

▪ Электромагнитная совместимость в электроэнергетике

## Практическое занятие 1.

---

**Определение условий  
электробезопасности  
при работе на воздушных линиях  
связи (ВЛС) различных типов**

## Теоретические сведения

---

Изоляция проводов ВЛС при подвесе их на фарфоровые или стеклянные изоляторы имеет значительную электрическую прочность

**Электрическая прочность материала** - это предельное значение напряжения, при котором наступает пробой единицы толщины изолирующего материала

$$U_{\partial} = E_{\partial} * d \quad (1)$$

где  $E_{\partial}$  - пробивная напряженность электрического поля, В/м

$d$  — толщина диэлектрика, м

## Теоретические сведения

---

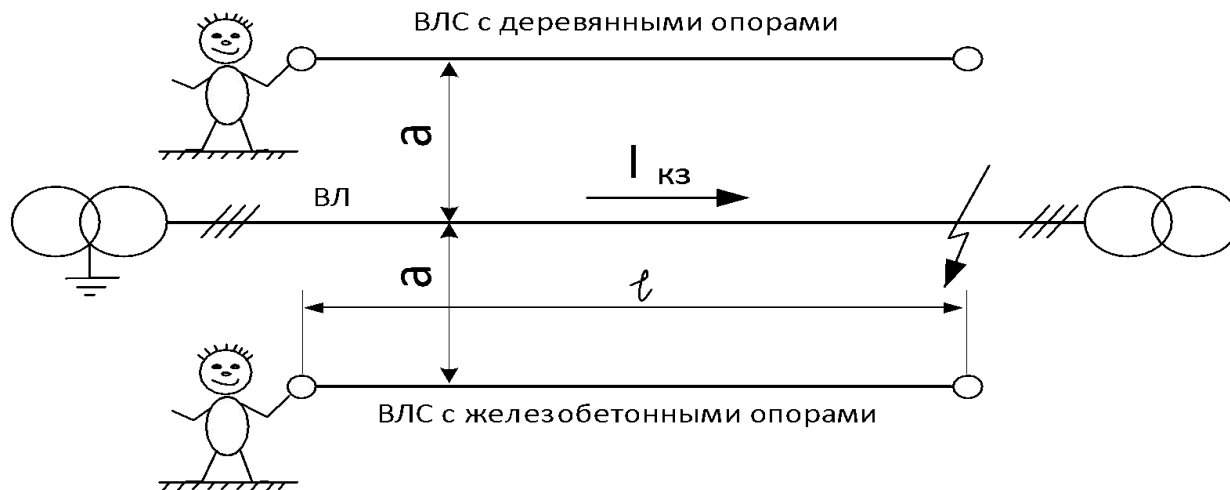
Поэтому, при установлении значения нормы допустимого опасного напряжения  $[U_{оп}]$  принимают во внимание 2 аспекта:

1. Испытательное напряжение (**обусловлено изоляцией** включенной **аппаратуры**, а не самой линии) –  $U_{исп}$
2. Безопасность персонала (**обусловлено протеканием тока** через тело человека)

## Пример-задача

Рассмотрим 2 типа линий связи и определим для каждой из них  $[U_{оп}]$  :

1. ВЛС с деревянными опорами
2. ВЛС с железобетонными опорами

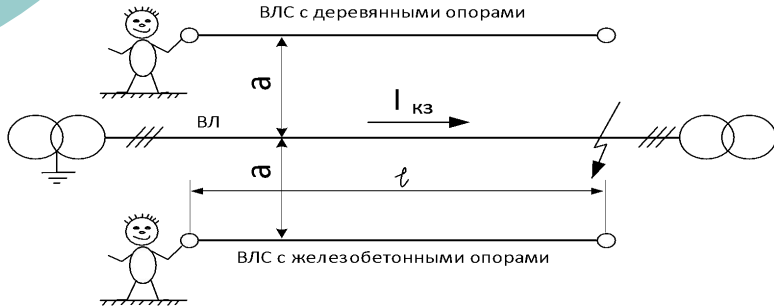


## Пример-задача

### Условия

1. Сближение ВЛ с обеими ВЛС параллельное ( $a = \text{const}$ )
2. Длины сближения одинаковы ( $l$ )
3. КЗ одной фазы ЛЭП на землю

При КЗ фазы ВЛ на землю в конце линии длиной  $l$  на проводах ЛС обеих линий возникнут одинаковые по величине ЭДС. Если в начале линий будут находиться монтеры, то при соприкосновении с проводами линий образуются электрические цепи (с учетом предположения, что провода ВЛС в конце линий замкнуты на землю.) Для монтера, находящегося на ВЛС с **деревянными** опорами



$$I_{\text{челд}} = \frac{E}{R_{\text{чел}} + R_{\text{д}} \cdot h + Z_{\text{пр}} \cdot l + R_{\text{з}}}, (2)$$

Для монтера, находящегося на ВЛС с **железобетонными** опорами

$$I_{\text{чел ж/б}} = \frac{E}{R_{\text{чел}} + R_{\text{ж/б}} + Z_{\text{пр}} \cdot l + R_{\text{з}}}, (3)$$

**Пример-задача**

$$I_{\text{чел } \delta} = \frac{E}{R_{\text{чел}} + R_{\delta} \cdot h + Z_{\text{пр}} \cdot l + R_3}, (2)$$

где  $R_{\text{чел}}$  - сопротивление тела человека, Ом. Зависит от вида касания человеком эл. цепи. Для схемы «рука-нога»  $R_{\text{чел}} = 800 \div 1000$  Ом. В расчетах принимают  $R_{\text{чел}} = 1000$  Ом;

$E$  – наведенная ЭДС на проводах связи на участке сближения при КЗ ВЛ в конце зоны сближения, В;

$R_{\delta}$  - сопротивление 1м деревянного столба при дожде, Ом/м,  $R_{\delta} = 30\ 000 \div 35\ 000$  Ом/м;

$h$  – расстояние от поверхности земли до когтей, на которых стоит монтер м,  $h \approx 2$  м;

$R_{\text{ж/б}}$  - сопротивление железобетонной опоры, врытой в землю. Обычно, опора на 1,5м врыта в землю (как заземлитель) и в зависимости от сопротивления грунта  $R_{\text{ж/б}} = 30 \div 1\ 000$  Ом (если измерять  $R_{\text{ж/б}}$ , касаясь железной арматуры ж/б опоры).

Если же измерять  $R_{\text{ж/б}}$  между стальным бандажем, надетым поверх мокрого бетона опоры, то  $R_{\text{ж/б}} = 10\ 000 \div 12\ 000$  Ом;

$R_3$  - сопротивление заземления на противоположном конце цепи, Ом.  $R_3 = 100$  Ом;

$Z_{\text{пр}}$  - сопротивление провода ВЛС, Ом/км;

$l$  – длина сближения, км.

**Примем в расчет**

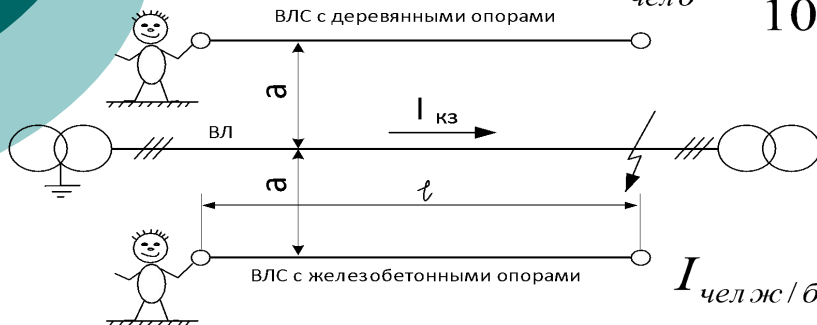
$$E=1\ 000\ В$$
$$R_{чел} = 1\ 000\ В$$
$$h=2\ м$$

$$l=30\ км$$
$$R_{жс/б} = 10\ 000\ Ом$$
$$z_{np} \approx r_{np} = 10\ Ом/км$$

$$R_0 = 35\ 000\ Ом/м$$

**Для электромонтера, работающего на ВЛС на деревянных опорах**

$$I_{челд} = \frac{1000}{1000 + 35000 \cdot 2 + 10 \cdot 30 + 100} = 14\ мА$$



**Для электромонтера, работающего на ВЛС на железобетонных опорах**

$$I_{челжс/б} = \frac{1000}{1000 + 1000 + 10 \cdot 30 + 100} = 87,7\ мА$$

**Вывод:** при прочих равных условиях ток, проходящий через тело монтера, работающего на ВЛС разного типа, будет значительно отличаться

$(I_{челд} = 14\ мА)$  в 6,2 раза меньше, чем  $(I_{челжс/б} = 87,7\ мА)$

Т.о., работать с ВЛС на **деревянных** опорах **безопаснее**

## Нормы допустимых токов

Менее 2 мА – длительно действующие токи

~~8-10 мА – отпускающий ток~~

10-20 мА – человек может самостоятельно освободиться от захвата токонесящего провода

## Нормы кратковременно действующих токов при КЗ в ВЛ

| Кратковременно, с | Нормы тока, мА, допустимые |
|-------------------|----------------------------|
| 0,8               | 10                         |
| 0,5               | 12                         |
| 0,3               | 20                         |
| 0,15              | 25                         |

**Вывод:** в нашем примере при 0,15 с и ниже 14 мА - норма, а 88 мА – возможен смертельный исход

Т.о., работать с ВЛС на **деревянных** опорах **безопаснее**



**Решим  
обратную задачу**

Найти  $E$  доп для времени срабатывания  
защиты 0,15 с

**Решение**

Известно, что допустимый ток для длительности 0,15 с составляет 25 мА.

1. Найдем для железобетонной опоры из уравнения (3)

$$E_{жс/б0,15} \text{ найдем } \frac{E_{жс/б0,15}}{1000 + 1000 + 10 \cdot 30 + 100} = 25 \text{ мА} \quad E_{жс/б0,15} = 285 \text{ В}$$

2. Аналогично для ВЛС с деревянными опорами

$$E_{д0,15} = 1785 \text{ В}$$

**Нормы ЭДС при магнитном влиянии**

| Тип опор  | Нормы ЭДС, В, допустимой |         |                   |      |      |     |
|---|--------------------------|---------|-------------------|------|------|-----|
|   | Длительно, час           |         | Кратковременно, с |      |      |     |
|   | Менее 2                  | Более 2 | 0,15              | 0,3  | 0,6  | 1,2 |
| Деревянные, в том числе и с железобетонными приставками | 120                      | 60      | 2000              | 1500 | 1000 | 750 |
| Железобетонные или металлические                        | 70                       | 36      | 320               | 240  | 160  | 120 |

**Электрическое влияние.** При электрическом влиянии на ВЛС определяющим является *разрядный ток*, протекающий через тело человека, коснувшегося изолированного провода, находящегося под напряжением, обусловленным электрическим влиянием. *Этот ток не зависит от типа опор ВЛС.*

---

При влиянии ВЛ с изолированной нейтралью, имея в виду, что заземление фазового провода, при котором происходит влияние, обычно не превышает несколько часов, допустимый ток через тело человека может быть увеличен до 10 мА. Это означает, что **работа на ВЛС без применения мер по ТБ невозможна**. При влиянии такого типа ВЛ индуцируемое напряжение не должно превышать 200 В, если соблюдена норма разрядного тока (10 мА)

## Задача 1. Оценка магнитного влияния ЛЭП

### на провода воздушных линий связи и радиофикации

---

Определить

Разрядный ток через тело электромонтера, находящегося в начале ВЛС, при условии КЗ на землю 1 фазы трехфазной ЛЭП на расстоянии  $L$ , км, от начала ВЛС

Оценить соответствие нормируемым значениям.

Сравнить полученные результаты для двух типов ВЛС.

Исследовать влияние на разрядный ток одного из нижеуказанных параметров (при прочих равных условиях), сделать соответствующие выводы (аналогично п.1-3).

| № варианта | Наведенная ЭДС, E, кВ | Сопrotивление человека Rч, Ом | Сопrotивление 1м дер. столба при дожде, Rд, кОм/м | Rжб, кОм | Длина ЛС, L, км | Длительность КЗ, t, с | Исследуемая зависимость                              |
|------------|-----------------------|-------------------------------|---|----------|-----------------|-----------------------|--|
| 1          | 1                     | 800                           | 30  | 10       | 40              | 0,3                   | $I_{чд} = f(R_d), R_d = 30 \div 35 \text{ кОм}$      |
| 2          | 0,8                   | 850                           | 31  | 10,1     | 50              | 0,6                   | $I_{ч} = f(L), L = 10 \div 50 \text{ км}$            |
| 3          | 0,95                  | 1000                          | 32  | 10,2     | 60              | 1,2                   | $I_{ч} = f(R_{жб}), R_{жб} = 10 \div 12 \text{ кОм}$ |
| 4          | 1,1                   | 830                           | 33  | 10,3     | 50              | 0,3                   | $I_{ч} = f(R_{ч}), R_{ч} = 800 \div 1000 \text{ Ом}$ |
| 5          | 1,25                  | 810                           | 34  | 10,4     | 65              | 0,6                   | $I_{ч} = f(E), E = 1000 \div 2000 \text{ В}$         |
| 6          | 0,75                  | 820                           | 35  | 10,5     | 30              | 1,2                   | $I_{ч} = f(E), E = 500 \div 1500 \text{ В}$          |
| 7          | 0,95                  | 840                           | 30,1  | 10,6     | 45              | 0,3                   | $I_{ч} = f(L), L = 10 \div 45 \text{ км}$            |
| 8          | 1,1                   | 860                           | 30,2  | 10,7     | 30              | 0,6                   | $I_{ч} = f(R_{жб}), R_{жб} = 10 \div 12 \text{ кОм}$ |
| 9          | 1,2                   | 870                           | 30,5  | 10,8     | 45              | 1,2                   | $I_{чд} = f(R_d), R_d = 30 \div 35 \text{ кОм}$      |
| 10         | 0,85                  | 880                           | 30,6  | 10,9     | 55              | 0,3                   | $I_{ч} = f(L), L = 10 \div 55 \text{ км}$            |
| 11         | 0,80                  | 890                           | 30,7  | 11       | 40              | 0,6                   | $I_{ч} = f(R_{жб}), R_{жб} = 10 \div 12 \text{ кОм}$ |
| 12         | 1,0                   | 900                           | 30,8  | 11,1     | 35              | 1,2                   | $I_{ч} = f(R_{ч}), R_{ч} = 800 \div 1000 \text{ Ом}$ |
| 13         | 0,9                   | 910                           | 30,9  | 11,2     | 50              | 0,3                   | $I_{ч} = f(E), E = 1000 \div 2000 \text{ В}$         |
| 14         | 0,8                   | 920                           | 31,2  | 11,3     | 60              | 0,6                   | $I_{ч} = f(E), E = 500 \div 1500 \text{ В}$          |
| 15         | 1,2                   | 930                           | 31,4  | 11,4     | 65              | 1,2                   | $I_{чд} = f(R_d), R_d = 30 \div 35 \text{ кОм}$      |
| 16         | 1,15                  | 940                           | 31,5  | 11,5     | 60              | 0,3                   | $I_{ч} = f(L), L = 10 \div 60 \text{ км}$            |
| 17         | 1,2                   | 950                           | 31,7  | 11,6     | 40              | 0,6                   | $I_{ч} = f(R_{жб}), R_{жб} = 10 \div 12 \text{ кОм}$ |
| 18         | 0,95                  | 960                           | 31,8  | 11,7     | 35              | 1,2                   | $I_{ч} = f(R_{ч}), R_{ч} = 800 \div 1000 \text{ Ом}$ |
| 19         | 1,0                   | 970                           | 32,2  | 11,8     | 50              | 0,3                   | $I_{ч} = f(E), E = 1000 \div 2000 \text{ В}$         |
| 20         | 1,25                  | 980                           | 32,5  | 11,9     | 40              | 0,6                   | $I_{ч} = f(E), E = 500 \div 1500 \text{ В}$          |
| 21         | 0,95                  | 990                           | 32,7  | 12       | 50              | 1,2                   | $I_{ч} = f(L), L = 10 \div 50 \text{ км}$            |
| 22         | 0,85                  | 1000                          | 33,1  | 10       | 60              | 0,3                   | $I_{ч} = f(R_{жб}), R_{жб} = 10 \div 12 \text{ кОм}$ |
| 23         | 1,1                   | 830                           | 33,3  | 10,1     | 40              | 0,6                   | $I_{чд} = f(R_d), R_d = 30 \div 35 \text{ кОм}$      |
| 24         | 1,0                   | 810                           | 33,5  | 10,2     | 55              | 1,2                   | $I_{чд} = f(R_d), R_d = 30 \div 35 \text{ кОм}$      |