

## ИДЗ №2

### по курсу *МОЛНИЕЗАЩИТА*

Содержание: необходимо решить две задачи.

Методический путь решения указан.

Задачи – практического плана и выполняются на основе реальных инженерных расчётов.

**Выбор варианта – номер варианта в таблице должен соответствовать номеру по списку в списке группы в личном кабинете.**

**Не путать данные для разных вариантов.**

- ИДЗ №2 представить в формате Word и прикрепить в электронный курс: **Изоляция электротехнического оборудования высокого напряжения**
- <https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=4176>,
- во вкладку «гр. 5А05, курс «Молниезащита», ИДЗ №2
- защитить ИДЗ представив ответы на вопросы в электронном курсе, так и в ходе очной защиты.

### • **ЗАДАЧА №1**

Рассчитать и представить графически форму волны перенапряжения атмосферного происхождения, набегающую на шины подстанции. Схема замещения подстанции состоит из последовательно соединенных индуктивности  $L$  и емкости  $C$ . Набегающая волна имеет косоугольный фронт и постоянную амплитуду  $U_0$ . Значения указанных параметров, необходимых для расчета волнового процесса, приведены в таблице 1.4.

*Методический путь решения.*

Значения времени задавать от  $0$  до  $2T$  с шагом  $1/8T$ .

Формулы для определения круговой частоты и периода волны имеют вид:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}, T = \frac{2 \times \pi}{\omega},$$

где  $\omega$  - круговая частота,  $T$  – период волны.

Расчет напряжения на емкостных элементах для случая время меньше

длительности фронта волны по формуле:

$$U_c = a \cdot t - \frac{a}{\omega} \cdot \sin \omega t,$$

где: параметр  $a$  представляет собой  $a=U_0/t_\Phi$ .

В случае, когда время процесса превышает длительность фронта волны, расчет проводится по формуле:

$$U_c = U_0 \cdot \left[ 1 - \frac{\sin \frac{\pi \cdot t_\Phi}{T}}{\frac{\pi \cdot t_\Phi}{T}} \cdot \cos \omega \left( t - \frac{t_\Phi}{2} \right) \right].$$

Таблица 1.4.

Значения основных параметров для расчета волнового процесса на шинах подстанции

№ варианта	$L \times 10^{-6}$ , Гн	$C \times 10^{-6}$ , Ф	$t_\Phi \times 10^{-6}$ , с	$U_0$ , кВ
1	24	0,0095	1,5	450
2	10	0,01	1,5	300
3	20	0,02	1,0	450
4	11,5	0,02	3,0	750
5	5	0,06	0,5	250
6	30,5	0,03	4,5	450
7	10	0,04	2,0	700
8	16	0,04	2,5	250
9	8	0,05	3,0	450
10	15	0,06	1,5	600
11	18	0,03	1,1	650
12	12	0,03	1,2	300
13	23	0,07	1,6	500
14	21	0,05	3,6	430
15	16	0,08	2,7	700
16	25	0,09	2,2	850
17	9	0,03	1,2	300
18	27	0,01	1,1	700
19	20	0,08	1,7	850
20	6	0,065	1,8	900

## ЗАДАЧА №2

Рассчитать удельное число отключений линии на железобетонных опорах в результате грозовой деятельности. Коэффициент связи принять равным **0,25**. Параметры линии приведены в таблице 2.1.

**Методический путь решения.**

Удельное число отключений линии определяется по формуле:

$$n = 0,18 \cdot h \cdot (0,5 \cdot V_{\text{ПЕР1}} \cdot \eta_1 + 0,5 \cdot V_{\text{ПЕР2}} \eta_2 + V_{\alpha} \cdot V_{\text{ПЕР3}} \cdot \eta_1),$$

где **h** – средняя высота провеса тросов, м.

**V<sub>ПЕР1</sub>** – вероятность перекрытия изоляции при ударе в опору; определяется по формуле:

$$V_{\text{ПЕР1}} = 10^{\frac{-I_3}{60}} = e^{-\frac{I_3}{26}},$$

где: **I<sub>3</sub>** – защитный уровень линии с тросами при ударе молнии в опору, кА.

Указанный защитный уровень, в свою очередь, определяется согласно выражению:

$$I_3 \cong \frac{U_{50\%}}{R + \delta \cdot h_{\text{оп}}},$$

где: **U<sub>50%</sub>** - минимальное импульсное разрядное напряжение фазовой изоляции линии, кВ.

**R** – импульсное сопротивление заземления опоры, Ом;

**h<sub>оп</sub>** – высота опоры, м;

$\delta = 0,15$  для линии с двумя тросами;

$\delta = 0,3$  для линии с одним тросом.

$\eta_1$  - вероятность перехода импульсного перекрытия в силовую дугу в случае перекрытия на опоре;

$\eta_2$  - вероятность перехода импульсного перекрытия в силовую дугу в случае пробоя в пролете промежутка трос-провод.

Параметры  $\eta_1$  и  $\eta_2$  определяются при помощи таблицы 2.1.

Таблица 2.1.

Данные для определения вероятности перехода импульсного перекрытия в силовую дугу

Рабочая напряженность, кВ/м	50	30	20	10
Параметр $\eta$	0,6	0,45	0,25	0,1

Прежде чем выполнять указанные расчеты, необходимо определить длину гирлянды изоляторов. Для выполнения расчета необходимо воспользоваться формулами:

$$U_{РАБ} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3}},$$

$$l_{ПЕР} = l_{Г},$$

$$l_{Г} = n \cdot H,$$

где:  $H$  – строительная высота гирлянды;

$n$  – число изоляторов в гирлянде.

$V_{ПЕР2}$  – вероятность перекрытия изоляции трос-провод при ударе молнии в пролет.

$$V_{ПЕР2} = 10^{-\frac{a_{КР}}{36}} = e^{-\frac{a_{КР}}{15,7}},$$

где:  $a_{КР}$  – параметр процесса, определяемый из соотношения:

$$a_{КР} \geq \frac{2250 \times S}{(1 - K_{д}) \times l}, \text{ кА/мкс};$$

где:  $S$  – расстояние между проводом и тросом, м;

$l$  – длина пролета, м;

$K_{д}$  – коэффициент связи между тросом и проводом; = 0,25 – 0,3.

$V_{ПЕР3}$  – вероятность перекрытия изоляции при прямом ударе молнии в провод, определяемая как:

$$V_{ПЕР3} = 10^{-\frac{I_{ЗПР}}{60}},$$

где  $I_{ЗПР}$  – защитный уровень линии при ударе молнии в провод.

$$I_{ЗПР} = \frac{U_{50\%}}{100}, \text{ кА}$$

$V_{\alpha}$  - вероятность прорыва молнии через тросовую защиту, которая определяется по формуле:

$$\lg V_{\alpha} = \frac{\alpha \times \sqrt{h_{\text{оп}}}}{90} - 4.$$

где:  $\alpha$  - защитный угол, град.

Таблица 2.2.

Значения основных параметров для расчета  
удельного числа отключений линии

<b>№ варианта</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Номинальное напряжение линии, кВ	110	110	110	220	220	220	330	330	500	500
Средняя высота троса в пролете, м	15	15	15	17	17	17	20	20	25	25
Защитный угол, град	30	35	20	25	25	20	25	25	20	25
Сопротивление заземления опоры, Ом	10	15	20	10	15	20	10	15	7	10
Длина пролета, м	200	200	200	250	350	350	400	400	450	500
Расстояние «трос-провод» в пролете, м	4	4	4	6	6	6	7	7	9	8
Число тросов	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1
Высота опоры, м	19	19	19	23	23	23	29	29	32	35

<b>№ варианта</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
Номинальное напряжение линии, кВ	110	220	330	500	330	220	110	220	330	500

Средняя высота троса в пролете, м	15	16	17	25	21	19	15	20	22	25
Защитный угол, град	30	35	25	20	25	30	20	25	30	35
Сопротивление заземления опоры, Ом	10	15	20	25	15	20	10	15	17	19
Длина пролета, м	200	300	360	500	350	250	200	380	420	500
Расстояние «трос-провод» в пролете, м	4	5	6	8	6	7	5	7	8	9
Число тросов	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2
Высота опоры, м	19	21	23	35	28	24	20	27	32	35

При решении рекомендуется пользоваться любым учебником и учебными пособиями «Молниезащита» и «Техника высоких напряжений», не зависимо от года издания. А также соответствующими разделами лекций и лабораторных работ.