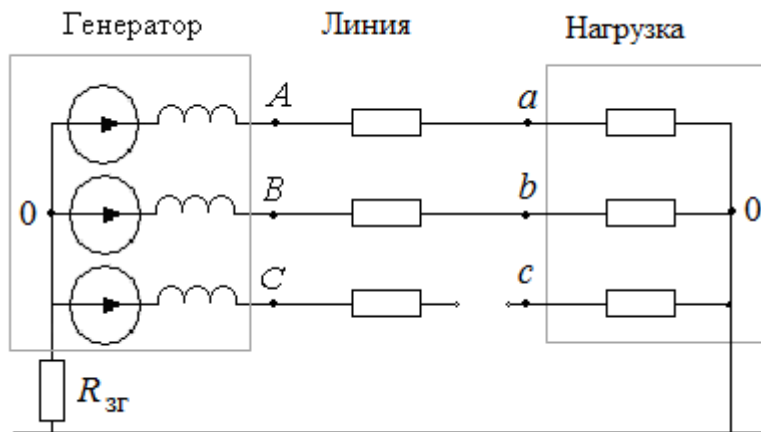
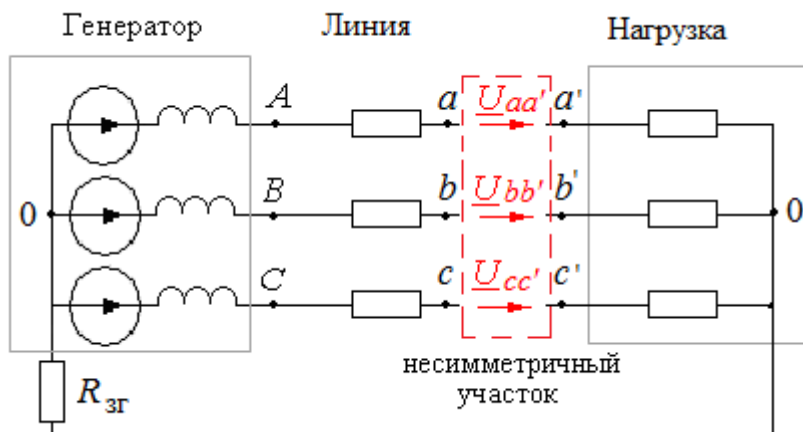


4.11 Расчет продольной несимметрии

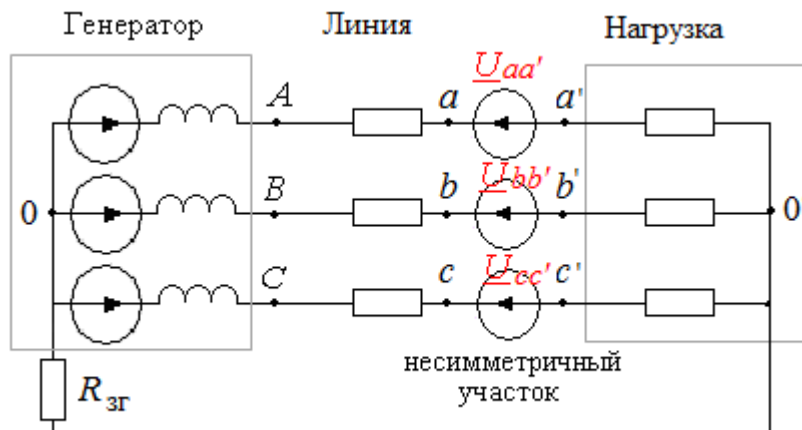
Обрыв в линии рассчитывается как **продольная несимметрия**. Рассмотрим обрыв фазы С в месте соединения линии и нагрузкой. Фазная ЭДС генератора E_ϕ ; сопротивления генератора Z_{r1}, Z_{r2}, Z_{r0} ; линии $Z_{л1} = Z_{л2}, Z_{л0}$; нагрузки $Z_{н1}, Z_{н2}, Z_{н0}$; сопротивление заземлителя $R_{зг}$.



Выделим несимметричный участок с напряжениями $\underline{U}_{aa'}$, $\underline{U}_{bb'}$ и $\underline{U}_{cc'}$:



Заменяем несимметричный участок тремя источниками ЭДС:



Вспользуемся аналитическим разложением системы векторов несимметричного напряжения на симметричные составляющие прямой \underline{U}_1 , обратной \underline{U}_2 и нулевой \underline{U}_0 последовательностей:

$$\begin{aligned}\underline{U}_{aa'} &= \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_0 \\ \underline{U}_{bb'} &= a^2 \underline{U}_1 + a \underline{U}_2 + \underline{U}_0 \\ \underline{U}_{cc'} &= a \underline{U}_1 + a^2 \underline{U}_2 + \underline{U}_0\end{aligned}$$

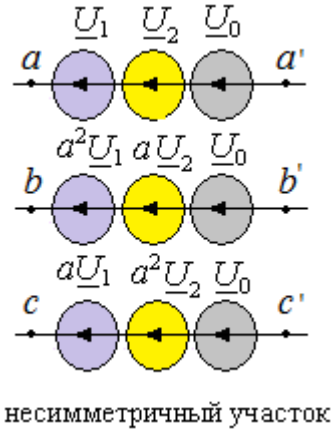
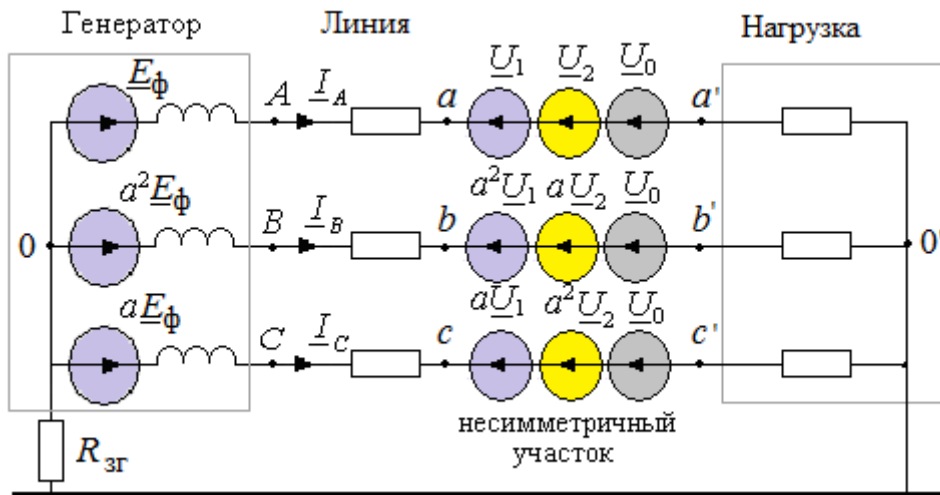


Схема трехфазной цепи с представлением несимметричного участка девятью дополнительными ЭДС в соответствии с разложением напряжений несимметричного участка имеет вид:



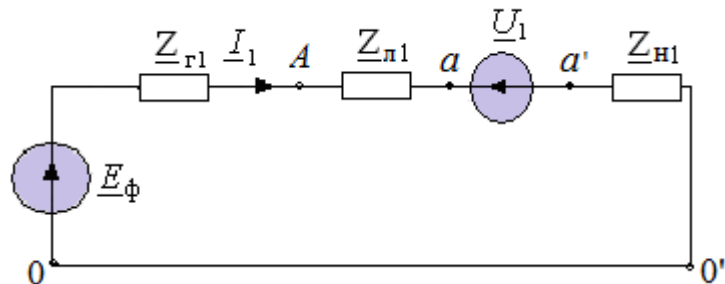
Для \underline{I}_A , \underline{I}_B и \underline{I}_C также есть симметричные составляющие прямой \underline{I}_1 , обратной \underline{I}_2 и нулевой \underline{I}_0 последовательностей:

$$\begin{aligned}\underline{I}_A &= \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0 \\ \underline{I}_B &= a^2 \underline{I}_1 + a \underline{I}_2 + \underline{I}_0 \\ \underline{I}_C &= a \underline{I}_1 + a^2 \underline{I}_2 + \underline{I}_0\end{aligned}$$

При этом токи прямой последовательности образованы источниками прямой последовательности (\underline{E}_ϕ и \underline{U}_1), токи обратной последовательности - источником обратной последовательности (\underline{U}_2), токи нулевой последовательности - источником

нулевой последовательности (\underline{U}_0). Составим **однофазные схемы замещения фазы А** для расчета токов прямой, обратной и нулевой последовательности:

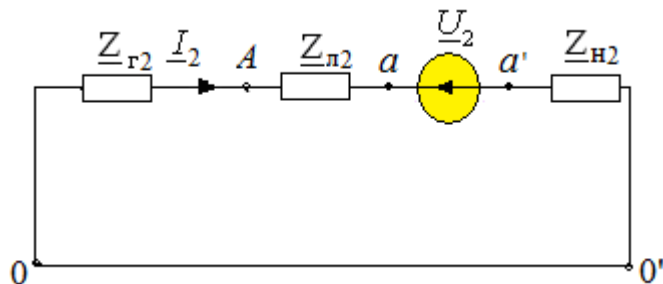
а) расчетная схема фазы А прямой последовательности (\underline{E}_ϕ и \underline{U}_1):



Так как для прямой последовательности в симметричном режиме $\underline{\varphi}_0 = \underline{\varphi}_{0'}$, $I_{зг1} = 0$, в расчетной схеме соединим точки 0 и 0'.

Уравнение связи $I_1(U_1)$: $I_1 = \frac{\underline{E}_\phi - \underline{U}_1}{\underline{Z}_{r1} + \underline{Z}_{l1} + \underline{Z}_{n1}}$ или $\underline{U}_1 = \underline{E}_\phi - (\underline{Z}_{r1} + \underline{Z}_{l1} + \underline{Z}_{n1}) I_1$ (1)

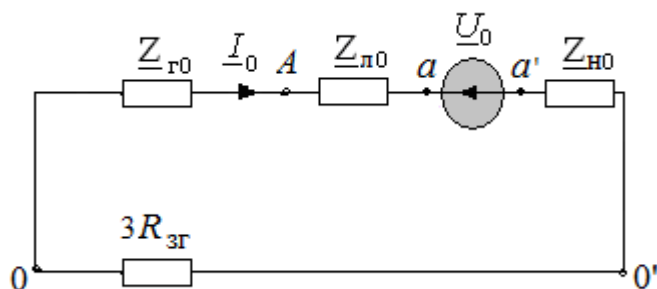
б) расчетная схема фазы А обратной последовательности (\underline{U}_2):



Так как для обратной последовательности в симметричном режиме $\underline{\varphi}_0 = \underline{\varphi}_{0'}$, $I_{зг2} = 0$, в расчетной схеме соединим точки 0 и 0'.

Уравнение связи $I_2(U_2)$: $I_2 = -\frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_{r2} + \underline{Z}_{l2} + \underline{Z}_{n2}}$ или $\underline{U}_2 = -(\underline{Z}_{r2} + \underline{Z}_{l2} + \underline{Z}_{n2}) I_2$ (2)

в) расчетная схема фазы А нулевой последовательности (\underline{U}_0):



Для токов нулевой последовательности $\underline{I}_{3г0} = 3\underline{I}_0$. Напряжение $\underline{U}_{0^*0} = R_{3г} \underline{I}_{3г0} = 3R_{3г} \underline{I}_0$, в расчетной схеме для определения тока \underline{I}_0 это учтено как $3\underline{Z}_{3г}$.

Уравнение связи $\underline{I}_0(\underline{U}_0)$:

$$\underline{I}_0 = -\frac{\underline{U}_0}{\underline{Z}_{г2} + \underline{Z}_{л2} + \underline{Z}_{н2} + 3R_{3г}} \quad \text{или} \quad \underline{U}_0 = -\underline{I}_0(\underline{Z}_{г2} + \underline{Z}_{л2} + \underline{Z}_{н2} + 3R_{3г}) \quad (3)$$

Рассматриваемая несимметрия описывается дополнительными уравнениями:

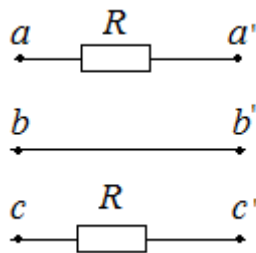
$$\begin{array}{c} \underline{a} \quad \underline{a}' \\ \longleftarrow \quad \longrightarrow \end{array} \quad \underline{U}_{aa'} = 0 \quad \text{или} \quad \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = 0 \quad (4)$$

$$\begin{array}{c} \underline{b} \quad \underline{b}' \\ \longleftarrow \quad \longrightarrow \end{array} \quad \underline{U}_{bb'} = 0 \quad \text{или} \quad a^2 \underline{U}_1 + a \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = 0 \quad (5)$$

$$\begin{array}{c} \underline{c} \quad \underline{c}' \\ \longleftarrow \quad \longrightarrow \end{array} \quad \underline{I}_C = 0 \quad \text{или} \quad a \underline{I}_1 + a^2 \underline{I}_2 + \underline{I}_0 = 0 \quad (6)$$

Решение системы шести уравнений относительно симметричных составляющих токов $\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_0$ и напряжений $\underline{U}_1, \underline{U}_2, \underline{U}_0$ позволяет в дальнейшем определить линейные и фазные токи, фазные и линейные напряжения генератора и нагрузки.

Дополнительные уравнения для несимметрии, представленной на рисунке, имеют следующий вид:



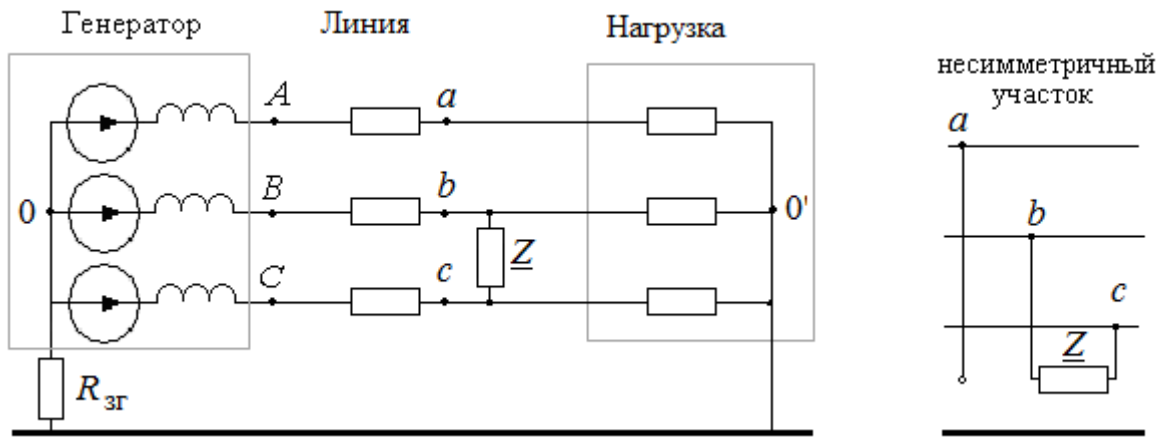
$$\underline{U}_{aa'} = R \underline{I}_A \quad \text{или} \quad \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = R(\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0)$$

$$\underline{U}_{bb'} = 0 \quad \text{или} \quad a^2 \underline{U}_1 + a \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = 0$$

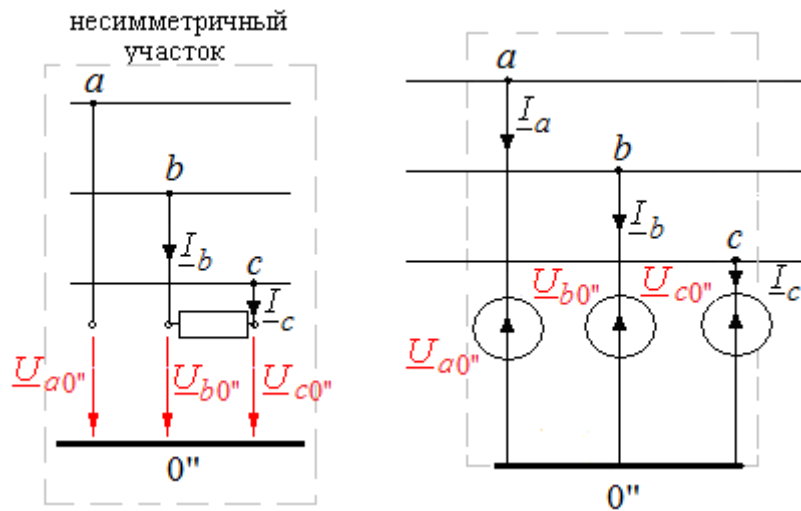
$$\underline{U}_{cc'} = R \underline{I}_C \quad \text{или} \quad a \underline{U}_1 + a^2 \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = R(a \underline{I}_1 + a^2 \underline{I}_2 + \underline{I}_0)$$

4.12 Расчет замыкания между фазами

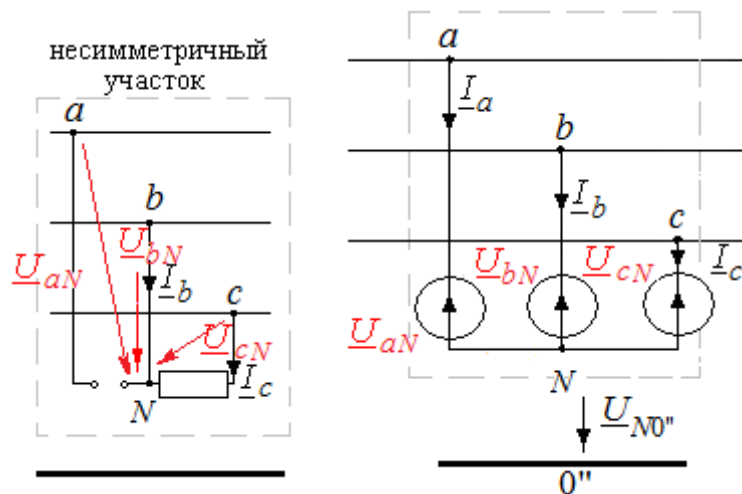
При замыкании между фазами несимметрию можно рассчитывать и как поперечную, и как продольную. В первом случае напряжения несимметричного участка рассматриваются относительно "земли", во втором случае относительно некоторой точки (узла) трехфазной цепи. Отличие двух рассмотрений проявляется только при составлении однофазной схемы нулевой последовательности и дополнительных уравнений. Рассмотрим пример замыкания между фазами b и c через двухполюсник \underline{Z} (при коротком замыкании $\underline{Z} = 0$), несимметричный участок находится между линией и нагрузкой. Представим несимметричный участок в виде несимметричного трехфазного приемника:



При рассмотрении напряжений несимметричного участка как $\underline{U}_{a0'}$, $\underline{U}_{b0'}$ и $\underline{U}_{c0'}$ относительно земли (как **поперечной** несимметрии, см. рисунок) замена несимметричного участка системой трех ЭДС будет иметь следующий вид:

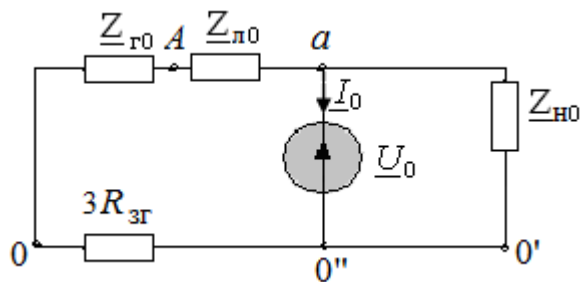


При введении дополнительной точки (узла) N напряжения несимметричного участка \underline{U}_{aN} , \underline{U}_{bN} и \underline{U}_{cN} , (несимметрия в линейных участках, что характерно для **продольной** несимметрии) замена несимметричного участка системой трех ЭДС будет иметь следующий вид:



Точка N не имеет соединения с землей, между этой точкой и землей может быть ненулевое напряжение $\underline{U}_{N0'}$.

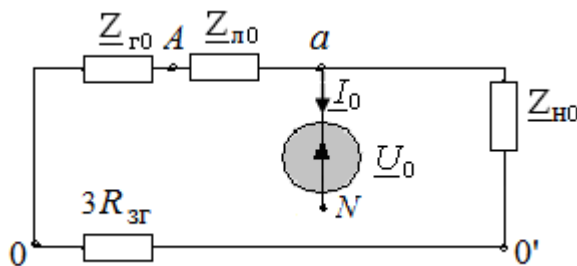
Для однофазных схем прямой и обратной последовательности $\underline{\Phi}_0 = \underline{\Phi}_{0'} = \underline{\Phi}_{0''}$ для первого варианта и $\underline{\Phi}_0 = \underline{\Phi}_{0'} = \underline{\Phi}_N$ для второго варианта, поэтому расчетные схемы двух вариантов одинаковые. Схема нулевой последовательности для **первого варианта** имеет следующий вид:



Уравнение нулевой последовательности

$$\underline{I}_0 = -\frac{\underline{U}_0}{\underline{Z}_{\Sigma 0}} \quad (3.1).$$

Схема нулевой последовательности для **второго варианта** имеет следующий вид:

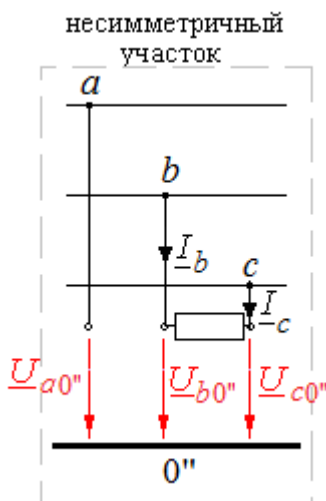


Уравнение нулевой последовательности

$$\underline{I}_0 = 0 \quad (3.2).$$

При отсутствии соединения несимметричного приемника с землей симметричные составляющие токов нулевой последовательности равны нулю. При этом составляющая нулевой последовательности напряжений $\underline{U}_0 \neq 0$ и не может быть определена по расчетной схеме нулевой последовательности.

Дополнительные уравнения для первого варианта



$$\underline{I}_a = 0 \quad \text{или} \quad \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0 = 0$$

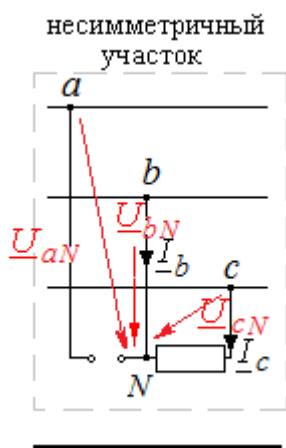
$$\underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = 0 \quad \text{или} \quad 3\underline{I}_0 = 0$$

$$\underline{U}_{c0''} - \underline{U}_{b0''} = \underline{Z} \underline{I}_c \quad \text{или}$$

$$(a\underline{U}_1 + a^2\underline{U}_2 + \underline{U}_0) - (a^2\underline{U}_1 + a\underline{U}_2 + \underline{U}_0) = \underline{Z}(a\underline{I}_1 + a^2\underline{I}_2 + \underline{I}_0)$$

Так как $\underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = 0$ или $3\underline{I}_0 = 0$, следовательно, с учетом (3.1) составляющая нулевой последовательности $\underline{U}_0 = 0$.

Дополнительные уравнения для второго варианта



$$\underline{I}_a = 0 \quad \text{или} \quad \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0 = 0$$

$$\underline{U}_{bN} = 0 \quad \text{или} \quad a^2 \underline{U}_1 + a \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = 0$$

$$\underline{I}_0 = 0$$

$$\underline{U}_{cN} = \underline{Z} \underline{I}_c \quad \text{или}$$

$$(a \underline{U}_1 + a^2 \underline{U}_2 + \underline{U}_0) = \underline{Z} (a \underline{I}_1 + a^2 \underline{I}_2 + \underline{I}_0)$$

Введение дополнительного узла и рассмотрение напряжений несимметричного участка относительно этого узла (точки) позволяет получить более простые дополнительные уравнения и, соответственно, облегчить решение.