

# Методические указания к контрольной работе по дисциплине «Физико-математические основы техники высоких напряжений»

## Требования к контрольной работе

**Объем** контрольной работы строго не регламентирован, но не должен превышать 10 печатных страниц, оформлен в отдельную папку с титульным листом или в тетради письменно. Печать только на одной стороне листа. Текст набирается на компьютере: шрифт 14, интервал 1,5, с полями: справа 1 см, слева 3 см, сверху и снизу 2 см. Выравнивание по ширине.

**Вариант** выбирается согласно номеру зачетной книжки студента.

Контрольная работа состоит из теоретического вопроса и задачи по разделу. Количество разделов 3.

### Раздел 1. Расчет емкости и напряженности электрического поля

Токи электрического поля, имеющие одинаковый потенциал, образуют *эквипотенциальные поверхности*.

Разность потенциалов двух точек электрического поля называется *напряжением*  $U$  между этими точками и измеряется в вольтах:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi$$

*Напряженность* электрического поля есть скорость убывания (знак минус) потенциала по направлению силовых линий поля:

$$E = - \frac{d\varphi}{da} \text{ [В/М]}$$

*Потенциал* в заданной точке электрического поля есть линейный интеграл напряженности в пределах от бесконечности до заданной точки поля:

$$\varphi_a = \int_a^{\infty} E da \text{ [В]}$$

*Диэлектрическая проницаемость* – основная характеристика электрических свойств изолирующего материала, физически характеризующая интенсивность процессов поляризации в среде диэлектрика, происходящих под действием внешнего электрического поля:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon' \text{ [Ф/М]}$$

где

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ [Ф/М]}$$

*Электрическое смещение* – характеристика, определяющая действие электрического тока на диэлектрик, – есть векторная величина, равная произведению вектора напряженности электрического поля в рассматриваемой точке на диэлектрическую проницаемость среды:

$$D = E\varepsilon \text{ [к/м}^2\text{]}$$

*Электрическая емкость* – понятие, применяемое к конструкциям, представляющим собой проводящие тела (электроды), разделенные слоем диэлектрика. Конструкции, использованные для накопления или сохранения зарядов, называются *конденсаторами*.

*Емкость* есть отношение заряда к напряжению:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Расчет емкости может быть произведен по результатам измерения тока и напряжения при заданной частоте:

$$C = \frac{I \cdot 10^6}{U 2\pi f} [mk\phi]$$

Теорема Гаусса: поток вектора напряженности электрического поля сквозь замкнутую поверхность равен заряду, заключенному в части пространства, ограниченного этой поверхностью, деленному на величину диэлектрической проницаемости исследуемой среды.

Математически теорема Гаусса выражается:

$$\oint E dS = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon'}$$

Практическое применения получила формула расчета напряженности электрического поля:

$$E_x = \frac{CU}{\epsilon S_x} [B/M]$$

Где С – емкость конденсатора,

$S_x = S_a$  эквипотенциальная поверхность, проведенная через точку с искомой напряженностью электрического поля,  $m^2$

U – напряжение, действующее между электродами, в

$\epsilon$  диэлектрическая проницаемость среды ф/м

## Раздел 2. Расчет плоского, цилиндрического и сферического конденсаторов.

*Плоский конденсатор*

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon' S_a}{a} [\phi]$$

В том случае, если напряжение, приложенное к конденсатору, задано, можно получить формулу для расчета напряженности электрического поля в изоляции:

$$E = \frac{U \epsilon S_a}{\epsilon S_a a} = \frac{U}{a} [кВ/см]$$

*Цилиндрический конденсатор*

$$E_x = \frac{U}{2,3x \lg \frac{R}{r}} [B/CM]$$

*Сферический конденсатор*

$$C = 4\pi \epsilon' \epsilon_0 r_1 [\phi],$$

$$E_{max} = \frac{U}{r_1} [кВ/см].$$

## Раздел 3.

На проводах линий электропередачи может возникать коронный разряд. Это один из видов самостоятельного разряда, который существует в электрических полях с большой степенью неравномерности только вблизи электрода с малым радиусом вследствие высокой напряженности электрического у его поверхности и относительно низкой напряженности в остальной части промежутка. Корона на проводах при рабочем напряжении приводит к большим потерям энергии и радиопомехам, поэтому наличие короны по всей длине провода (общей короны) недопустимо.

Основной характеристикой общей короны является напряжение начала короны ( $U_k$ ), которое определяется напряженностью на поверхности провода, которую определить по формуле

$$E_{пр.} = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 r_0 m},$$

где  $Q = C_\phi \times U_\phi$  – заряд на проводе,

$U_\phi$  – фазное напряжение,

$C_\phi$  – фазная емкость,

$r_0$  – радиус провода,

$m$  – коэффициент негладкости провода (для витого сталеалюминиевого провода принимается равным 0,82).

Значение напряженности начала короны (критической напряженности) при напряжении промышленной частоты определяется по формуле

$$E_k = 16.58 \cdot \delta \left( 1 + \frac{0.62}{\delta^{0.3} r_0^{0.38}} \right),$$

где  $E_k$  – действующее значение напряженности начала короны, кВ/см;

$\delta = \frac{T_0 \cdot P}{T \cdot P_0}$  – относительная плотность воздуха (принимается равной 1).

Приравняв максимальную напряженность поля на поверхности провода (4.12) критической напряженности короны  $E_k$  (4.13), получаем выражение для определения напряжения начала короны на проводе:

$$U_k = \frac{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r_0 \cdot E_k}{C_\phi}.$$

Из формул 4.12 и 4.14 видно, что увеличение радиуса провода приводит к уменьшению напряженности на его поверхности, повышению напряжения начала и снижению потерь энергии на корону. На ВЛ радиус провода (сечение) выбирают такой величины, чтобы потери энергии на общую корону были равны нулю.

На линиях высших классов напряжения (в России начиная с  $U_{ном} = 330$  кВ) для уменьшения напряженности на проводе и уменьшения потерь энергии на общую корону применяются расщепленные провода. Расщепленная фаза представляет собой пучок проводов малого радиуса, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, обычно в вершинах правильного многоугольника. При таком расположении заряды на составляющих одинаковы (по знаку и величине), но взаимное электростатическое влияние приводит к неравномерному распределению напряженности по поверхности составляющих. Наибольшая напряженность  $E_{max}$  возникает на внешней стороне составляющих.

Основными параметрами расщепленного провода являются число составляющих  $n$ , их радиус  $r_0$ , радиус расщепления  $r_p$  (радиус окружности, проведенной через центры составляющих), шаг расщепления  $d$  (рис.4.3). Эти параметры связаны выражением

$$r_p = \frac{d}{2 \sin \frac{\pi}{n}}.$$

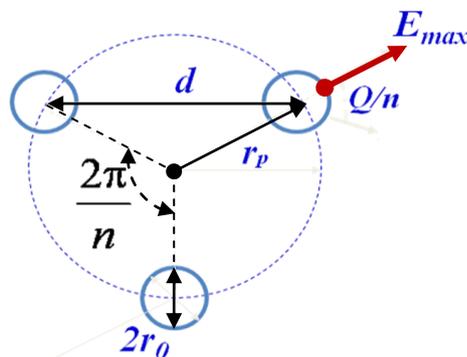


Рис.4.3 Провод, расщепленный на три составляющие ( $n=3$ )

Максимальная напряженность на поверхности расщепленного провода можно определить по формуле

$$E_{\max} = \frac{Q}{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot n \cdot r_0} \left[ 1 + (n-1) \frac{r_0}{r_p} \right],$$

где  $Q = C_\phi \times U_\phi$  – заряд на расщепленном проводе.

Рабочая емкость провода зависит от параметров расщепленного провода и средней в пролете высоты подвеса провода  $h$

$$C_\phi = \frac{2\pi \cdot \varepsilon_0}{\ln \frac{2h}{r_э}},$$

$r_э$  - эквивалентный радиус расщепленного провода, который определяется по формуле:

$$r_э = \sqrt[n]{r_0 \cdot n \cdot r_p^{n-1}}.$$

Напряжение начала короны на расщепленных проводах определится по формуле

$$U_k = \frac{m \cdot n \cdot 2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r_0 \cdot E_k}{\left[ 1 + (n-1) \frac{r_0}{r_p} \right] C_\phi}.$$

Как отмечалось ранее, одним из условий выбора конструкции фазы ВЛ является отсутствие общей короны в нормальном эксплуатационном режиме, следовательно напряжение начала короны должно быть больше максимального рабочего напряжения линии.

Потери напряжения на корону в линиях при этом связывают с «местной короной», существующей не по всей длине провода, а только на отдельных участках провода, например, в местах повреждения провода при монтаже, при рабочем напряжении.