

КУРС ЛЕКЦИЙ

по учебной дисциплине

«Переходные процессы в электроэнергетических системах»

Раздел 2 ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ В ЭЛЕМЕНТАХ ЭЭС

ЛЕКЦИЯ № 4 НЕСИММЕТРИЧНЫЕ АВАРИЙНЫЕ РЕЖИМЫ В ПРОСТЕЙШЕЙ ТРЁХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Учебные вопросы лекции:

- 1. Общие понятия и определения.**
- 2. Сети с заземлёнными и незаземленными нейтралями.
Роль нейтрального провода**
- 3. Аварийные режимы в системе с изолированной нейтралью.**

Вопрос 1. Общие понятия и определения

Электрические цепи в нормальном режиме работы ЭЭС могут быть или полностью изолированы от земли, или из режимных соображений какая-либо точка системы может быть соединена с землей.

Для выполнения заземления используется заземляющее устройство, представляющее собой совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземления в ЭЭС могут быть следующих видов:

- А. Рабочее заземление;**
- Б. Защитное заземление;**
- В. Грозозащитное заземление.**

- **Рабочее заземление** – это преднамеренное соединение с заземляющим устройством какой-либо точки элемента ЭЭС, необходимое для обеспечения ее работы.

Рабочее заземление обычно осуществляется путем заземления нейтралей обмоток генераторов или силовых трансформаторов.

- **Защитное заземление** – заземление металлических нетоковедущих частей и вторичных обмоток измерительных трансформаторов тока и напряжения из соображений безопасности людей.
- **Грозозащитное заземление** – заземление разрядников и молниеотводов.

Способ заземления нейтралей практически не сказывается на нормальном режиме работы сети, но при повреждении фазной изоляции оказывает решающее влияние на режим работы сети:

- на величину тока замыкания на землю и размеры разрушений, вызываемых им в месте повреждения;
- на величину напряжений фаз относительно земли и связанных с ними условий работы изоляции.

Величина тока замыкания на землю определяет требования, предъявляемые к заземляющим устройствам.

Принятый способ заземления нейтралей обуславливает электрические характеристики аварийного режима.

Заземление нейтрали может быть осуществлено:

- непосредственным соединением нейтрали с заземляющим устройством (глухозаземленная нейтраль);**
- через индуктивное сопротивление;**
- через активное сопротивление.**

Эффективность заземления нейтрали по условиям работы изоляции удобно характеризовать отношением максимального напряжения неповрежденной фазы относительно земли при замыкании на землю $U_{\phi 3}$ к нормальному фазному напряжению U_{ϕ} ; это отношение называют коэффициентом эффективности заземления нейтрали:

$$K_z = U_{\phi 3} / U_{\phi}$$

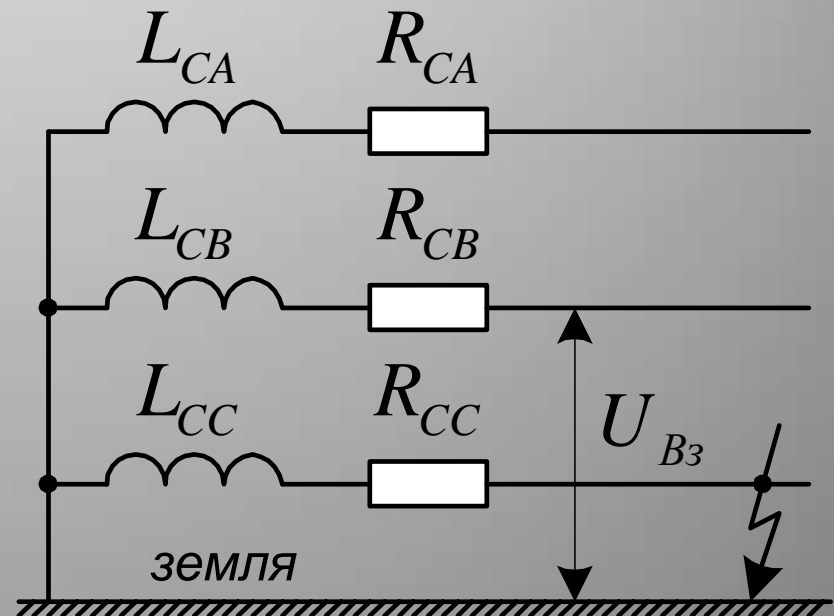
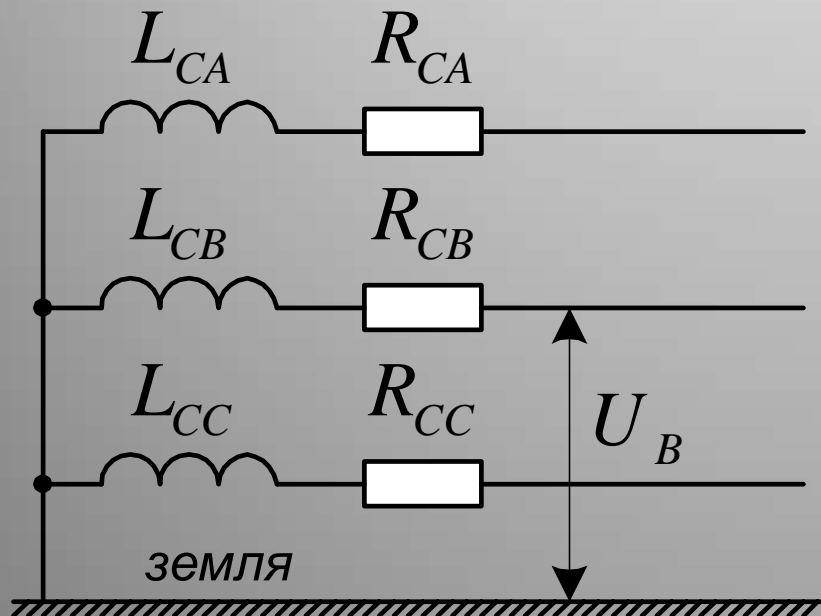
Если $K_z \leq 1,4$, то такое заземление нейтрали называют эффективным, а сеть – эффективно заземленной. Это имеет место, если нейтрали всех или некоторых обмоток электрических машин, объединенных сетями одного напряжения, заземлены наглухо или через небольшое индуктивное сопротивление.

Коэффициент эффективности заземления нейтрали

$$K_3 = U_{\phi 3} / U_{\phi}$$

Изолированная нейтраль $\hat{E}_{\zeta} = \frac{U_{\hat{o}\zeta}}{U_{\hat{o}}} = 1,73$

Глухозаземлённая
нейтраль $\hat{E}_{\zeta} = 1,41$



В эффективно заземленных сетях нарушение изоляции на землю означает КЗ, сопровождающееся протеканием больших аварийных токов. Поврежденный участок подлежит быстрому автоматическому отключению устройствами релейной защиты с последующим АПВ.

Если нейтраль заземлена через большое индуктивное сопротивление, величина которого примерно равна результирующему емкостному сопротивлению системы, то такое заземление нейтрали называют резонансным, а сеть – резонансно заземленной.

В резонансно заземленных сетях ток в месте нарушения изоляции и перенапряжения, возникающих при дуговых замыканиях на землю, ограничивают до безопасных значений. Поэтому не требуется немедленного (автоматического) отключения поврежденного участка, который может быть оставлен на некоторое время в работе (не более двух часов), что позволяет снизить требования к резервированию питания потребителей от сети.

Каждый способ заземления нейтрали имеет свои достоинства и недостатки, которые в сетях разных напряжений при разной суммарной протяженности сетей проявляются в той или иной степени. Поэтому универсального решения назвать нельзя.

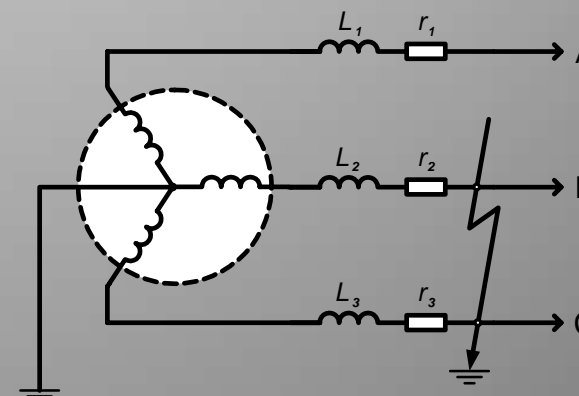
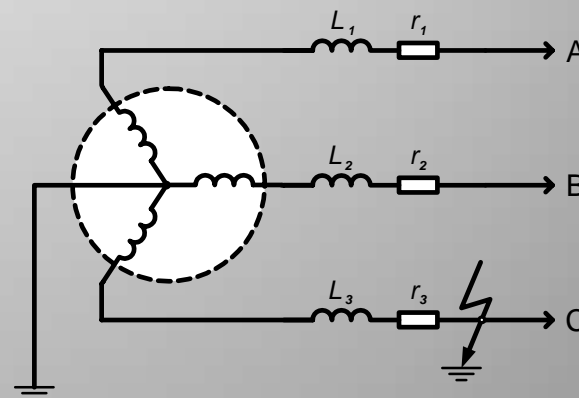
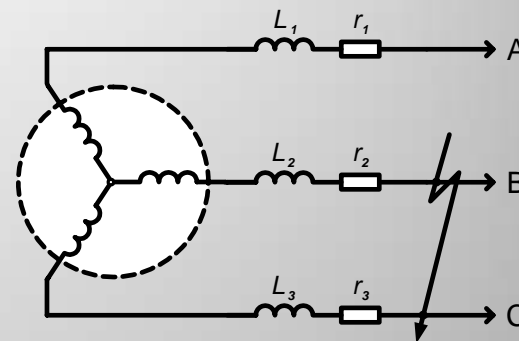
При напряжениях (110 кВ и выше) целесообразно применять эффективное заземление нейтрали, а при средних напряжениях (до 35 кВ включительно) – резонансное заземление нейтрали или при малой суммарной протяженности сетей – оставлять нейтрали незаземленными.

К несимметричным неполнофазным замыканиям относятся:

- двухфазные КЗ

- однофазные на землю КЗ

- двухфазные на землю КЗ



При несимметричном режиме, наряду с токами прямой последовательности, наводятся токи обратной и нулевой последовательности как первой, так и высших гармоник, но обычно учитываются лишь основные гармоники токов и напряжений.

Это допущение позволяет для расчёта переходного процесса несимметричного КЗ использовать известный в электротехнике метод симметричных составляющих.

Вопрос 2. Сети с заземлёнными и незаземлёнными нейтралями. Роль нейтрального провода

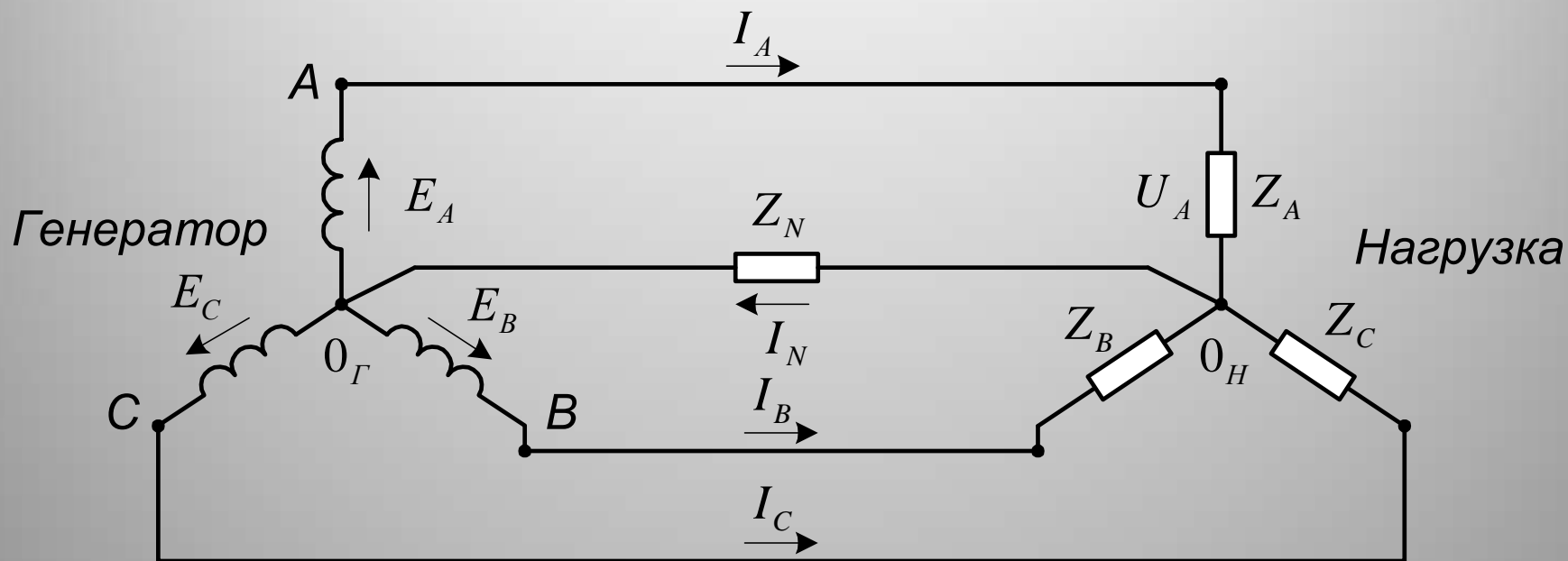


Схема четырёхпроводной трёхфазной системы
Сопротивления линейных проводов и обмоток
генератора учтены в сопротивлениях фазных
нагрузок .

По методу узлового напряжения, напряжение между нейтралью генератора и нейтралью нагрузки (смещение нейтрали) определяется выражением:

$$U_N = \frac{\dot{E}_A Y_A + \dot{E}_B Y_B + \dot{E}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N} = \frac{\sum (\dot{E}Y)}{\sum Y}$$

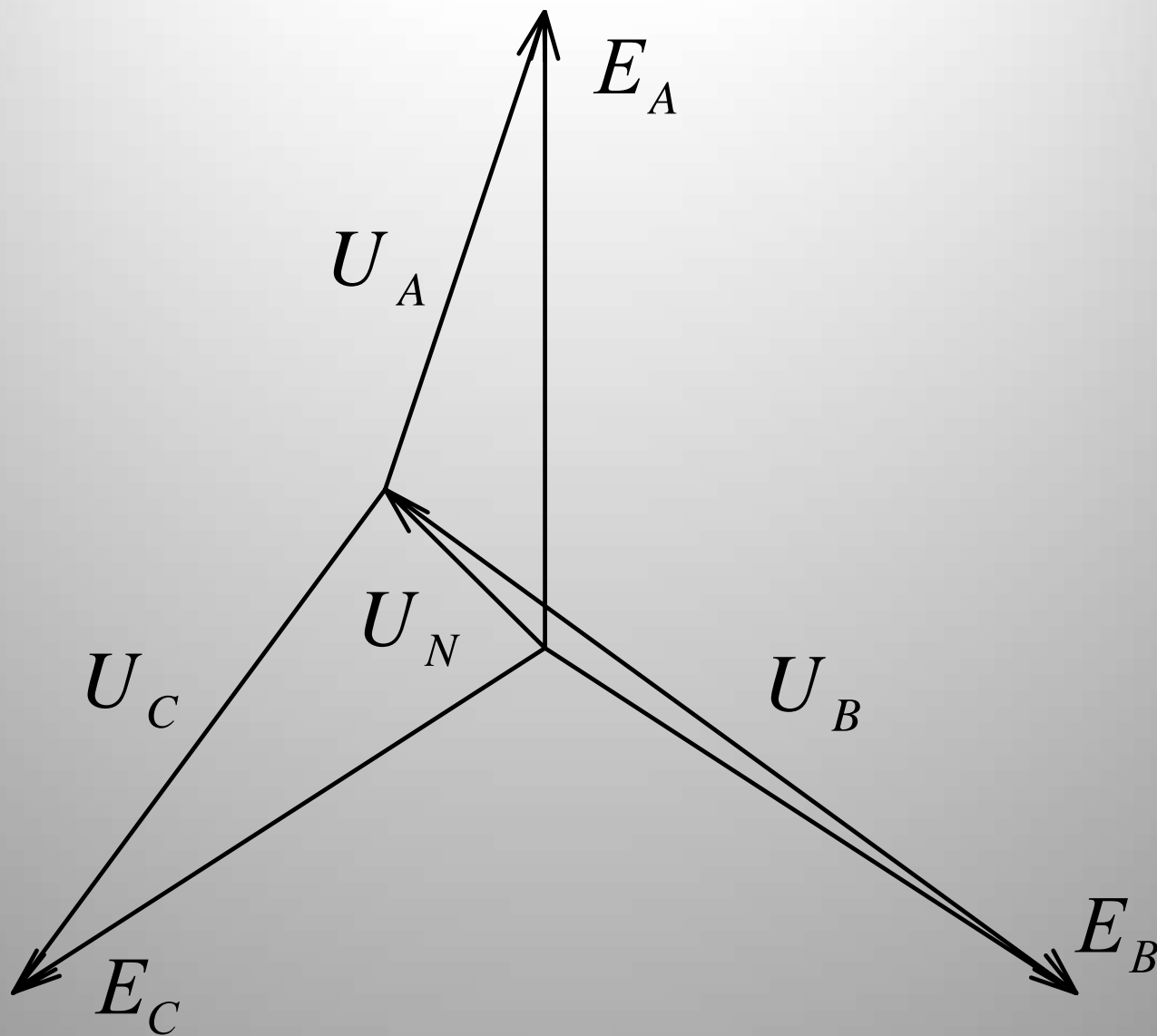
Напряжения на отдельных фазах нагрузки и токи в линейных и нулевом проводнике (пренебрегая сопротивлениями обмоток генератора и линейных проводов) определяются как:

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{E}_A - \dot{U}_N & \dot{I}_A &= \dot{U}_A Y_A \\ \dot{U}_B &= \dot{E}_B - \dot{U}_N & \dot{I}_B &= \dot{U}_B Y_B & \dot{I}_N &= \dot{U}_N Y_N \\ \dot{U}_C &= \dot{E}_C - \dot{U}_N & \dot{I}_C &= \dot{U}_C Y_C \end{aligned}$$

По первому правилу Кирхгофа при принятых положительных направлениях линейных токов от генератора к нагрузке, и тока в нейтральном проводе от нагрузки к генератору:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

Электродвижущие силы трёхфазного генератора обычно образуют симметричную систему, но при отличном от нуля напряжении смещения нейтрали напряжения на фазных нагрузках получаются несимметричными, что очевидно из векторной диаграммы на следующем слайде.



Векторная диаграмма э.д.с. и напряжений

Фазные напряжения на нагрузках тем сильнее отличаются друг от друга, чем больше смещение нейтрали, поэтому напряжение смещения нейтрали стремятся уменьшить до нуля.

Получить напряжение смещения нейтрали равным нулю можно двумя способами:

1-й способ: напряжения на фазных нагрузках будут симметричными, если выровнять нагрузки отдельных фаз:

Если нагрузка фаз равномерная:

$$Y_A = Y_B = Y_C = Y_\Phi \quad \begin{aligned} \dot{E}_A Y_A + \dot{E}_B Y_B + \dot{E}_C Y_C &= \\ Y_O (\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C) &= 0 \end{aligned}$$

При равномерной нагрузке:

$$U_N = \frac{\dot{E}_A Y_A + \dot{E}_B Y_B + \dot{E}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N} = 0$$

$$\dot{I}_N = \dot{U}_N Y_N = 0$$

Очевидно, что в этом случае четвёртый провод становится лишним и нагрузки можно присоединить к генератору тремя проводами, образуя трёхфазную трёхпроводную цепь

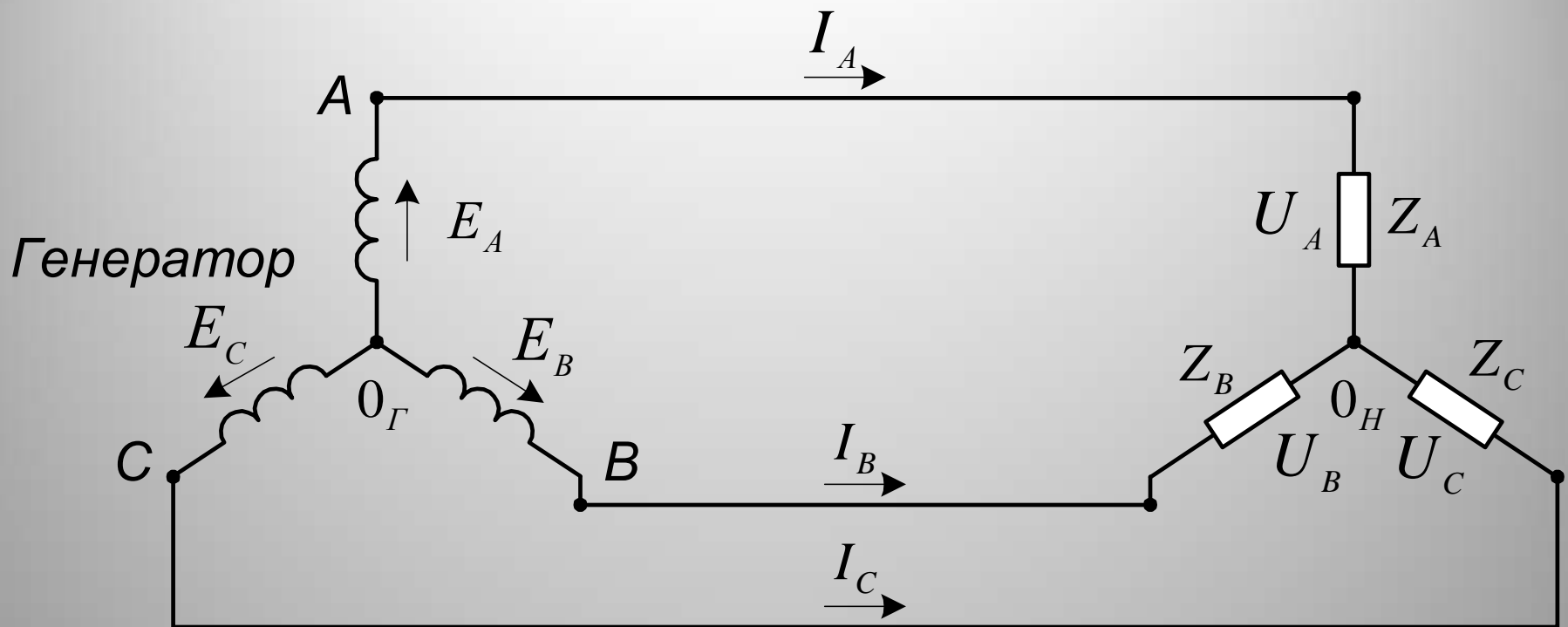


Схема трёхпроводной трёхфазной системы

2-й способ: Напряжения на фазных нагрузках будут симметричными если нейтральный провод выполнить с небольшим сопротивлением. В этом случае смещение нейтрали отсутствует независимо от нагрузки отдельных фаз:

$$U_N = \frac{\dot{E}_A Y_A + \dot{E}_B Y_B + \dot{E}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + \infty} = 0$$

Вывод: Обрыв нейтрального провода при различных фазных нагрузках влечёт за собой из-за смещения нейтрали изменение фазных напряжений, что совершенно недопустимо.

Вопрос 3. Аварийные режимы в системе с изолированной нейтралью

Пусть при симметричной системе э.д.с. генератора, одинаковых сопротивлениях фазных нагрузок и отсутствии нулевого провода произошёл обрыв одного из линейных проводов, например фазы А

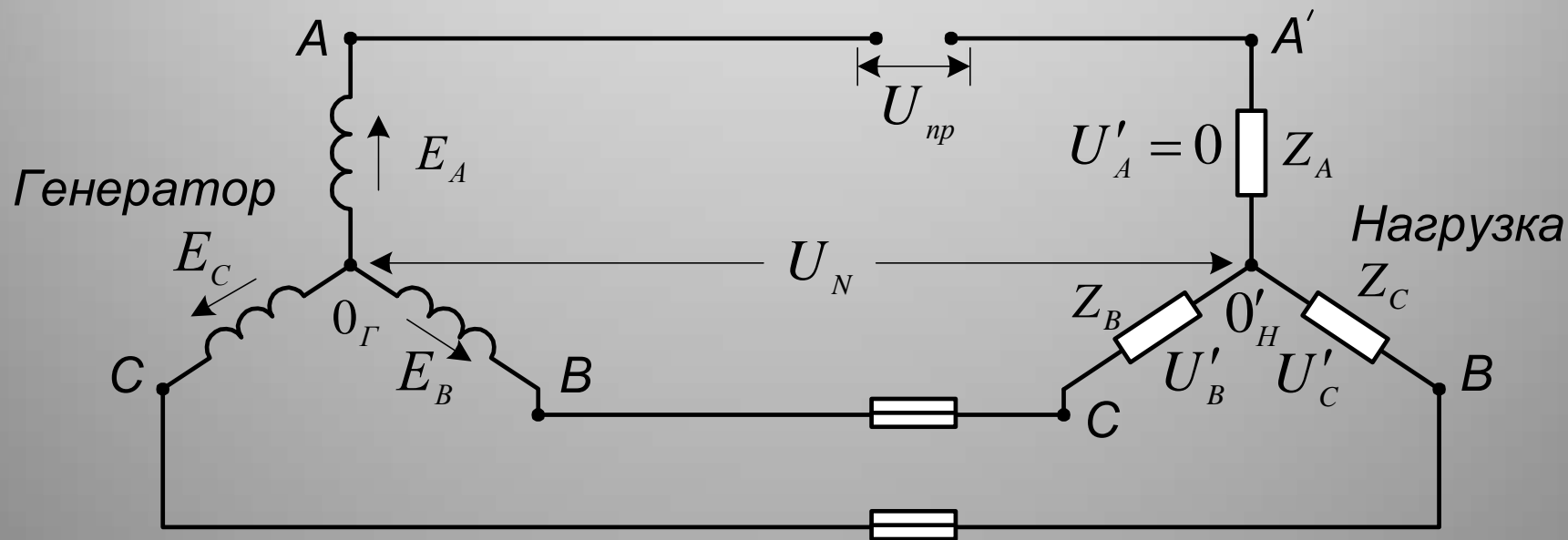


Схема трёхпроводной трёхфазной системы при разрыве одного из линейных проводов

В этом случае: $Z_A = \infty$ $Y_A = 0$ **тогда:**

$$U_N = \frac{\dot{E}_A \cdot 0 + \dot{E}_B Y_B + \dot{E}_C Y_C}{0 + Y_B + Y_C} = \frac{Y_B (\dot{E}_B + \dot{E}_C)}{2Y_B}$$

или, так как: $\dot{E}_B + \dot{E}_C = -\dot{E}_A$

$$U_N = -\frac{\dot{E}_A}{2}$$

Напряжение на фазе А нагрузки равно нулю, так как при обрыве провода ток равен нулю, но между зажимами перегоревшего предохранителя (точками А и А') появится напряжение:

$$\dot{U}_{np} = \dot{E}_A - \dot{U}_N = \frac{3}{2} \dot{E}_A$$

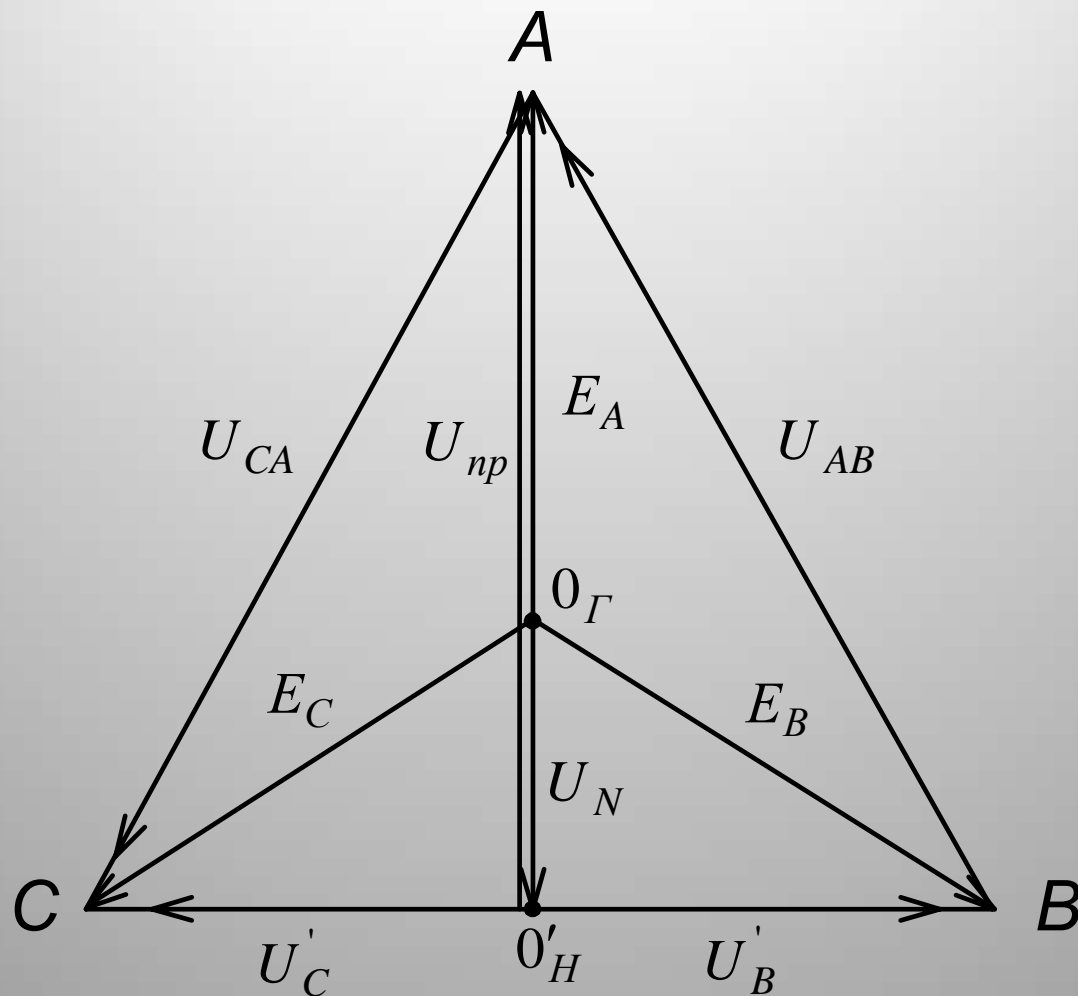
Напряжение на нагрузке фазы В:

$$\dot{U}'_B = \dot{E}_B - \dot{U}_N = \dot{E}_B - \frac{\dot{E}_B + \dot{E}_C}{2} = -\frac{U_{BC}}{2}$$

Напряжение на нагрузке фазы С:

$$\dot{U}'_C = \dot{E}_C - \dot{U}_N = \dot{E}_C - \frac{\dot{E}_B + \dot{E}_C}{2} = -\frac{U_{BC}}{2}$$

Результаты иллюстрирует векторная диаграмма



Векторная диаграмма процессов в цепи

Короткое замыкание фазы А

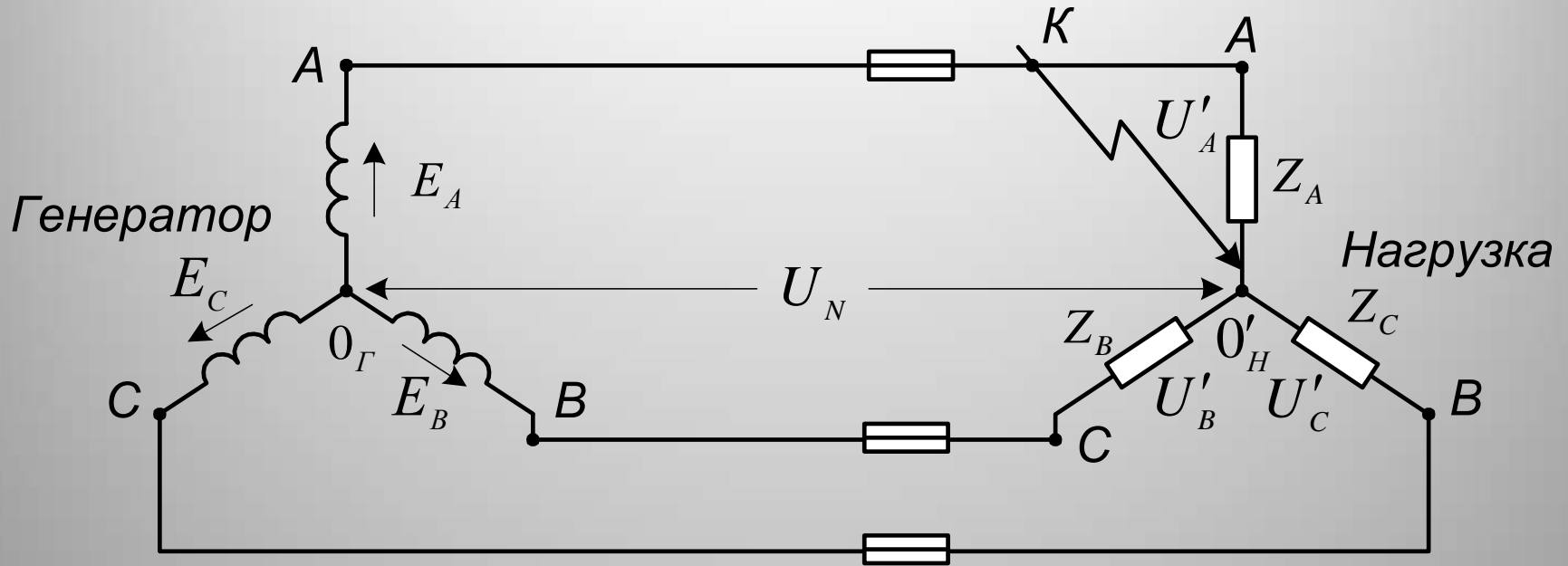


Схема трёхпроводной трёхфазной цепи при КЗ фазы А

Нейтральный провод отсутствует, следовательно:

$$Z_N = \infty, Y_N = 0$$

Для определения смещения нейтрали умножим числитель и знаменатель исходного выражения на Z_A , после чего приравняем Z_A нулю:

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A + \dot{E}_B Y_B Z_A + \dot{E}_C Y_C Z_A}{1 + Z_A (Y_B + Y_C)} = \dot{E}_A$$

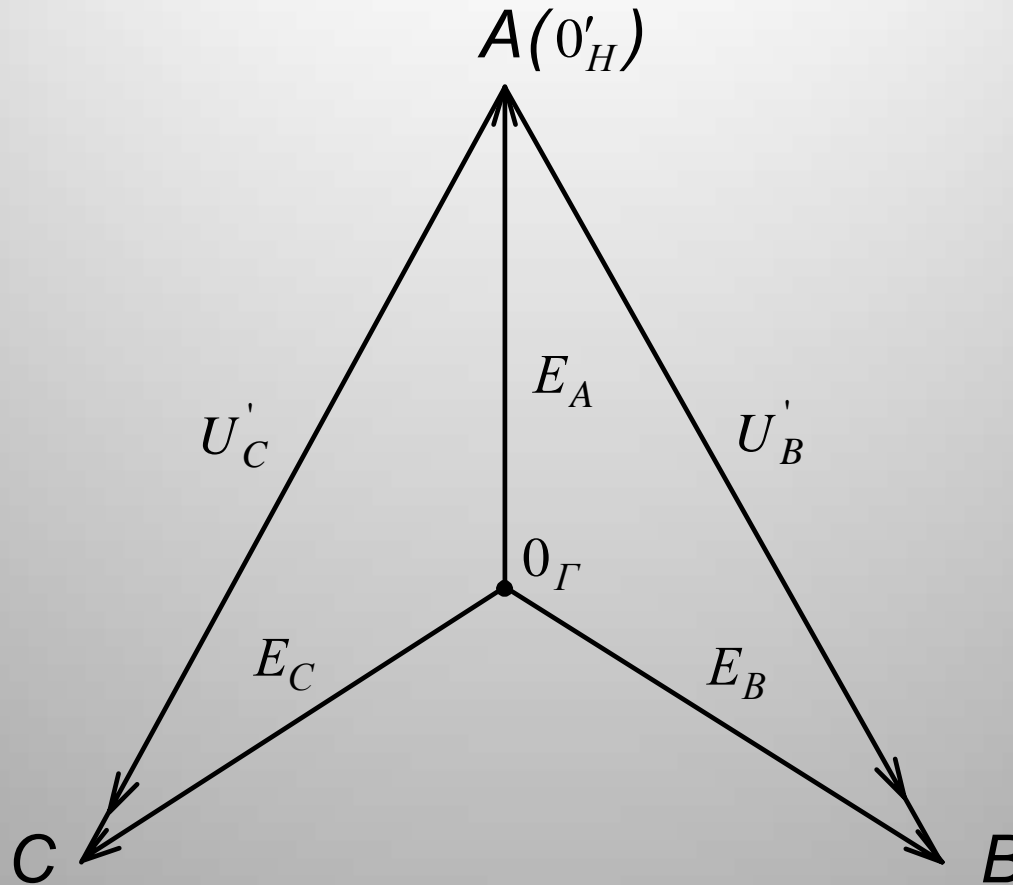
Напряжение на фазе А равно нулю, так как: $Z_A = 0$

Напряжение на нагрузках фазы В и фазы С:

$$\dot{U}_B = \dot{E}_B - \dot{U}_N = \dot{E}_B - \dot{E}_A = -\dot{U}_{AB}$$

$$\dot{U}_C = \dot{E}_C - \dot{U}_N = \dot{E}_C - \dot{E}_A = \dot{U}_{CA}$$

Результаты иллюстрирует векторная диаграмма



Из диаграммы следует, что при коротком замыкании одной фазы напряжения на других фазах возрастают в $\sqrt{3}$ раз.