

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
имени Гумарбека Даукеева

Кафедра «Электроэнергетические системы»

РАСЧЕТНО ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

по дисциплине
ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ
по образовательной программе 6В07101 – Электроэнергетика

Выполнил Турдугулов Д.
(Ф.И.О. студента)

Группа ЭЭ-20-14

Принял ст.преподаватель Абдурахманов А.А
(ученая степень, звание, Ф.И.О)

_____ «____» _____ 202__ г.
(оценка) (подпись)

Алматы 2023

Содержание

1 Цель и задачи работы.....	3
2 Объем и содержание работы.....	3
2.1 Исходные данные.....	3
2.2 Содержание расчетно - графической работы.....	3
3 Задание на расчетно - графическую работу.....	3
3.1 Задание.....	3
Задача № 2.....	5
Задача № 4.....	6
Задача № 7.....	7
Задача № 8.....	8
Задача № 10.....	8
Задача № 13.....	9
Заключение.....	11
Список литературы.....	12

1 Цель и задачи работы

Целью расчетно-графической работы является развитие навыков самостоятельного решения задач по основным разделам курса, уметь отвечать на поставленные вопросы, а также развить навыки работы с технической литературой.

Расчетно-графическая работа состоит из трех задач для практического решения и вопросов по основному курсу.

2 Объём и содержание работы

2.1 Исходные данные

Исходные данные для выполнения работы принимаются в соответствии с вариантом, где задаются:

- тип подстанции;
- от какой линии электропередачи она питается;
- тип отходящих линий электропередачи;
- характеристики проходного изолятора;
- тип разрядников на подстанции.

2.2 Содержание расчетно-графической работы

В расчетно-графическую работу входят вопросы расчетов и технических решений по определению изолирующей способности воздушных промежутков между потенциальными точками линий электропередачи, проводниками и заземленными частями ЛЭП.

Рассматриваются вопросы, связанные с поверхностным и коронным разрядом, изоляцией кабеля и опор ЛЭП, защиты от атмосферных и внутренних перенапряжений.

Проводятся расчеты грозоупорности линий электропередачи, напряжения на изоляции силовых трансформаторов, напряжения смещения нейтрали в сетях ЛЭП 10 кВ.

3 Задание на расчетно-графическую работу

Для выполнения задания необходимо освоить теоретический курс согласно программе по указанной литературе. На задачу и вопрос необходимо составить краткий исчерпывающий письменный ответ. По объёму работа не должна превышать 10-15 страниц формата ученической тетради. Работа выполняется чернилами или пастой, чётко, разборчиво и аккуратно. Решения задач и ответы на вопросы поясняются схемами и эскизами. При оформлении работы должны быть оставлены поля для заметок преподавателя. В конце работы указывается использованная литература, дата и подпись студента. Номер варианта выбирается по последним двум цифрам зачетной книжки.

3.1 Задание

Тупиковая подстанция питается по воздушной двухцепной линии электропередачи на железобетонных опорах, имеющей грозозащитный трос по всей длине. Потребители питаются от шин 10(6) кВ по кабельным или воздушным линиям электропередачи.

Необходимо:

2) Определить импульсное разрядное напряжения между проводами линии электропередачи высокого напряжения, проводами и транспортным средством с середине пролета, также величину тока молнии, необходимого для возникновения указанных напряжений, вероятность этого тока и вероятность возникновения перенапряжений.

4) Определить напряжение скользящего разряда маслonaполненного прохода изолятора по поверхности фарфоровой рубашки и общее напряжение его возникновения.

7) Определить предельное расстояние между разрядником и трансформатором при набегании на подстанцию длиной косоугольной волны напряжения с длиной фронта 2 мкс.

8) Выбрать тип и количество изоляторов в поддерживающей натяжной гирлянде ЛЭП высокого напряжения в соответствии с заданной степенью загрязненности атмосферы района и проверить по условию работы гирлянды под дождем.

10) Определить количество и высоту молниеотводов на территории подстанции.

13) Определить минимальную мощность дугогасящей катушки, предназначенной для установки в сети 10 кВ, а также напряжение смещения нейтрали в отсутствие ДГК и при ее наличии, если емкостные проводимости фаз соотносятся как 1 : 0,8 : 0,9.

Таблица 1 – Исходные данные к выполнению работы

Последняя цифра зачетной книжки – 8		
U _{вн} , кВ		220
U _{нн} , кВ		10
Питающая ЛЭП ВН	Провод, мм ²	240
	Высота опор ЛЭП ВН, м	24
	Импульсное сопротивление заземления ЛЭП ВН, Ом	20
	Защитный угол, град.	32
Отходящие ЛЭП	Тип	Каб
	Число	20
	Длина ЛЭП, м	250
Тип разрядников на подходе к п/ст		РВТ
	Диаметр токоведущего стержня, м	0,05
	Высота фланца, м	0,35

Проходной изолятор	Внутренний диаметр фланца, м	0,35
	Толщина фарфоровой рубашки, м	0,015
	Число барьеров	3
	Диаметр жилы, м	0,12
	Толщина слоев изоляции, мм	6
	Диэлектрическая проницаемость	4,5-2,8
Импульсное сопротивление заземления подстанции		4
Вид погоды		Хор
Продолжительность данной погоды, час		6500
Степень загрязненности атмосферы		II

Задача №2

Определить импульсное разрядное напряжение между проводами линии электропередачи высокого напряжения, проводами и транспортным средством с середины пролёта, также величину тока молнии, необходимого для возникновения указанных напряжений, вероятность этого тока и вероятность возникновения перенапряжений.

Дано:

Высота опор $H=15$ м

Импульсное сопр. $Z_0=20$ Ом

Ср. напр. в лидере $E_{ло}=1,5$ кВ/см

Ср. напр. в стриммере $E_c=5$ кВ/см

Решение:

Импульсное разрядное напряжение определяется по формуле

$$U_{\min} = E_c \cdot a_o \cdot \left(1 + \ln \frac{L}{a_o}\right) + E_{ло} \cdot a_o \cdot \ln \left(\frac{L}{a_o} - \ln \frac{L}{a_o}\right)$$

где $a_o=1$ м – постоянная для промежутка стержня

$E_{ло}=1,5$ кВ/см – начальная напряженность в канале лидера

$E_c=5$ кВ/см – средняя напряженность поля в канале лидера

L - межэлектродному расстоянию, $L=650$, см

$$U_{\min} = 5 \cdot 100 \cdot \left(1 + \ln \frac{650}{100}\right) + 1,5 \cdot 100 \cdot \ln \left(\frac{650}{100} - \ln \frac{650}{100}\right) =$$

$$= 5 \cdot 100 \cdot (1 + 1,872) + 1,5 \cdot 100 \cdot 1,532 = 1666 \text{ В}$$

проводами и транспортным средством середине пролета: $h=15$ м;
 $h_n=7,5$ м;

$$L = 15 - 7,5 = 7,5 \text{ м}$$

$$U_{\min} = 5 \cdot 100 \cdot (1 + \ln 7,5) + 1,5 \cdot 100 \cdot \ln (7,5 - \ln 7,5) = 1762 \text{ В}$$

величину тока молнии определяем по формуле

$$I_M = \delta \cdot v \cdot \frac{Z}{Z+R}$$

где Z – эквивалентное волновое сопротивление канала молнии

$Z = \sqrt{L_0/C_0} = 60 \cdot \lg 2 \cdot h/r = 138 \cdot \lg 2 \cdot h/r$ где h, r – средняя высота и радиус провода. Высота провода над землей $h = 15 \text{ м}$, а радиус провода определяем из формулы $S = \pi \cdot r^2$.

Отсюда $r = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{240 \cdot 10^{-6}/3,14} = 0,0087 \text{ м}$ где $S = 240 \text{ мм}^2$. И так $Z = 138 \cdot \lg 2 \cdot 15/0,0087 = 488,2 \text{ Ом}$.

$v = c/\sqrt{\varepsilon \cdot \mu} = 1/\sqrt{L_0 \cdot C_0}$ – скорость распространения волны;

c – скорость распространения электромагнитных волн в пустоте, равная $3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Для воздушных линий $\varepsilon = \mu = 1$ и $v = c$. Для кабельных линий $\mu = 1, \varepsilon \approx 4$ и $v = 15 \cdot 10^7 \text{ м/с}$ $\sigma = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E_{\text{облако}}$ – плотность отрицательного заряда на единицу длины.

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/\text{Н} \cdot \text{м}^2, \varepsilon = 1, E_{\text{облако}} = 25 - 30 \text{ кВ/см}$.

И так $I_M = \delta \cdot v \cdot \frac{Z}{Z+R} = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 25 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{488,2}{488,2+15} = 6,440 \text{ кА}$

Вероятность этого тока и вероятность возникновения перенапряжений.

$$P(I_M) = \exp(-0,04 \cdot I_M) = \exp(-0,04 \cdot 6,440) = 0,773$$

Если вероятность прорыва молнии сквозь тросовую защиту $P = 0,005$, то вероятность возникновения перенапряжений равна $P(U) = P(I_M) \cdot P = 0,773 \cdot 0,005 = 0,003865$

Задача №4

Определить напряжение скользящего разряда маслонеполненного прохода изолятора по поверхности фарфоровой рубашке и общее напряжение его возникновения.

Дано:

Диаметр токоведущего стержня $d_1 = 0,05 \text{ м} = 5 \text{ см}$

Высота фланца $h = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$

Толщина фарфоровой рубашки $a = 0,015 \text{ м} = 1,5 \text{ см}$

Внутренний диаметр фланца $d_2 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$

ε_1 масла = 2,35

ε_2 фарфора = 5,7

Решение:

Определим удельные поверхностные ёмкости наружного фарфорового и масляных слоёв.

$$C_{01} = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0}{r_2 \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{r_2}{r_1}}$$

а) где $r_2 = r_{\text{пл}} - a = 16$ см
 $r_1 =$ радиус токоведущего стержня = 2,5 см

$$C_{01} = \frac{2,35 \cdot 8,85 \cdot 10^{-14}}{16 \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{16}{2,5}} = 7 \cdot 10^{-14} \text{ Ф/см}^2$$

$$C_{02} = \frac{\varepsilon_2 \cdot \varepsilon_0}{r_{\phi} \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{r_{\phi}}{r_2}} = \frac{5,7 \cdot 8,85 \cdot 10^{-14}}{17,5 \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{17,5}{16}} = 32,2 \cdot 10^{-14} \text{ Ф/см}^2$$

б)

3

Зная ёмкость наружного слоя, определим напряжение, при котором возникают скользящие разряды

$$U_{\text{ск}} = \frac{7 \cdot 10^{-14}}{(32,2 \cdot 10^{-14}) / 0,44} = 0,096 \text{ кВ}$$

Найдём общее напряжение возникновения скользящего напряжения:

$$U = U_{\text{ск}} \cdot \left(1 + \frac{C_{02}}{C_{01}}\right) = 0,538 \text{ кВ}$$

Задача № 7

Определить предельное расстояние между разрядником и трансформатором при набегании на подстанцию длиной косоугольной волны напряжения с длиной фронта 2 мкс.

Решение:

Предельное удаление вентильных разрядников от защищаемого оборудования определяется импульсным пробивным напряжением разрядника и импульсным испытательным напряжением оборудования (силового трансформатора)

По таблицам 22.4 и 25.1 находим:

$$U_{\text{РВТ.нр}} = 445 \text{ кВ}$$

$$U_{\text{ТР.нр}} = 860 \text{ кВ}$$

$$V = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} - \text{скорость волны}$$

$$a = \frac{U}{r_{\text{СП}}} = \frac{860}{2 \cdot 10^{-6}} = 4,3 \cdot 10^8 \text{ кВ/с}$$

$$l = \frac{V \cdot (U_{\text{РВМ.нр}} - U_{\text{ТР.нр}})}{2 \cdot a} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot (860 - 445)}{2 \cdot 4,3 \cdot 10^8} = 144,8 \text{ м}$$

Ответ: $l = 144,8$ м

Задача № 8

Выбрать тип и количество изоляторов в поддерживающей натяжной гирлянде ЛЭП ВН в соответствии с заданной степенью загрязнённости атмосферы района и проверить по условию работы гирлянды под дождём.

Решение:

Число изоляторов в гирлянде определяем по формуле:

$$n \geq \frac{k \cdot \lambda_{эф} \cdot U_{л.наиб}}{l_y}$$

где K - коэффициент эффективности изолятора

$\lambda_{эф} = 3 \text{ см/кВ}$ - удельная эффективная длина пути утечки. Значение берется из [2]-учебного пособия таблица 17.1

$U_{л.наиб}$ - наибольшее рабочее междуфазное напряжение

l_y - геометрическая длина утечки одного изолятора

Так как в нашей задаче район с повышенным уровнем загрязнения выбираем изолятора типа ПФГ6-А

Характеристики изолятора ПФГ6-А ([1]-учебное пособие - Таблица 31.1)

Строительная высота $H=198$ мм

Диаметр $D=270$ мм

Длина пути утечки $l_y=455$ мм

Коэффициент эффективности $k=1,1$

Расчетная средняя микро разрядная напряженность 2 кВ/см

$$n \geq \frac{k \cdot \lambda_{эф} \cdot U_{л.наиб}}{l_y} = \frac{1,1 \cdot 3 \cdot 230}{45,5} \approx 17$$

А теперь проверим по условию работы гирлянды:

$$n \geq \frac{K_p \cdot U_{ф.наиб}}{E_{мр} \cdot H}$$

где K_p - расчетная кратность внутренних перенапряжений $K_p=3,0$ (стр. 384)

$U_{ф.наиб}$ - наибольшее рабочее (фазное) напряжение;

$E_{мр}$ - расчетная микро разрядное напряжение (стр. 395)

$$n \geq \frac{K_p \cdot U_{ф.наиб}}{E_{мр} \cdot H} = \frac{3 \cdot \frac{230}{\sqrt{3}}}{2 \cdot 19,8} \approx 10;$$

Задача №10

Определим количество и высоту молниеотводов на территории подстанции.

Решение:

Согласно ПУЭ габариты подстанции примем $a=20$ м, $b=10$ м, $h=6$ м. Для надёжной молниезащиты тупиковой подстанции достаточно двух молниеотводов, установленных на двух линейных порталах.

а) определим потенциал на молниеотводе в момент разряда на уровне высоты объекта:

$$U = I_m \cdot R_{з.и.} + L_0 \cdot a \cdot h_x, \text{ где}$$

I_m примем = 150 кА (ток молнии)

L_0 примем = 1,5 мкГн/м (индуктивность молниеотвода)

$a=32$ (крутизна фронта)

$R_{з.и.}=20$ Ом

$h_x=6$ м

$$U = 150 \cdot 20 + 1,5 \cdot 32 \cdot 6 = 3288 \text{ кВ}$$

б) примем $E_B=500$ кВ/м и определим удаление молниеотвода от объекта

$$S_g = \frac{U}{E_g} = \frac{3288}{500} = 6,6 \text{ м}$$

Это же расстояние определим по зависимости:

$$S_g \geq 0,3 R_{з.и.} + 0,1 \cdot h_x = 0,3 \cdot 20 + 0,1 \cdot 6 = 6,6 \text{ м}$$

в) радиус защитной зоны:

$$r_x = \sqrt{(S_B + a_1)^2 + \left(\frac{b}{a}\right)^2} = \sqrt{(6,6 + 20/2 + 6,6)^2 + (10/20/2 + 6,6)^2} = 24,2 \text{ м}, \text{ где}$$

$$a_1 = a/2 + S_B$$

Пусть высота молниеотвода будет меньше 30 м, тогда воспользуемся расчётной формулой для данной высоты:

$$r_x = \frac{1,6(h - h_x)h}{h + h_x} = 24,2, \text{ где } h_x = 6 \text{ м}$$

$$1,6(h - 6)h = 24,2(h + 6)$$

$$1,6h^2 - 9,6h = 24,2h + 145,2$$

$$1,6h^2 - 33,8h - 145,2 = 0$$

$$D_1 = (33,8)^2 - 4(-145,2)1,6 = 2071,72$$

$$h = \frac{33,8 + \sqrt{2071,72}}{3,2} = 24,8$$

Ответ: для данной тупиковой подстанции необходимо два молниеотвода высотой 24,8 м.

Задача № 13

Определить минимальную мощность дугогасящей катушки, предназначенной для установки сети 10 кВ, а также напряжение смещения

нейтрали в отсутствии ДГК и при её наличии, если ёмкостные проводимости фаз соотносятся как 1:0,8:0,9.

Решение:

Определим ток замыкания на землю для кабельной сети

$$I_c = \frac{U \cdot l}{10} = \frac{10 \cdot 250}{10} = 250 \text{ A};$$

где

$U = 10 \text{ кВ}$ – линейное напряжение сети;

$l = 250 \text{ м}$ – длина ЛЭП.

Определим мощность дугогасительной катушки

$$Q = 1,25 \cdot I_c \cdot U_\phi = 1,25 \cdot 250 \cdot 5,774 = 1807,37 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

где

$$U_\phi = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5,774 \text{ кВ} - \text{ фазное напряжение сети.}$$

Определим напряжение смещения нейтрал в отсутствии ДГК

$$\Delta U_1 = \frac{U_1 y_1 + U_2 y_2 + U_3 y_3}{y_1 + y_2 + y_3} = \frac{5,774 \cdot 1 + 0,014 \cdot 0,8 + 0,289 \cdot 0,9}{1 + 0,8 + 0,9} = 2,239 \text{ кВ};$$

где

$$\begin{aligned} U_1 &= U_\phi = 5,774 \text{ кВ}; \\ U_2 &= a^2 U_\phi = 0,05^2 \cdot 5,774 = 0,014 \text{ кВ}; \\ U_3 &= a U_\phi = 0,05 \cdot 5,774 = 0,289 \text{ кВ}. \end{aligned}$$

Определим напряжение смещения нейтрал при наличии ДГК

$$\Delta U_2 = \frac{U_1 y_1 + U_2 y_2 + U_3 y_3}{y_1 + y_2 + y_3} = \frac{5,774 \cdot 1 + 5,774 \cdot 0,8 + 5,774 \cdot 0,9}{1 + 0,8 + 0,9} = 5,774 \text{ кВ};$$

где

$$\begin{aligned} U_1 &= U_\phi = 5,774 \text{ кВ}; \\ U_2 &= a^2 U_\phi = 1^2 \cdot 5,774 = 5,774 \text{ кВ}; \\ U_3 &= a U_\phi = 1 \cdot 5,774 = 5,774 \text{ кВ}. \end{aligned}$$

Ответ: $Q = 1807,37 \text{ кВ} \cdot \text{А}$; $\Delta U_1 = 2,239 \text{ кВ}$; $\Delta U_2 = 5,774 \text{ кВ}$.

Заключение

В ходе выполнения данной расчетно-графической работы были изучены методы расчета и решения по определению изолирующей способности воздушных промежутков между потенциальными точками линий электропередачи, проводниками и заземленными частями линий электропередач.

Рассмотрели вопросы, связанные с поверхностным и коронным разрядом, изоляцией и опор ЛЭП, защиты от атмосферных и внутренних перенапряжений. Провели расчеты грозоупорности линий электропередачи, напряжения на изоляции силовых трансформаторов, напряжения смещения нейтрали в сетях ЛЭП 220 кВ.

В основном для решения задач пользовались необходимыми справочниками.

Список литературы

1. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжение в электрических системах. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Михалков А.В. Техника высоких напряжений в примерах и задачах. – М.: Энергия, 1988.
3. Техника высоких напряжений. Под редакцией Разевига Д.В. – М.: Энергия, 1978.
4. Степанчук К.Ф., Тиняков Н.А. Техника высоких напряжений. – Минск: Высшая школа, 1982.