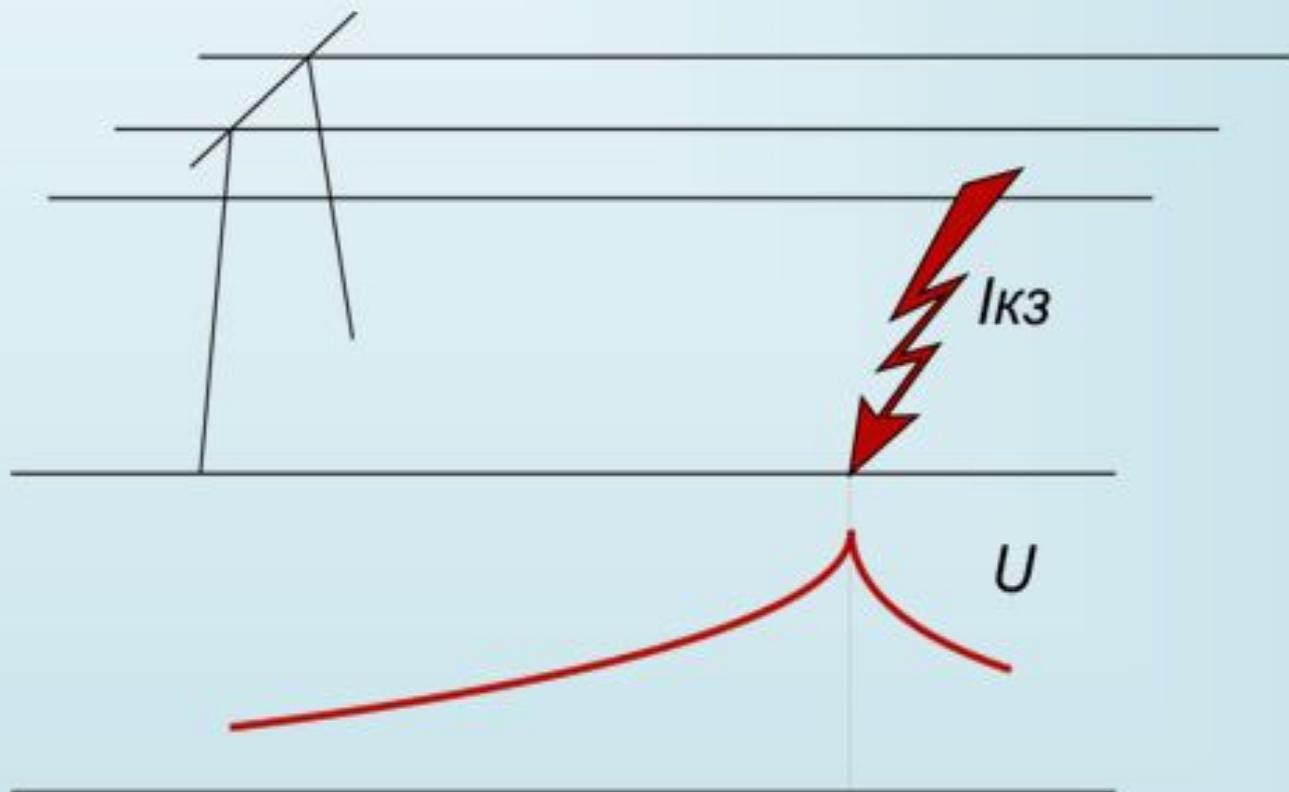


Кондуктивное влияние ВЛ переменного тока



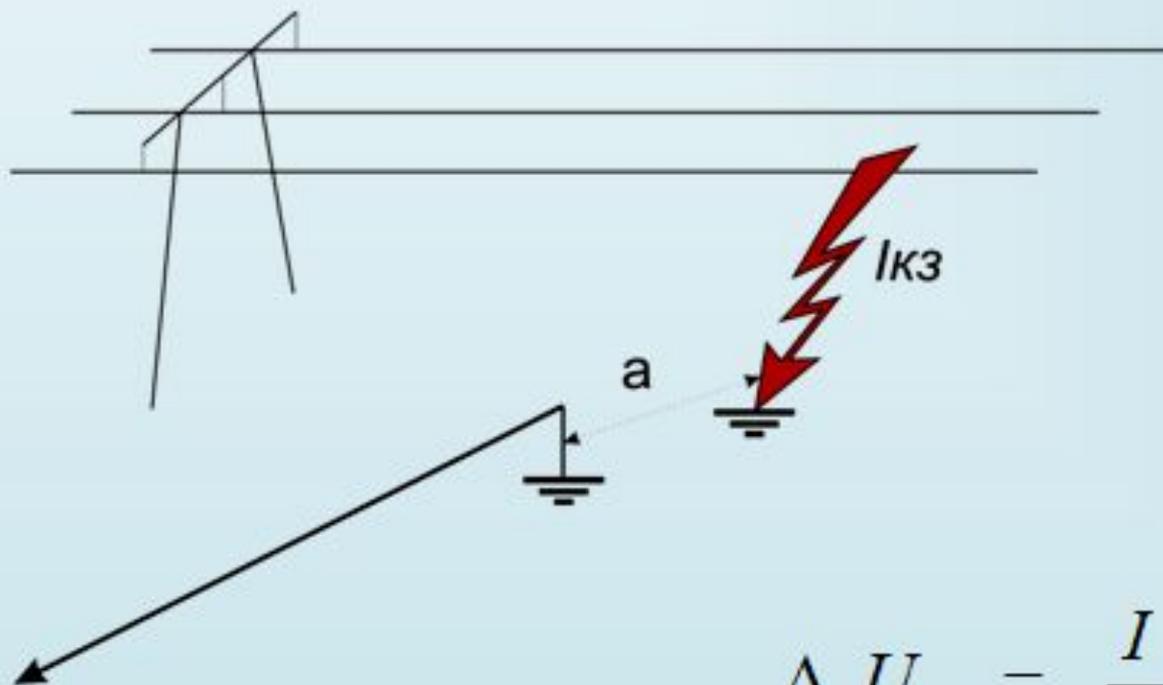
- В момент короткого замыкания фазы на землю ВЛ оказывают кондуктивное (гальваническое) влияние на проложенные рядом кабели, трубопроводы или заземленные вблизи места КЗ линии связи как при параллельном сближении, так и при их пересечении.
- В этом случае точки земли вблизи места КЗ приобретают высокий потенциал относительно удаленной земли. Эта разность потенциалов может оказаться приложенной к смежным с ВЛ коммуникациям.

Однофазное КЗ на ВЛ



Распределение потенциала по грунту вблизи места ОКЗ

Частный случай КЗ вблизи места заземления коммуникации



$$\Delta U = \frac{I_3 \rho}{2 \pi a}$$

- ΔU – напряжение, прикладываемое к заземленной коммуникации
- I_3 – ток замыкания
- ρ – удельное сопротивление грунта, Омм
- a – расстояние от места КЗ то места заземления коммуникации



Защита от кондуктивного влияния

- Увеличение расстояния от ВЛ до коммуникации
- Изолирование коммуникации от грунта вблизи ВЛ
- Установка на коммуникации защитных аппаратов