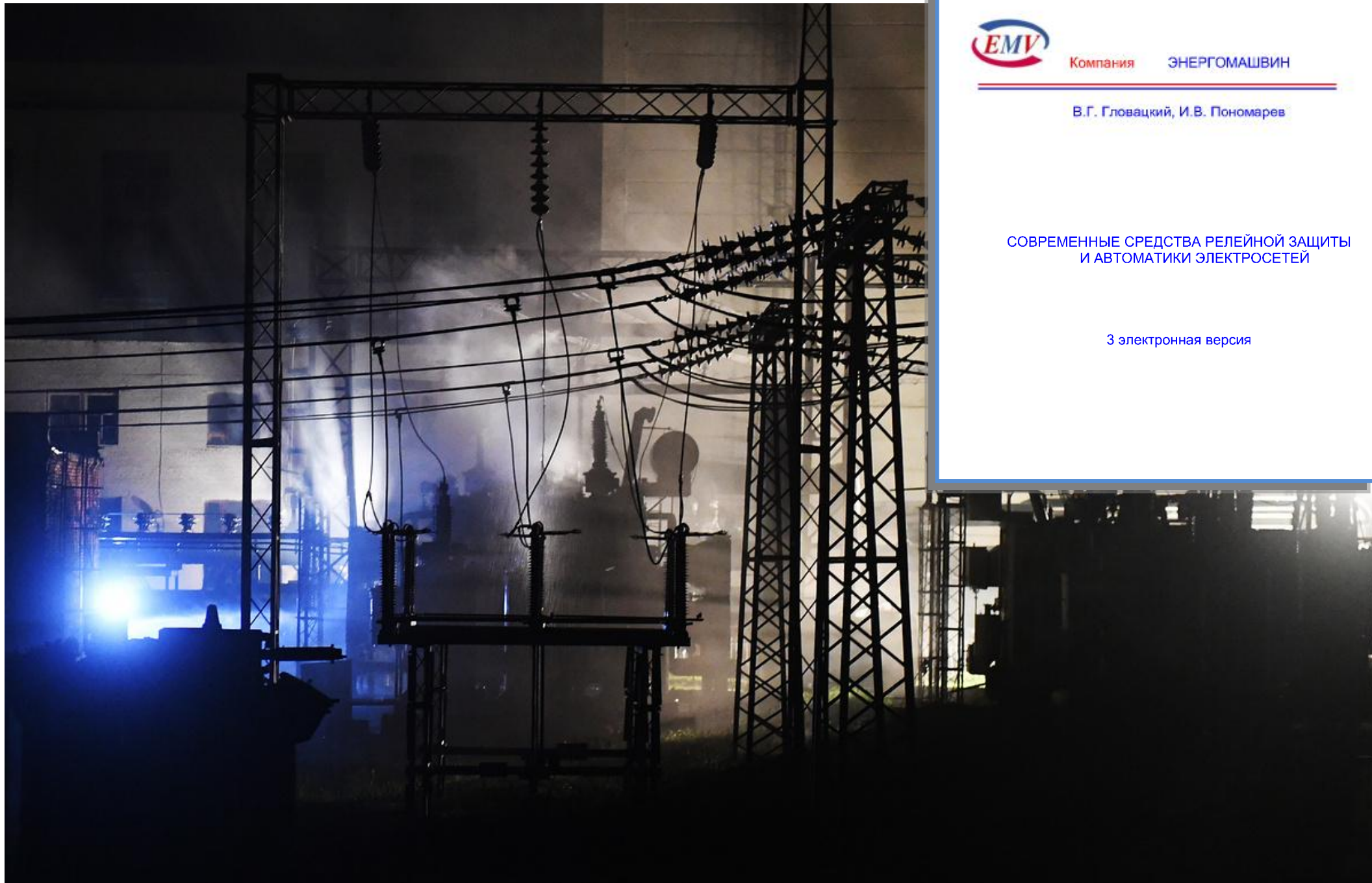


Релейная защита и автоматика систем электроснабжения

Лекция № ____

Виды повреждений электрической сети

Составил: Кузнецов Д. Б.



Компания

ЭНЕРГОМАШВИН

В.Г. Гловацкий, И.В. Пономарев

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

3 электронная версия

Повреждения— это аварийные режимы, требующие немедленного отключения оборудования.

Наиболее тяжелые нарушения нормальной работы ЭЭС вызываются *короткими замыканиями*.

При эксплуатации ЭЭС могут иметь место замыкания и короткие замыкания.

Замыкание — это всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы электрическое соединение различных точек электроустановок между собой или с землей.

Короткое замыкание — это не предусмотренное нормальными условиями работы, замыкание между фазами, а в системах с заземленными нейтралями (или четырехпроводных) — также замыкание одной или нескольких фаз на землю (или на нулевой провод). При коротком замыкании токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима.

Короткие замыкания бывают следующих видов: *трехфазные, двухфазные, двухфазные на землю и однофазные*. При определении параметров срабатывания защит в сетях 6...35 кВ расчетным видом является наибольший трехфазный ток КЗ, а при оценке чувствительности защит — наименьший двухфазный ток КЗ, а однофазные замыкания на землю не сопровождаются значительным увеличением тока.

В сетях 110 кВ и выше учитываются также значения токов КЗ на землю.

К ненормальным режимам работы электрооборудования относятся:

Перегрузка оборудования, вызванная увеличением тока сверх номинального значения. Номинальным называется максимальное значение тока, допускаемое для данного оборудования в течение неограниченного времени. Если ток, проходящий по оборудованию, превышает номинальное значение, то за счет выделяемой им дополнительной тепловой энергии температура токоведущих частей и изоляции через некоторое время превосходит допустимое значение, что приводит к ускоренному старению изоляции и токоведущих частей.

Время $t_{доп}$, допустимое для прохождения повышенных токов, зависит от их значения. Величина выделяемого тепла пропорциональна квадрату тока, и поэтому нагрев резко растет с увеличением кратности тока. Причиной сверхтока может быть увеличение нагрузки, или появление КЗ за пределами защищаемого элемента (внешнее КЗ). Для предупреждения повреждения оборудования при его перегрузке необходимо принять меры к его разгрузке или отключению в пределах времени $t_{доп}$.

Повышение напряжения возникает на трансформаторах, генераторах и линиях высокого напряжения и может быть передано в распределительные сети. В распределительных сетях появляются дополнительные причины для повышения напряжения: неправильная работа РПН, влияние емкостной компенсации при внезапном сбросе нагрузки. В ряде случаев, величина такого напряжения может оказаться опасной для оборудования: электронных устройств, бытовых приборов, двигателей и трансформаторов.

Понижение напряжения особенно опасно для электродвигателей, которые для поддержания необходимой величины момента, увеличивают потребление тока, что приводит к их токовой перегрузке и выходу из строя. При понижении напряжения резко уменьшается светоотдача ламп накаливания и погасание газоразрядных ламп. Защита от понижения напряжения обычно применяется в сетях промышленного назначения, питающих электродвигатели, в особенности синхронные.

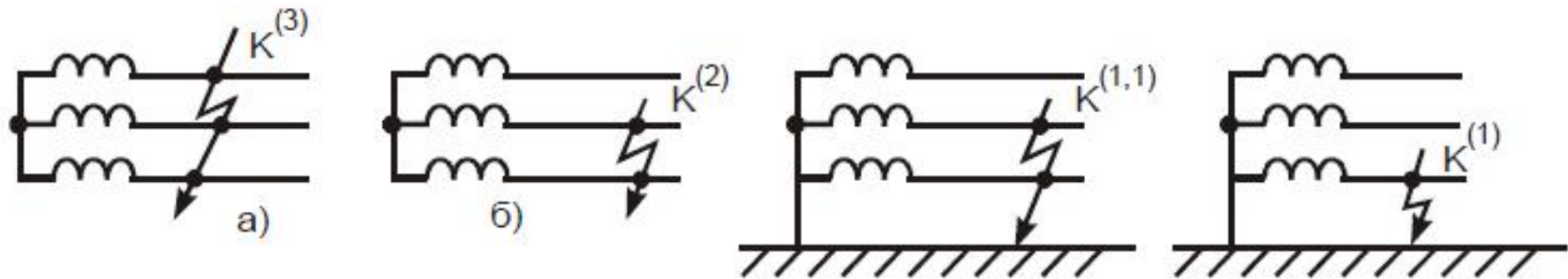
Режим работы двумя фазами происходит при обрыве фазы или перегорании предохранителя в питающей сети (неполнофазный режим). Двигатели при этом могут остаться в работе, если электромагнитный момент, развиваемый двигателем больше момента сопротивления механизма или остановиться. В обоих случаях ток резко возрастает, что приводит к перегрузке и перегреву двигателя и выходу его из строя. Поэтому часто двигатели снабжаются специальной защитой от

работы в неполнофазном режиме. Для предотвращения возникшей перегрузки может быть использована защита от перегрузки, действующая на отключение с выдержкой времени. Эта защита должна быть установлена хотя бы в двух фазах, чтобы она не оказалась подключенной к оборванной фазе.

Грозовые перенапряжения. Для защиты электрооборудования станций, подстанций и сетей от грозовых перенапряжений при прямых ударах молнии применяются грозозащитные тросы на воздушных линиях и специальные вентильные разрядники или нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН) на подстанциях.

Коммутационные перенапряжения возникают вследствие неодновременности отключения или включения токов фаз коммутационными аппаратами. В этом случае уровень перенапряжения зависит от величины и скорости изменения тока. При коммутации вакуумными выключателями малых индуктивных токов (отключение ненагруженных силовых трансформаторов или запускаемых электродвигателей) при некоторых сочетаниях параметров присоединения и выключателя возможен разрыв тока не при переходе синусоиды тока через нуль, как в масляных и элегазовых выключателях, а в любой момент периода (срез тока), сопровождающийся значительными перенапряжениями, опасными для оборудования. Для защиты оборудования необходимо применение ограничителей перенапряжения ОПН.

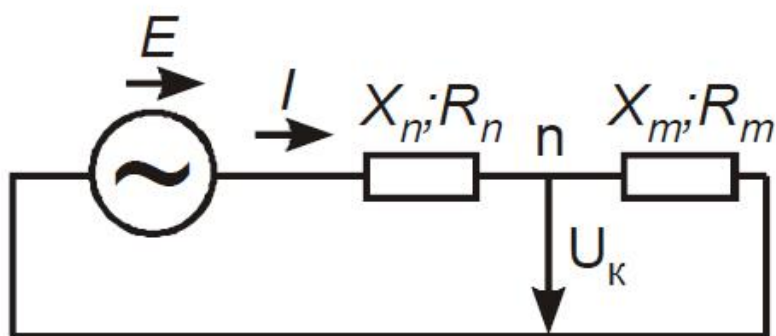
Короткие замыкания.



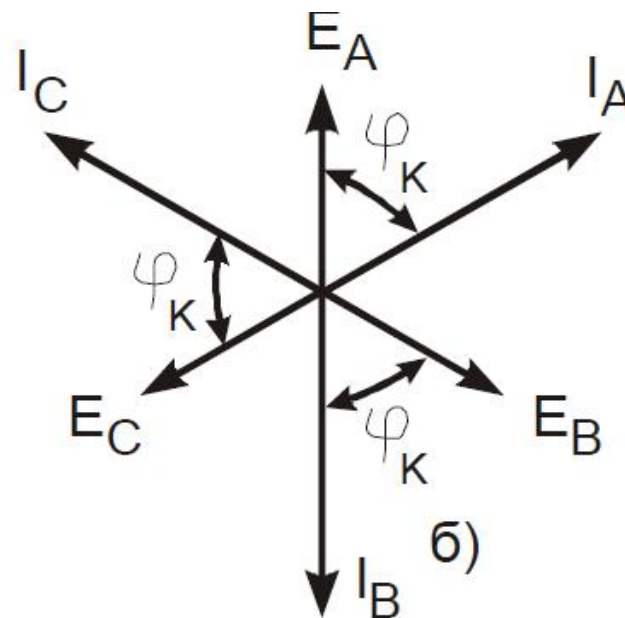
Основные виды коротких замыканий: *а)* - трехфазное; *б)* - двухфазное; *в)* - двухфазное на землю; *г)* - однофазное

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

$$\dot{I}_a = \dot{I}_b = \dot{I}_c; \quad \dot{U}_a = \dot{U}_b = \dot{U}_c \quad (1)$$



а)

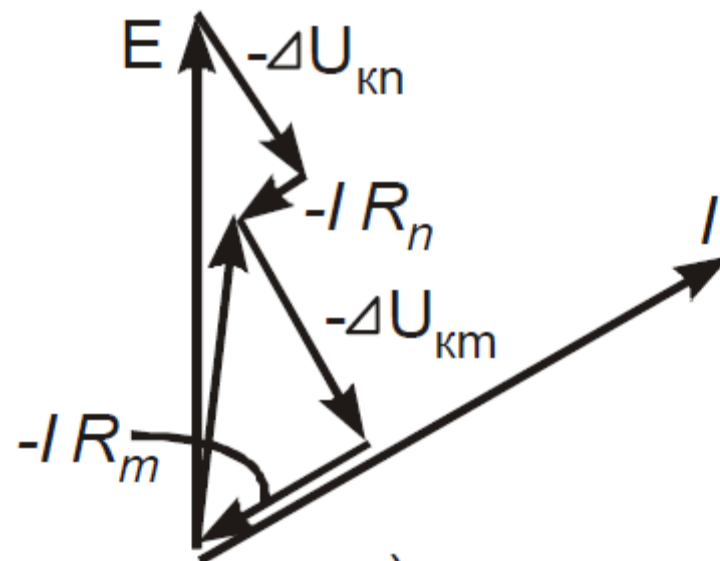


б)

Поскольку рассматриваемая система симметрична, ток КЗ, проходящий в каждой фазе, отстает от создающей его ЭДС на одинаковый угол (φ_n), определяемый соотношением активного и реактивного сопротивлений короткого замыкания:

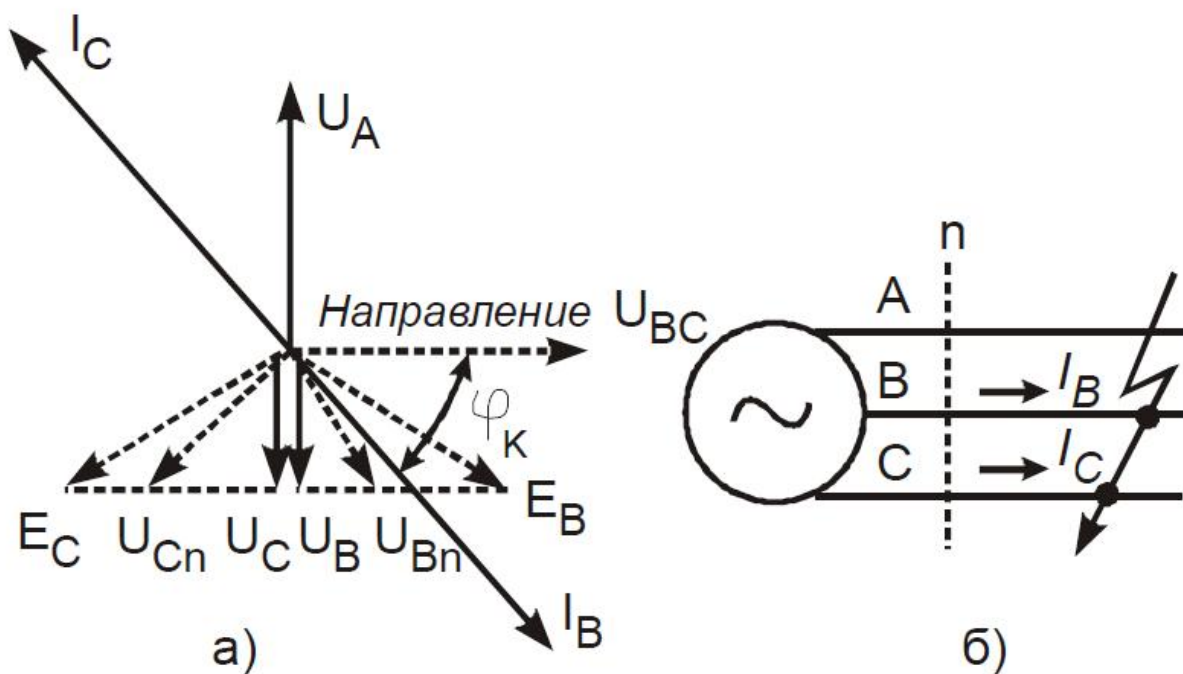
$$\varphi_n = \arctg \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}}$$

Для линий 110 кВ этот угол равен 60—78°; 220 кВ (один провод в фазе) — 73—82°; 330 кВ (два провода в фазе) — 80—85°; 500 кВ (три провода в фазе) — 84—87°; 750 кВ (четыре провода в фазе) — 86—88° (большие значения угла соответствуют большим сечениям проводов). Напряжение в месте КЗ равно нулю, а в любой другой точке сети может быть определено, как показано на рис:



Векторная диаграмма для определения напряжений в промежуточных точках сети.

Двухфазное короткое замыкание. При двухфазном КЗ токи и напряжения разных фаз неодинаковы. Рассмотрим соотношения токов и напряжений, характерные для двухфазного КЗ между фазами В и С (рис.). В поврежденных фазах и месте КЗ проходят одинаковые токи, а в неповрежденной фазе ток КЗ отсутствует:



$$\dot{I}_a = 0;$$

$$\dot{I}_b = \dot{I}_c$$

Междуфазное напряжение (\dot{U}_{bc}) в месте КЗ равно нулю, а фазные напряжения:

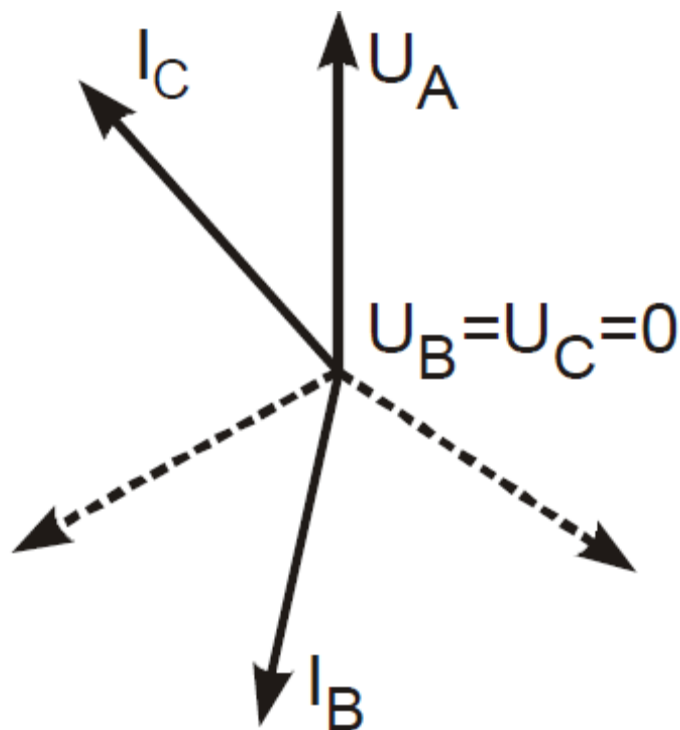
$$\dot{U}_b = \dot{U}_c = \dot{E} / 2 ; \quad \dot{U}_{bc} = 0$$

Так же как и при трехфазном КЗ, токи, проходящие в поврежденных фазах, отстают от создающей их ЭДС (в данном случае от ЭДС E_{bc} или параллельного ему вектора U_{bc}) на угол φ_k , определяемый соотношением активных и реактивных сопротивлений цепи. По мере удаления от места КЗ фазные напряжения U_b , U_c и междуфазное напряжение U_{ac} будут увеличиваться, как показано на рис. а штриховыми линиями для точки n .

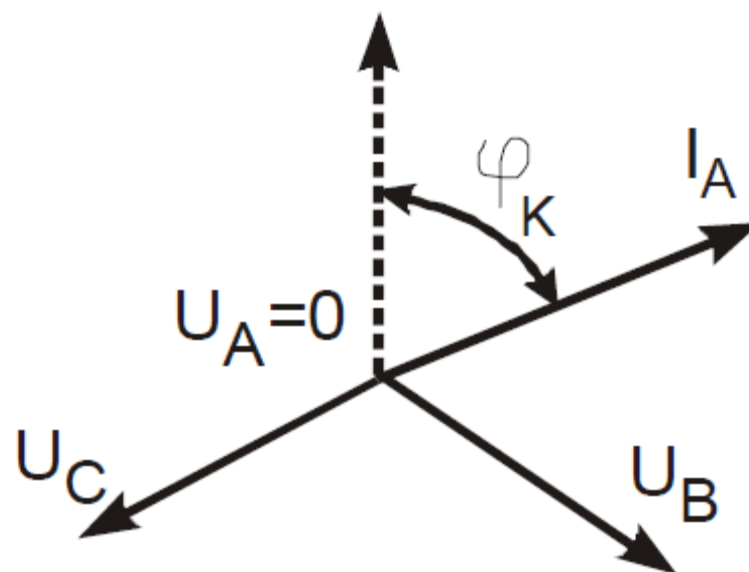
С точки зрения влияния на устойчивость параллельной работы генераторов и на работу электродвигателей рассматриваемый вид повреждения представляет значительно меньшую опасность, чем трехфазное КЗ.

Двухфазное короткое замыкание на землю в сети с заземленной нейтралью. Этот вид повреждения для сетей с изолированной нейтралью практически не отличается от двухфазного КЗ. Токи, проходящие в месте КЗ и в ветвях рассматриваемой схемы, а также междуфазные напряжения в разных точках сети имеют те же самые значения, что и при двухфазном КЗ.

В сетях же с заземленной нейтралью двухфазное КЗ на землю значительно более опасно, чем двухфазное КЗ. Это объясняется более значительным снижением междуфазных напряжений в месте КЗ, так как одно междуфазное напряжение уменьшается до нуля, а два других - до значения фазного напряжения неповрежденной фазы (рис.).



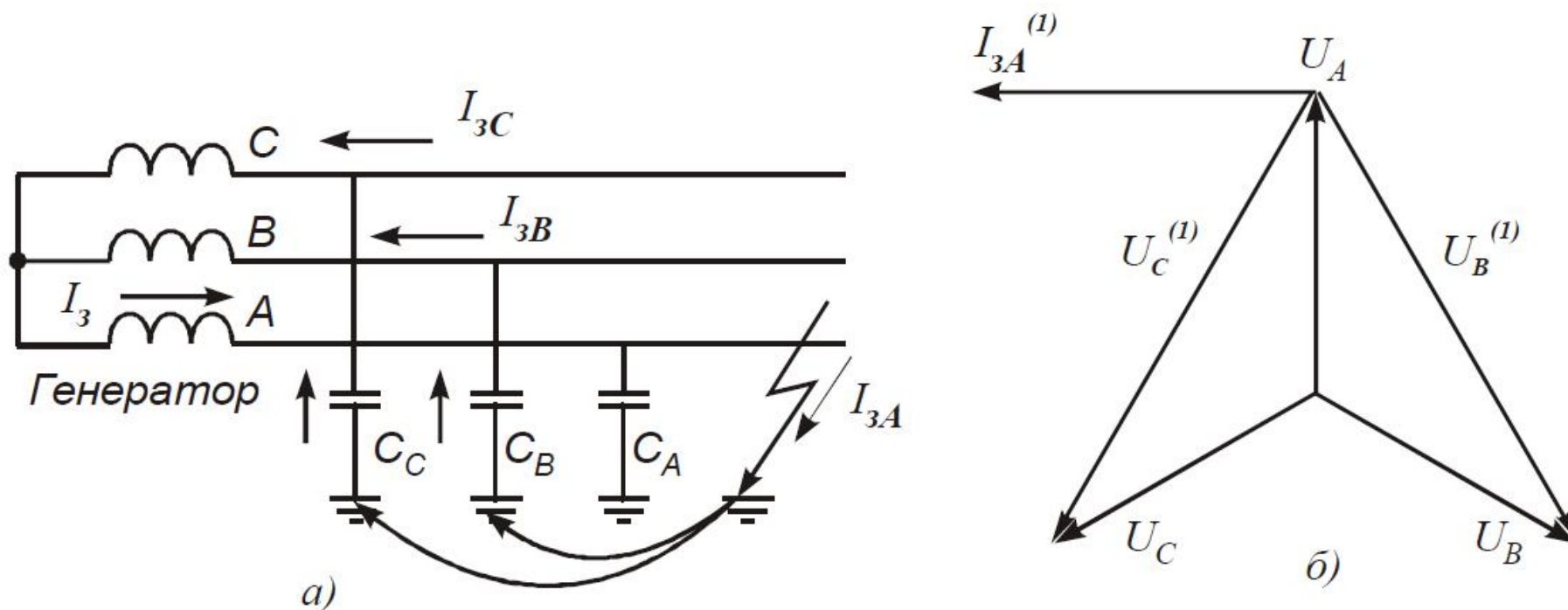
Однофазное короткое замыкание в сети с заземленной нейтралью. Однофазное КЗ может иметь место только в сетях с заземленной нейтралью. Векторные диаграммы токов и напряжений в месте однофазного КЗ фазы А приведены на рис., а формулы, определяющие соотношения между ними, даны ниже:



$$\dot{I}_a = 0; \quad \dot{U}_b = \dot{U}_c = 0$$

Однофазные КЗ, сопровождающиеся снижением до нуля в месте повреждения только одного фазного напряжения, представляют меньшую опасность для работы энергосистемы, чем рассмотренные выше междуфазные КЗ.

Однофазное замыкание на землю в сети с изолированной нейтралью.



В сетях с малыми токами замыкания на землю, к которым относятся сети 3—35 кВ, работающие с изолированной нейтралью, или с нейтралью заземленной через дугогасящий реактор, замыкание одной фазы на землю сопровождается значительно меньшими токами, чем токи КЗ.

При замыкании на землю одной фазы фазное напряжение поврежденной фазы (U_a на рис. а) относительно земли становится равным нулю, а напряжения неповрежденных фаз U_b и U_c увеличиваются в 1,73 раза и становятся равными междуфазным (рис., б).

Под действием напряжений U_b и U_c через место повреждения проходит ток через \dot{I}_{3A} емкости неповрежденных фаз B и C . Емкость поврежденной фазы зашунтирована местом замыкания, и поэтому ток через нее не проходит. Значение тока в месте замыкания на землю определяется следующим выражением:

$$\dot{I}_{3A} = \frac{\dot{U}_b^{(1)}}{X_\Sigma} + \frac{\dot{U}_c^{(1)}}{X_\Sigma}$$

где:

X_Σ - суммарное сопротивление цепи замыкания на землю. Поскольку активные и индуктивные сопротивления генераторов, трансформаторов и кабельных линий много меньше, чем емкостное сопротивление сети, ими можно пренебречь, тогда:

$$X_\Sigma = X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

где: f - частота сети, равная 50 Гц;

Поскольку при замыкании фазы A на землю напряжения фаз B и C относительно земли равны по значению междуфазному напряжению и сдвинуты на угол 60° , то

$$\left| \dot{U}_b^{(1)} + \dot{U}_c^{(1)} \right| = 3U_{\phi a}$$

В результате:

$$\dot{I}_a = 3U_{\phi} \omega C = 3U_{\phi} \pi f C$$

Емкость сети в основном определяется длиной присоединенных линий, в то время как емкости относительно земли обмоток генераторов и трансформаторов сравнительно невелики. Для расчета емкостного тока (А/км), проходящего при замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью, можно воспользоваться следующими выражениями, определяющими ток на 1 км кабельной линии:

- для линии 6 кВ:

$$\dot{I}_3 = \frac{95 + 2,84S}{2200 + 6S} \cdot U_{ном}$$

- для линии 10 кВ:

$$\dot{I}_3 = \frac{95 + 1,44S}{2200 + 0,23S} \cdot U_{ном}$$

Для сетей с изолированной нейтралью считается допустимой работа при емкостных токах замыкания на землю не превосходящих величины 20А, 15А, 10А соответственно для сети 6кВ, 10кВ, 35кВ. Для линий с железобетонными опорами независимо от уровня напряжения ток замыкания на землю должен быть не более 10А. Это требуется для предотвращения повреждения железной арматуры опоры длительно протекающим током замыкания на землю.

Для снижения тока замыкания на землю применяются специальные компенсирующие устройства — дугогасящие катушки, которые подключаются между нулевыми точками трансформаторов или генераторов и землей. В зависимости от настройки дугогасящей катушки ток замыкания на землю уменьшается до нуля, или до небольшого остаточного значения.

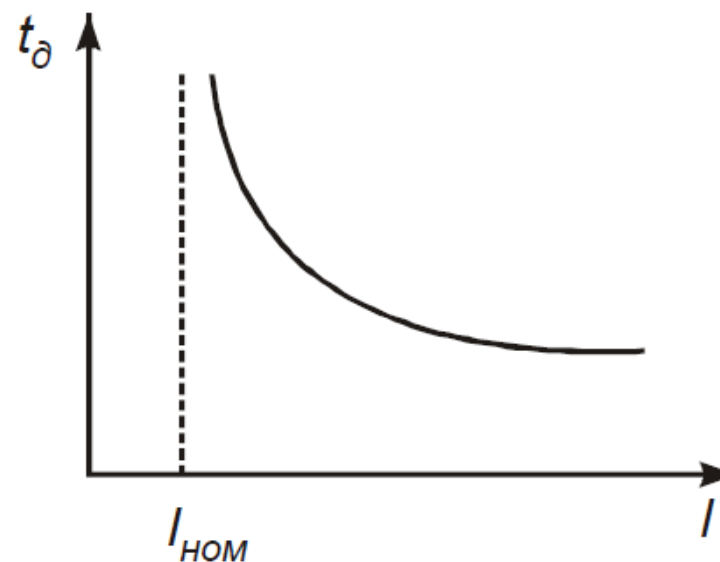
Поскольку токи замыкания на землю имеют небольшие значения, а все междуфазные напряжения остаются неизменными (рис.), однофазное замыкание на землю не представляет непосредственной опасности для потребителей. Защита от этого вида повреждения, как правило, действует на сигнал.

Другие ненормальные режимы оборудования

Перегрузка оборудования, вызванная увеличением тока сверх номинального значения. Номинальным называется максимальное значение тока, допускаемое для данного оборудования в течение неограниченного времени. Если ток I , проходящий по оборудованию, превышает номинальное значение, то за счет выделяемой им дополнительной теплоты температура токоведущих частей и изоляции через некоторое время превосходит допустимое значение, что приводит к ускоренному старению изоляции и токоведущих частей.

Время t_R , допустимое для прохождения повышенных токов, зависит от их значения. Характер этой зависимости, определяемой конструкцией оборудования и типом изоляционных материалов, приведен на рис. Величина

выделяемого тепла определяется квадратом тока, и поэтому нагрев резко растет с увеличением кратности тока. Причиной сверхтока может быть увеличение нагрузки, или появление КЗ за пределами защищаемого элемента (внешнее КЗ). Для предупреждения повреждения оборудования при его перегрузке необходимо принять меры к его разгрузке или отключению в пределах времени t_d .



Повышение напряжения. Обычно возникает на трансформаторах, генераторах и линиях высокого напряжения и может быть передано в распределительные сети. В распредсетях появляются дополнительные причины для повышения напряжения: неправильная работа РПН, влияние емкостной компенсации при внезапном сбросе нагрузки. В ряде случаев, величина такого напряжения может оказаться опасной для оборудования: электронных устройств, бытовых приборов, двигателей и трансформаторов. Например, для ламп накаливания повышение напряжения на 5% выше номинального сокращает срок их службы в два раза. Действующими нормами защита от таких режимов требуется для устройств емкостной компенсации (БСК).



БСК 110 кВ

Понижение напряжения. Оно особенно опасно для электродвигателей, которые, для поддержания необходимой величины момента, увеличивают потребление тока, что приводит к их токовой перегрузке и выходу из строя. При понижении напряжения резко уменьшается светоотдача ламп накаливания. Защита от понижения напряжения обычно применяется в сетях промышленного назначения, питающих электродвигатели, в особенности синхронные, а также в сети собственных нужд электростанций.

Режим работы двумя фазами. Он происходит при обрыве фазы в питающей сети. Двигатели при этом могут остаться в работе, если момента развиваемого двигателями достаточно, или остановиться. В обоих случаях ток резко растет, что приводит к перегрузке двигателя и выходу его из строя. Поэтому очень часто двигатели снабжаются специальной защитой от работы двумя фазами (обрыва фазы). Для предотвращения возникшей перегрузки может быть использована и защита от перегрузки, действующая на отключение, эта защита должна быть установлена хотя бы в двух фазах, чтобы защита не оказалась подключенной к оборванной фазе.

Грозовые перенапряжения. Для защиты оборудования станций, подстанций и сетей от грозовых перенапряжений при прямых ударах молнии применяются грозозащитные тросы над воздушными линиями и специальные вентильные или искровые разрядники. Пробивное напряжение вентильных

разрядников составляет приблизительно 2,2-3 ин.

Коммутационные перенапряжения возникают из-за неодновременности отключения или включения токов фаз коммутационными аппаратами, всплесков сверхЭДС самоиндукции силовых трансформаторов при резком изменении (отключении) тока. В последнем случае уровень перенапряжения зависит от величины и скорости изменения тока. При коммутации вакуумными выключателями малых индуктивных токов (отключение ненагруженных силовых трансформаторов, или запускаемых электродвигателей) при некоторых сочетаниях параметров присоединения и выключателя возможен разрыв тока не при переходе синусоиды тока через ноль, как в масляных выключателях, а в любой момент периода (срез тока), сопровождающийся значительными перенапряжениями, опасными для оборудования. Так как обычные разрядники от коммутационных перенапряжений не срабатывают, в таких случаях для защиты оборудования требуется применение специальных ограничителей перенапряжения (ОПН).



ОПН 6(10) кВ