

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«Вологодский государственный университет»**

Институт машиностроения энергетики и транспорта

Кафедра электрооборудования

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №4

Дисциплина: «Расчет короткого замыкания в трехфазной системе с изолированной нейтралью»

Тема: «Определение электрофизических параметров конденсатора»

Преподаватель	Проф. Умаров М. Ф.
Выполнил студент	Агеев М.Д.
Группа, курс	5Б13 ЭС-31, 3 курс
Дата сдачи	<u>30.03.2023</u>
Дата защиты	-
Оценка по защите	<i>(подпись преподавателя)</i>

Вологда  
2023

## Краткие теоретические сведения.

Короткое замыкание (КЗ) – электрическое соединение двух точек электрической сети с различными значениями потенциала, не предусмотренные конструкцией устройства и нарушающее его нормальную работу. Короткие замыкания, возникающие в электрических сетях, машинах и аппаратах, отличаются большим разнообразием как по виду, так и по характеру повреждения.

Основные виды КЗ показаны на рис. 4.1.

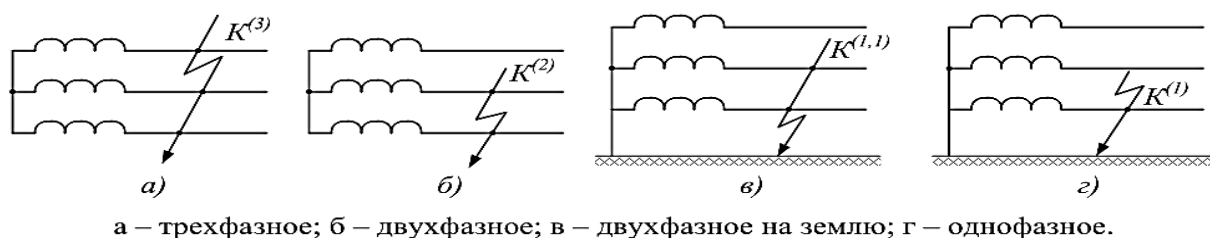


Рис. 4.1. Основные виды КЗ

Если все виды КЗ принять за 100%, то относительная частота появления замыканий в сети составляет: однофазных -- 65%; двухфазных -- 10%; двухфазных на землю -- 20%; трехфазных и трехфазных на землю -- 5%.

Основными причинами, вызывающими повреждения на линиях электропередачи, являются перекрытия изоляции во время грозы, схлестывание и обрывы проводов при гололеде, перекрытия загрязненной и увлажненной изоляции, ошибки персонала и др.

Короткие замыкания в трехфазных сетях разделяют на трех-, двух-, однофазные и двухфазные на землю. Трехфазное КЗ является симметричным, поскольку при нем все три фазы оказываются в одинаковых условиях. Все остальные виды КЗ являются несимметричными, поскольку фазы оказываются в разных условиях, а системы токов и напряжений получаются искаженными

Трехфазное КЗ наиболее простой для расчета и анализа повреждения. Он характерен тем, что токи и напряжения всех фаз равны по значению как в месте КЗ, так и в любой другой точке сети:

$$I_A = I_B = I_C; \quad U_A = U_B = U_C$$

Электрические сети характеризуются нормальным, ненормальным и аварийным режимами работы. При нормальном режиме по всем элементам сети протекают рабочие токи, не превышающие допустимых, электроэнергия передается от источников питания к потребителям с нормальными расчетными потерями напряжения и электроэнергии на всех элементах сети. При ненормальном режиме (например, перегрузке) допускается работа электроустановки в течение определенного времени, после чего должно следовать отключение. Аварийный режим работы характеризуется резким изменением ряда параметров (повышение тока, снижение напряжения) и требует немедленного отключения электроустановки.

Большая часть аварий в электрических сетях вызывается короткими замыканиями (КЗ), основной причиной которых является нарушение изоляции токоведущих частей. Механические повреждения изоляции возникают, например, при повреждении изоляции силовых кабелей во время земляных работ, при падении опор воздушных линий или обрыва проводов. Повреждения изоляции могут иметь место при перенапряжениях, например, при прямых ударах молнии в провода воздушных линий или открытых электроустановок. Короткие замыкания возможны также вследствие перекрытия токоведущих частей птицами и животными или ошибочных действий персонала.

При возникновении КЗ общее сопротивление цепи системы электроснабжения уменьшается, вследствие чего токи в ветвях системы резко увеличиваются (до десятки тысяч ампер). Наступление аварийного режима КЗ приводит к значительным электродинамическим (механическим) и термическим (тепловым) воздействиям на токоведущие части и

электрооборудование. На рис. 4.2. показано изменение тока трехфазного короткого замыкания и его составляющих.

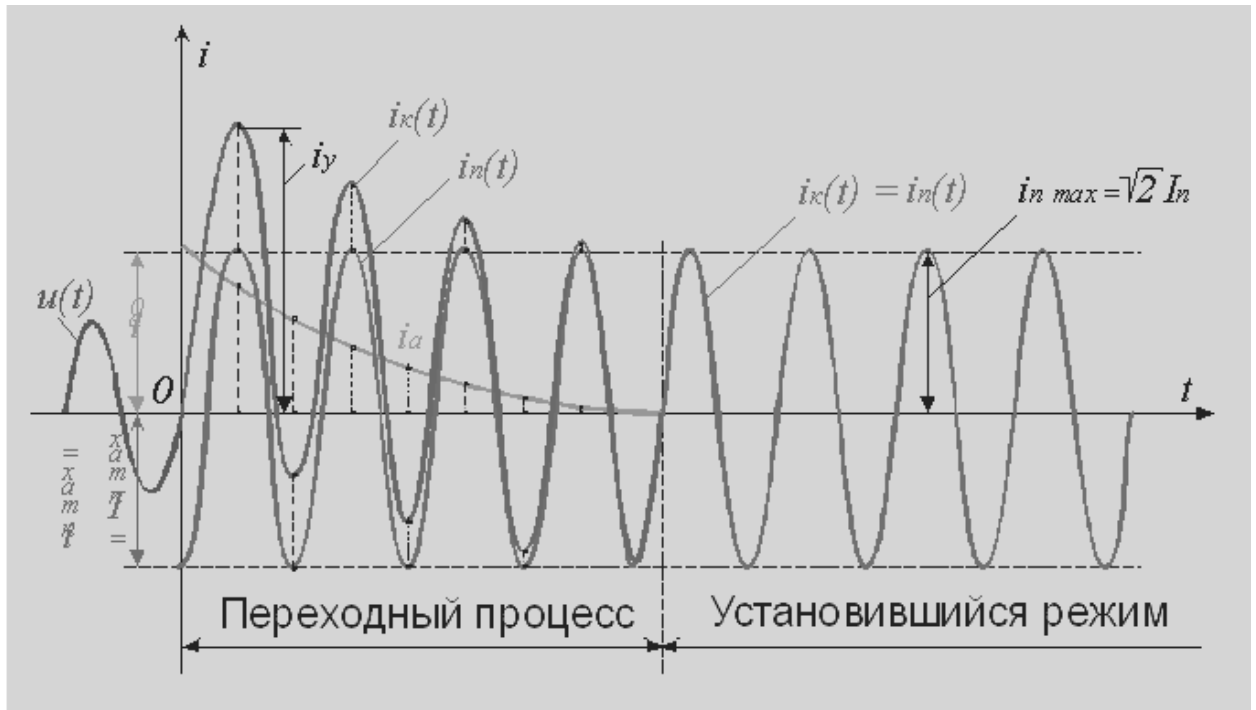


Рис. 4.2 Изменение тока трехфазного короткого замыкания и его составляющих для случая возникновения максимального значения аperiodической составляющей

«Правила устройства электроустановок» для электрических сетей напряжением 3..35 кВ предусматривают работу с изолированной нейтралью или с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор. Это мероприятие повышает надежность электроснабжения и сроки службы трансформаторов и выключателей, поскольку однофазные короткие замыкания на землю характеризуются малыми токами и допустимы на достаточно длительное время. Так как этот вид коротких замыканий нередко сопровождается электрической дугой, для ее прерывания требуется компенсация емкостного тока проводов линии с помощью дугогасящего реактора. Компенсация емкостного тока должна применяться при значениях

этого тока в нормальных режимах более 10 А в сетях напряжением 3-20 кВ, имеющих железобетонные и металлические опоры на воздушных линиях электропередачи, и во всех сетях напряжением 35 кВ, а при деревянных опорах – при токах более 30 А при напряжении 6 кВ и 20 А при напряжении 10 кВ.

Принцип работы дугогасящего реактора поясняется рис. 4.3 для ситуации короткого замыкания в фазе С. При таком коротком замыкании на емкости провода А оказывается напряжение  $U_{AC}$ , вектор тока  $I_A$  опережает на  $90^\circ$  вектор  $U_{AC}$  (или отстает на  $90^\circ$  от вектора  $U_{CA}$ ), на емкости провода В действует напряжение  $U_{BC}$  и ток  $I_B$  опережает на  $90^\circ$  это напряжение. На дугогасящем реакторе напряжение равно  $-U_C$ , и ток  $I_P$  отстает от напряжения  $-U_C$  на  $90^\circ$ . Если токи  $I_A$  и  $I_B$  одинаковы и соблюдается условие  $\omega L_P = \omega(C_A + C_B + C_C)$ , то сумма токов  $I_A$ ,  $I_B$  и  $I_P$ , равная току  $I_C$ , равна нулю, и дуга установившегося тока короткого замыкания не может возникнуть.

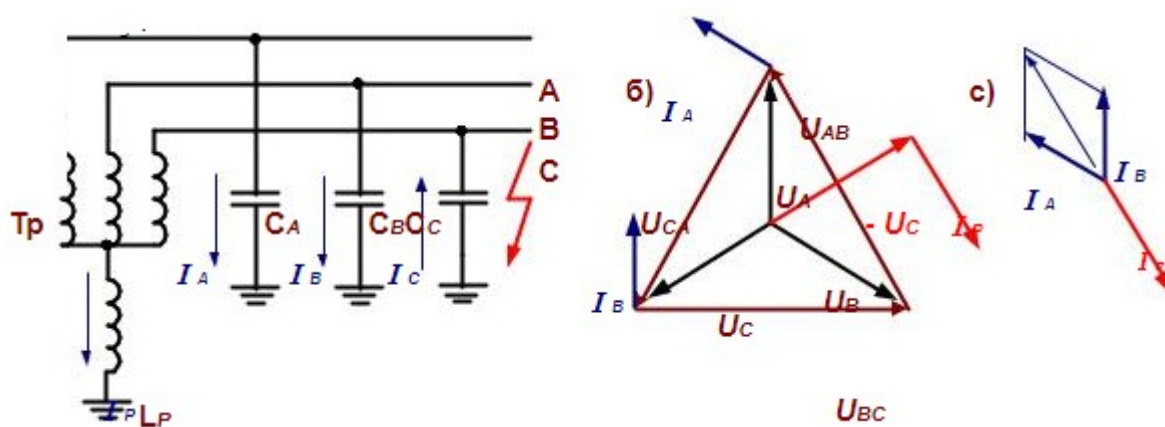


Рис. 4.3. Схема включения дугогасящего реактора (а), векторная диаграмма напряжений (б) и сумма токов (с)

Для снижения напряжения на реакторе в нормальном режиме улучшают симметрию системы, а также вводят некоторую расстройку реактора от резонанса. Большая несимметрия возникает при одновременной работе фаз выключателей, поэтому важно обеспечить

минимальный разброс в действии фаз (в пределах 2..4 полупериодов частоты 50 Гц).

При расчете режим короткого замыкания следует считать установившимся.

Числовые данные исходных величин.

+

$$\begin{aligned} h &:= 12 & \omega &:= 50 \\ S &:= 70 \cdot 10^{-6} & n &:= 1.25 \\ l &:= 25 \cdot 10^3 & r &:= \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 4.72 \times 10^{-3} \\ U_n &:= 10^4 & \epsilon_0 &:= 8.85 \cdot 10^{-12} \end{aligned}$$

Величина тока однофазного короткого замыкания на землю.

$$C_0 := \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}{\ln\left(\frac{2h}{r}\right)} = 9.193 \times 10^{-12}$$
$$I_3 := 3 \cdot \omega \cdot C_0 \cdot l \cdot U_n = 0.597$$

Величина индуктивности дугогасящей катушки, выбираемой из условия идеальной компенсации тока замыкания на землю.

$$L := \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C0} = 7.252 \times 10^{-8}$$

$$C11 := C0 \cdot 1 = 3.136 \times 10^{-8} \quad \Phi$$

Реактивная мощность дугогасящей катушки.

$$Q := n \cdot I3 \cdot Un = 7.463 \times 10^3$$

Максимально возможное мгновенное значение полного тока короткого замыкания называют ударным током короткого замыкания  $i_{уд}$ . Он наступает приблизительно через полпериода, что при  $f = 50$  Гц составляет около 0,01 с с момента возникновения короткого замыкания.

При токах замыкания на землю в сетях 6 кВ более 30 А и в сетях 10 кВ более 20 А согласно ПУЭ нейтраль должна быть заземлена через дугогасящие катушки для компенсации этих токов. Преимуществом такой системы работы является то, что в случае возникновения однофазного замыкания на землю электроприемники продолжают нормально работать и, следовательно, электроснабжение потребителей не нарушается.

В системах с заземленной нейтралью встречаются следующие короткие замыкания: трехфазные в одной точке; двухфазные в одной точке; двухфазные на землю в одной и в двух точках; однофазные на землю.

Протекание токов КЗ вызывает повышенный нагрев элементов электроустановки. Нагрев может ускорить старение и разрушение изоляции, вызвать сваривание или выгорание контактов, потерю механической

прочности шин и проводов и т. п. Проводники и аппараты должны без повреждений переносить нагрев токами КЗ.

В настоящее время изолированная нейтраль чаще всего используется в сетях со средним классом напряжения (1-35 кВ). Для сети 110 кВ и выше – глухозаземленная.

Единственным путем протекания тока однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью является емкостная связь между фазными проводами линий и землей. В зависимости от разветвленности сети емкостной ток может находиться в пределах от 0,1 до 500 ампер.

Перенапряжения при коммутации ненагруженных линий электропередачи связаны с включениями или отключениями выключателями емкостных токов. Подобные же процессы возникают при отключениях батарей конденсаторов поперечной компенсации (БК) или сборных шин подстанций.