

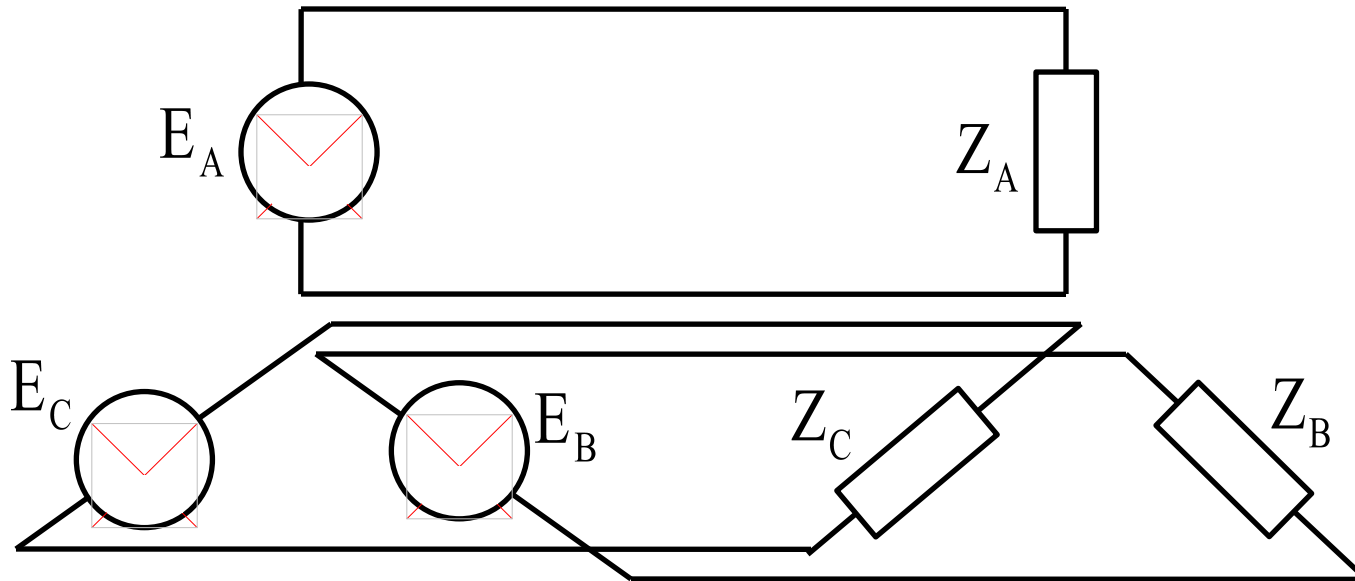
# Трёхфазные системы

# Достоинства и недостатки трёхфазной системы по отношению к однофазной

1. Ещё большая экономия электроэнергии при передаче;
2. Ещё большее упрощение конструкции электрических машин;
3. Экономия электроматериалов;
4. Возможность получения вращающегося магнитного поля;
5. Возможность получения от одного источника двух эксплуатационных напряжений .

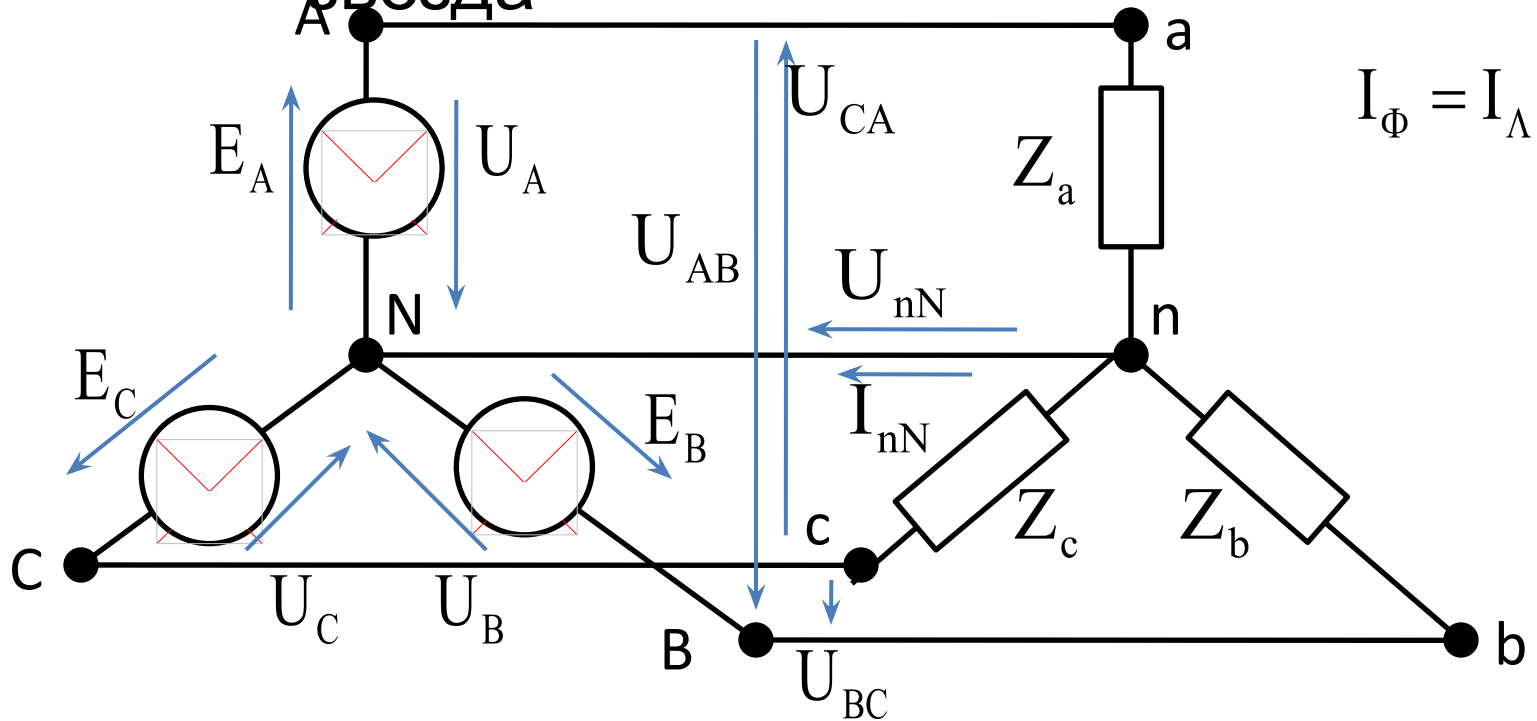
1. Усложнение системы;
2. Усложнение расчётов электрических цепей.

# Получение трёхфазной СИСТЕМЫ



$$|E_A| = |E_B| = |E_C|$$

# Соединение звезда-звезда



$$e_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin (\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C = E_m \sin (\omega t - 240^\circ)$$

A, B, C – выводы (зажимы) фаз генератора;  
a, b, c – выводы (зажимы) фаз нагрузки;  
N – нейтральная (нулевая) точка генератора;  
n – нейтральная (нулевая) точка нагрузки;  
Aa, Bb, Cc – линейные провода;  
Nn – нейтральный (нулевой) провод;

Чередование фаз генератора, где амплитудное значение ЭДС достигает сначала в фазе A, потом в B, затем в C называется прямым (A-B-C-A-B-C-A...).

Чередование фаз A-C-B-A-C-B-A... называется обратным и может быть получено изменением направления вращения ротора генератора или сменой любых двух выводов (зажимов) генератора.

На рисунке указаны принятые положительные направления ЭДС ( $E_A, E_B, E_C$ ) и фазных напряжений ( $U_A, U_B, U_C$ )

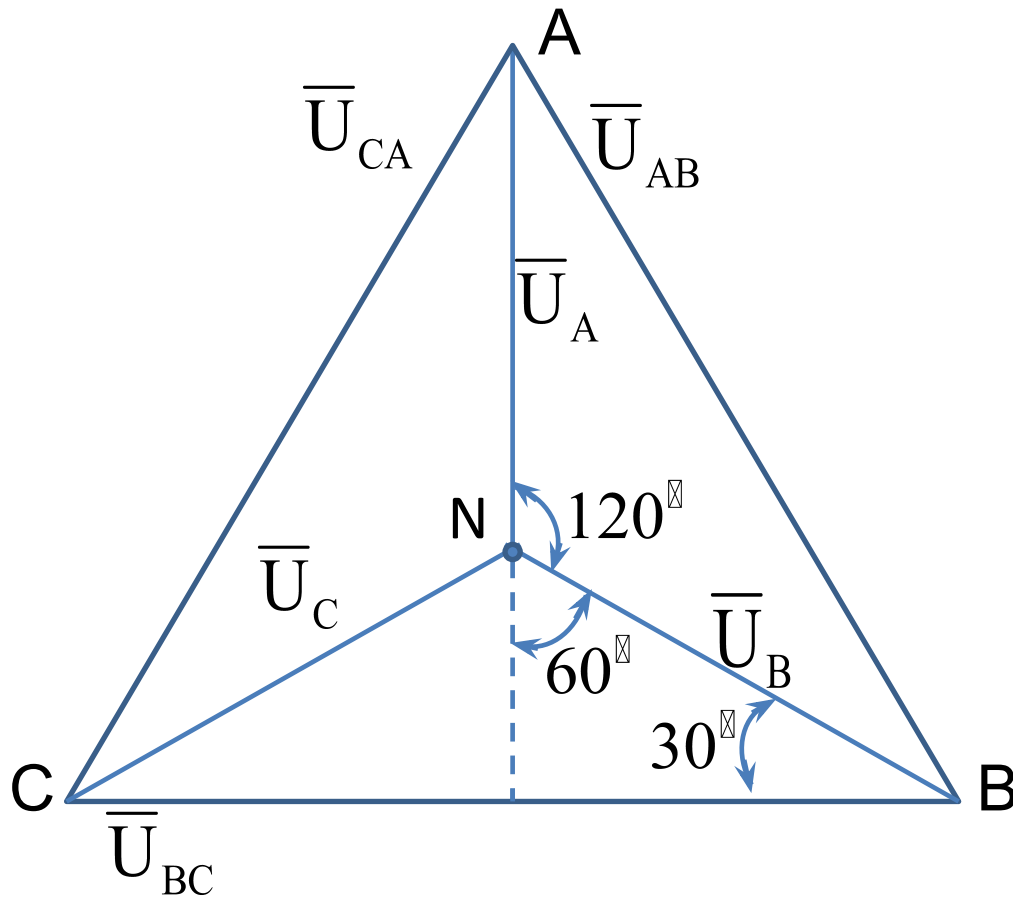
Фазное напряжение – это напряжение между началом и концом каждой фазы. В данном случае – между выводом фазы и нулевой точкой N.

Если пренебречь внутренним сопротивлением обмоток генератора, то можно считать, что

$$|U_A| = |E_A|; \quad |U_B| = |E_B|; \quad |U_C| = |E_C|.$$

Линейное напряжение – это напряжение между началами двух фаз. Положительное направление их принято от А к В, от В к С, от С к А ( $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ )

# Векторная диаграмма фазных и линейных напряжений



$$|U_A| = |U_B| = |U_C|$$

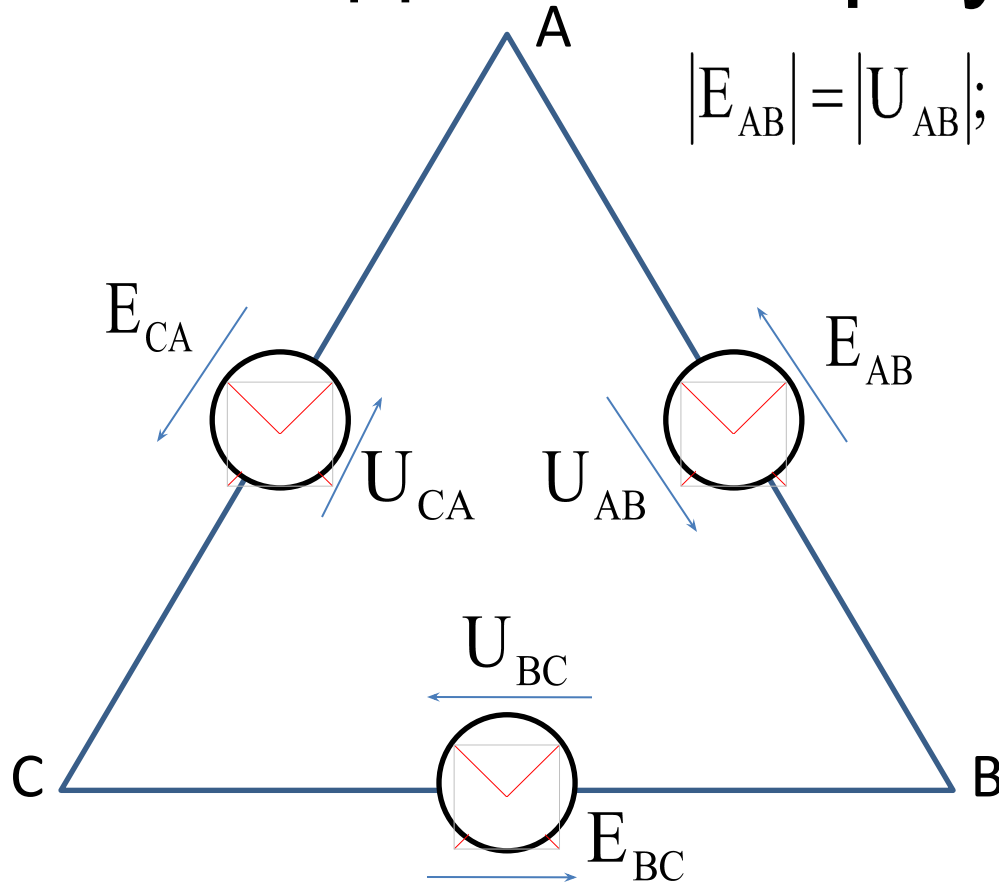
$$\bar{U}_A + \bar{U}_B + \bar{U}_C = 0$$

$$\frac{U_{BC}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_B$$

$$U_\Delta = \sqrt{3} U_\Phi$$

$$I_\Delta = I_\Phi$$

# Соединение треугольником



$$|E_{AB}| = |U_{AB}|; \quad |E_{BC}| = |U_{BC}|; \quad |E_{CA}| = |U_{CA}|.$$

$$|U_{AB}| = |U_{BC}| = |U_{CA}|$$

$$\bar{U}_{AB} + \bar{U}_{BC} + \bar{U}_{CA} = 0$$

$$U_{\Delta} = U_{\Phi}$$

$$I_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{\Phi}$$

Соотношение  $I_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{\Phi}$  справедливо только для симметричной нагрузки.



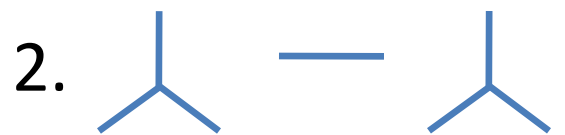
# Виды соединений генератора и нагрузки в трёхфазных системах

Генератор

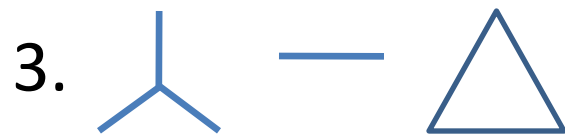
Нагрузка



Четырёхпроводная звезда  
(звезда-звезда с нулевым проводом)



Трёхпроводная звезда  
(звезда-звезда без нулевого провода)



Звезда – треугольник



Треугольник – звезда



Треугольник –  
треугольник

# Характеристики нагрузок трёхфазного генератора

1. Нагрузка бывает однофазной и трёхфазной;
2. Нагрузка называется однородной, если сдвиг фаз всех трёх потребителей одинаков по величине и по знаку

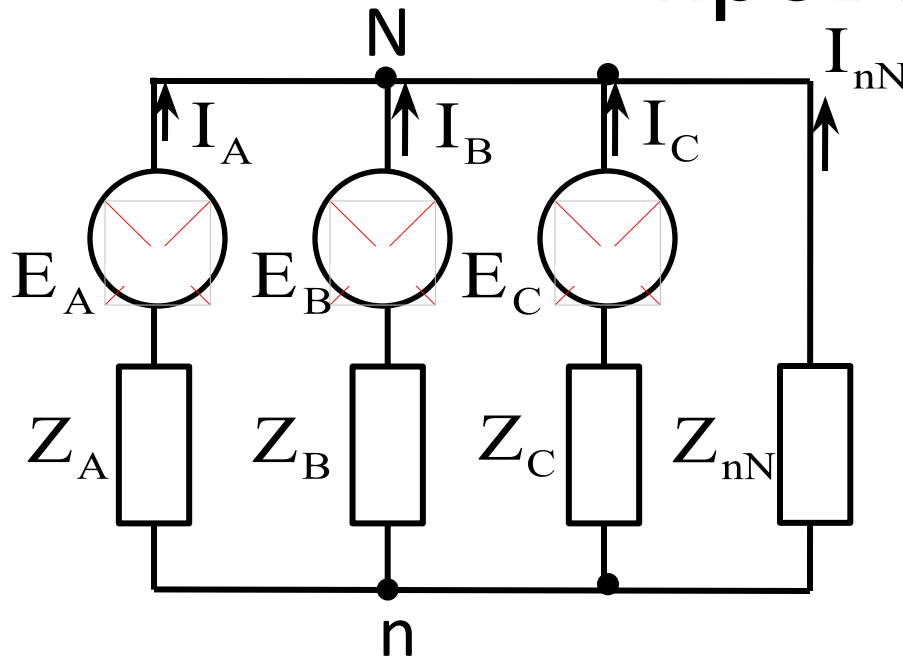
$$\varphi_a = \varphi_b = \varphi_c$$

3. Нагрузка называется симметричной, если полное сопротивление всех трёх потребителей и сдвиги фаз одинаковы

$$\begin{cases} Z_a = Z_b = Z_c; \\ \varphi_a = \varphi_b = \varphi_c \end{cases}$$

4. Нагрузка называется несимметричной, если одно из этих условий не выполняется.

# Назначение нейтрального провода



$$U_{nN} = \frac{E_A Y_a + E_B Y_b + E_C Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c + Y_{nN}}$$

Здесь  $Y_a$ ;  $Y_b$ ;  $Y_c$  -  
полные проводимости  
всех четырёх ветвей  
схемы

Если нейтральный провод есть,  $Y_{nN} \rightarrow \infty$   $U_{nN} \rightarrow 0$

Если нейтрального провода нет, то  $U_{nN} \rightarrow 0$   
 Тогда  $U_{nN} = 0$ , если  $|\bar{y}_a| = |\bar{y}_b| = |\bar{y}_c|$ , т.е. когда  
 нагрузка симметричная,  $\bar{y}_a \neq \bar{y}_b \neq \bar{y}_c$ ,  
 т.е. когда нагрузка несимметричная.

Во всех случаях, когда  $I_{nN} = 0$

$$U_a = U_A; \quad U_b = U_B; \quad U_c = U_C$$

Но так как в исправном генераторе

$$|U_A| = |U_B| = |U_C|, \quad \text{то} \quad |U_a| = |U_b| = |U_c|$$

Отсюда можно сделать вывод о назначении  
 нейтрального провода – он выравнивает  
 фазные напряжения в нагрузке.

# Режимы работы потребителя, соединённого звездой

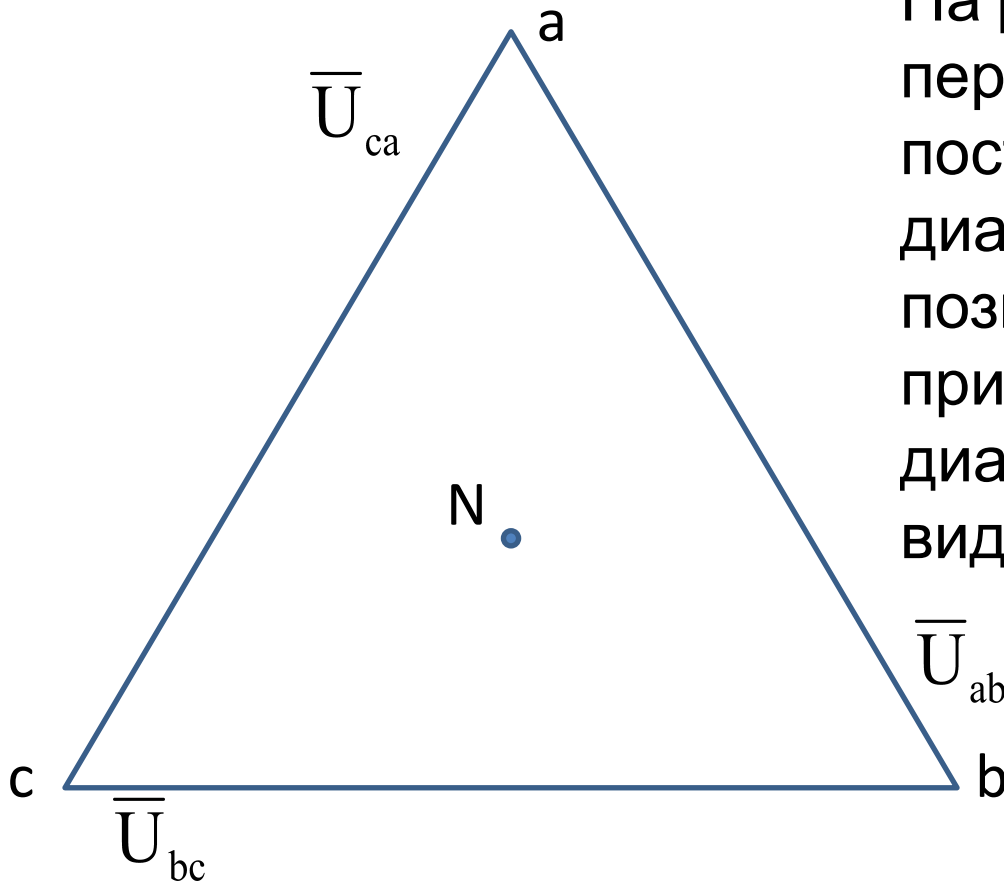
1. Симметричный
2. Несимметричный
3. Обрыв фазы
4. Короткое замыкание фазы

Все режимы рассматриваются с  
нейтральным проводом  
(четырёхпроводная звезда) или без него  
(трёхпроводная звезда)

# Правила построения векторных диаграмм нагрузки

1. Строится равносторонний треугольник линейных напряжений нагрузки,
2. Отмечается положение нулевой точки источника  
(находится в центре треугольника),
3. Определяется местоположение нулевой точки приёмника (если имеется нулевой провод, или нагрузка симметричная, то точка  $n$  совпадает с точкой  $N$ ),
4. Рисуются фазные напряжения приёмника (между выводом фазы и точкой  $n$ ),
5. Определяются величины токов и отмечаются на диаграмме,

6. Определяются  $\bar{U}_{nN}$  (если отсутствует нулевой провод) или  $\bar{I}_{nN}$  (если нулевой провод имеется) и отображаются на диаграмме.



На рисунке отображены первые две позиции построения векторной диаграммы. Эти две позиции неизменны и присутствуют на любой диаграмме (при любых видах нагрузки)

# Симметричная нагрузка

$$Z_a = Z_b = Z_c; \quad \varphi_a = \varphi_b = \varphi_c$$

Нулевой провод  
имеется,

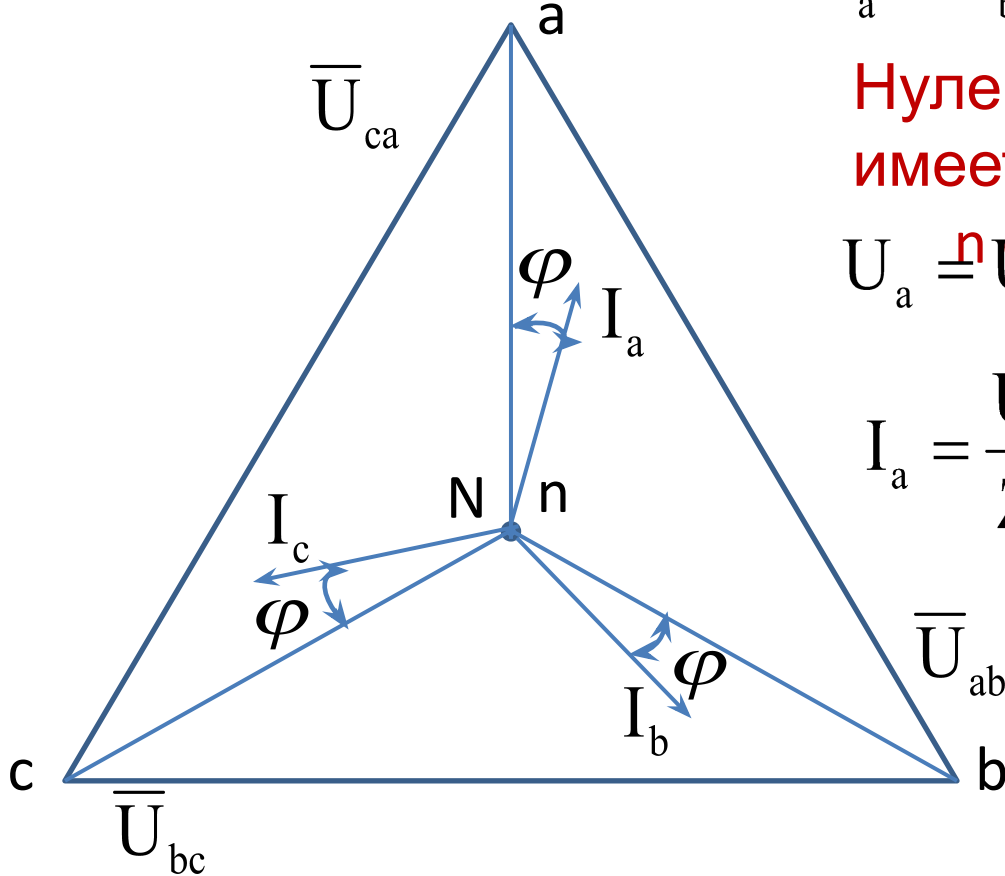
$n$  совпадает с  $N$

$$U_a = U_A, \quad U_b = U_B, \quad U_c = U_C.$$

$$I_a = \frac{U_a}{Z_a}; \quad I_b = \frac{U_b}{Z_b}; \quad I_c = \frac{U_c}{Z_c}.$$

$$\underbrace{\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c}_{=0} + \bar{I}_{nN} = 0$$

$$\boxed{I_{nN} = 0}$$



Так как  $I_{nN} = 0$ , то нулевой провод не нужен.



# Несимметричная нагрузка

$$Z_a \neq Z_b = Z_c; \quad \varphi_a = \varphi_b = \varphi_c$$

Нулевой провод  
имеется,

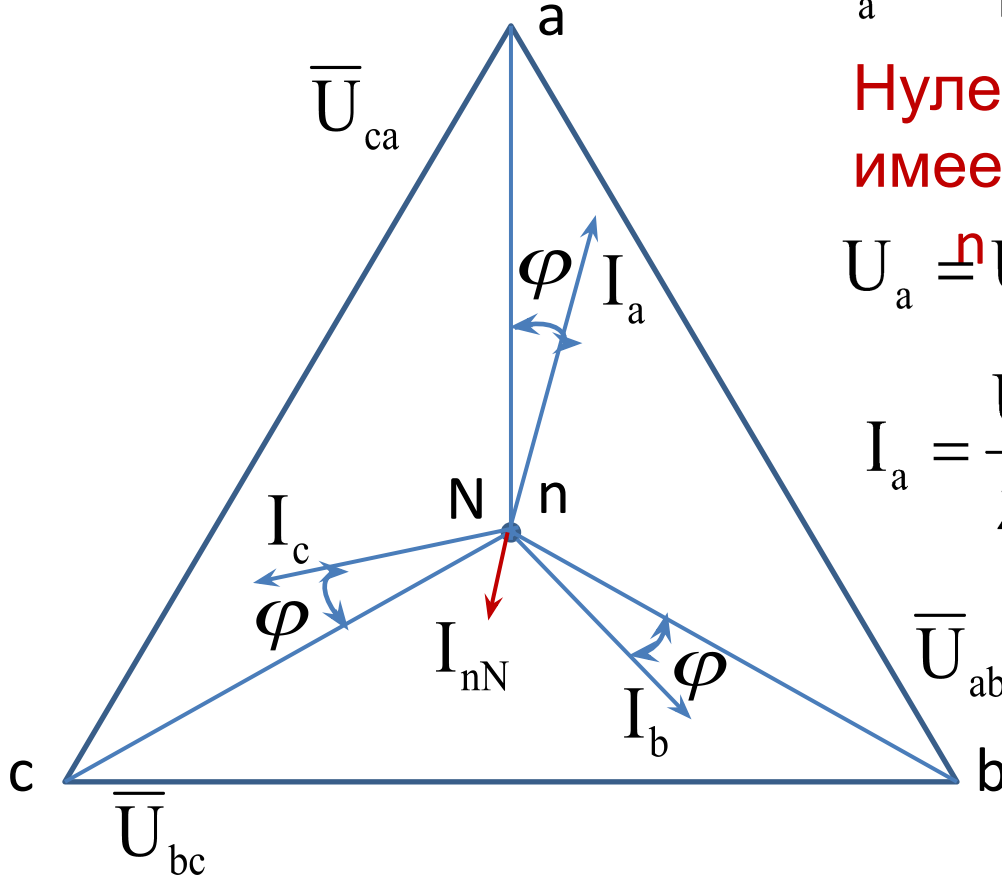
$n$  совпадает с  $N$

$$U_a = U_A, \quad U_b = U_B, \quad U_c = U_C.$$

$$I_a = \frac{U_a}{Z_a}; \quad I_b = \frac{U_b}{Z_b}; \quad I_c = \frac{U_c}{Z_c}.$$

$$\underbrace{\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c}_{\neq 0} + \bar{I}_{nN} = 0$$

$$\bar{I}_{nN} = -(\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c)$$



$$Z_a \neq Z_b = Z_c; \quad \varphi_a = \varphi_b = \varphi_c$$

Нулевого провода  
нет,

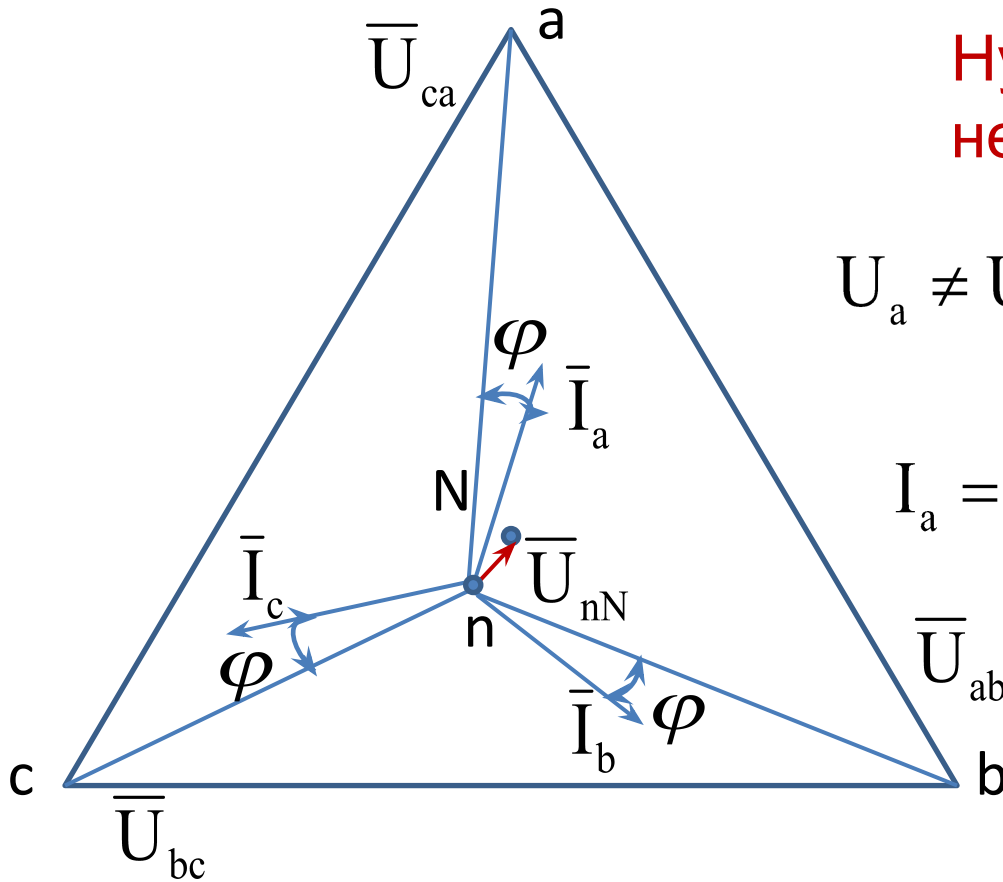
$n$  не совпадает с  $N$

$$U_a \neq U_A; \quad U_b \neq U_B; \quad U_c \neq U_C.$$

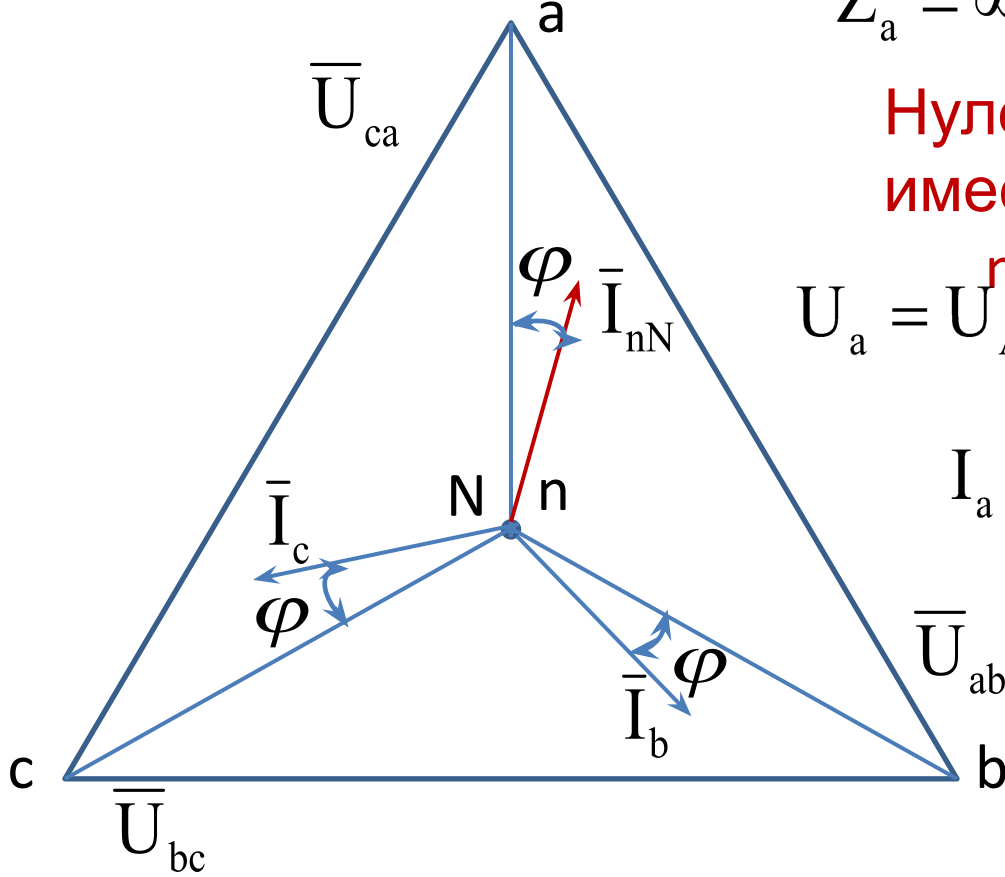
$$I_a = \frac{U_a}{Z_a}; \quad I_b = \frac{U_b}{Z_b}; \quad I_c = \frac{U_c}{Z_c}.$$

$$\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c = 0$$

$$\bar{U}_{nN} = \frac{\bar{E}_A \bar{Y}_a + \bar{E}_B \bar{Y}_b + \bar{E}_C \bar{Y}_c}{\bar{Y}_a + \bar{Y}_b + \bar{Y}_c}$$



# Обрыв фазы



$$Z_a = \infty; \quad Z_b = Z_c; \quad \varphi_b = \varphi_c$$

Нулевой провод  
имеется,

$n$  совпадает с  $N$

$$U_a = U_A; \quad U_b = U_B; \quad U_c = U_C.$$

$$I_a = 0; \quad I_b = \frac{U_b}{Z_b}; \quad I_c = \frac{U_c}{Z_c}.$$

$$\bar{I}_b + \bar{I}_c + \bar{I}_{nN} = 0$$

$$\bar{I}_{nN} = -(\bar{I}_b + \bar{I}_c)$$

$$Z_a = \infty; \quad Z_b \neq Z_c; \quad \varphi_b = \varphi_c$$

Нулевого провода  
нет,

$n$  не совпадает с  $N$

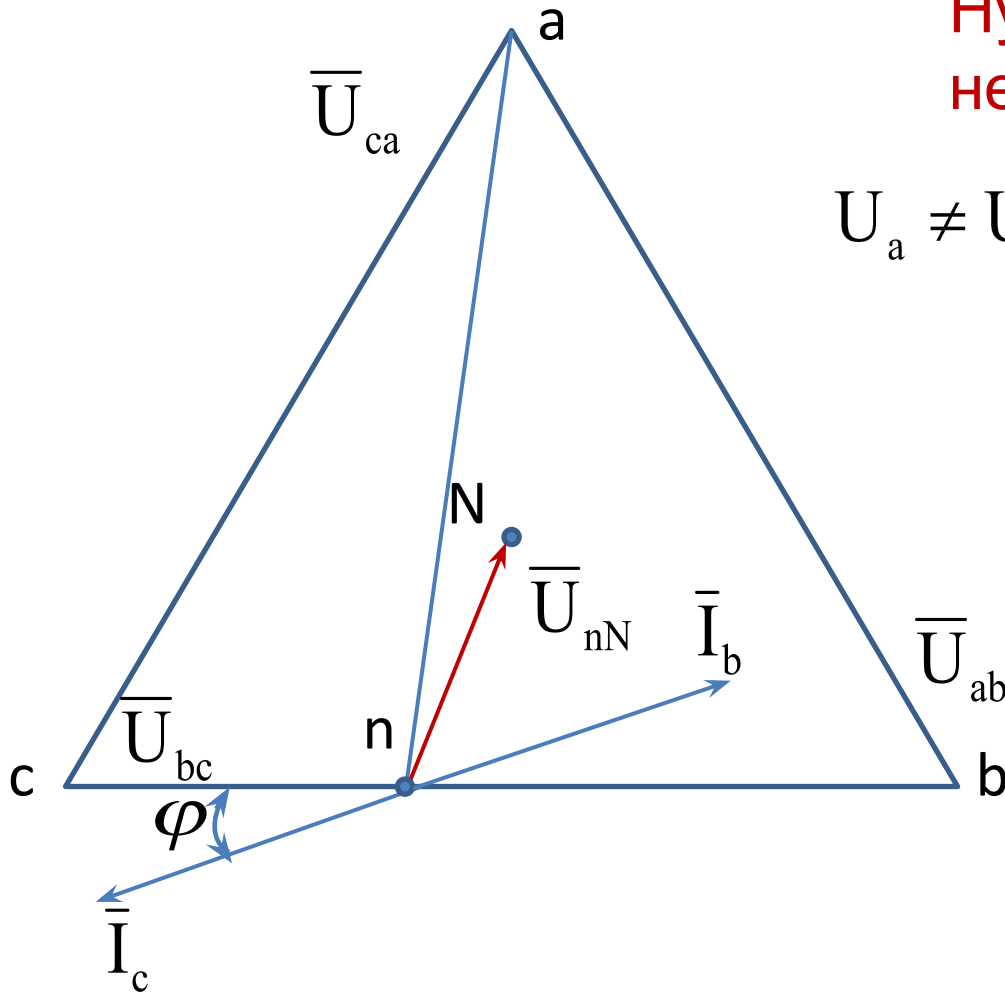
$$U_a \neq U_A; \quad U_b \neq U_B; \quad U_c \neq U_C.$$

$$I_a = 0; \quad \bar{I}_b = -\bar{I}_c.$$

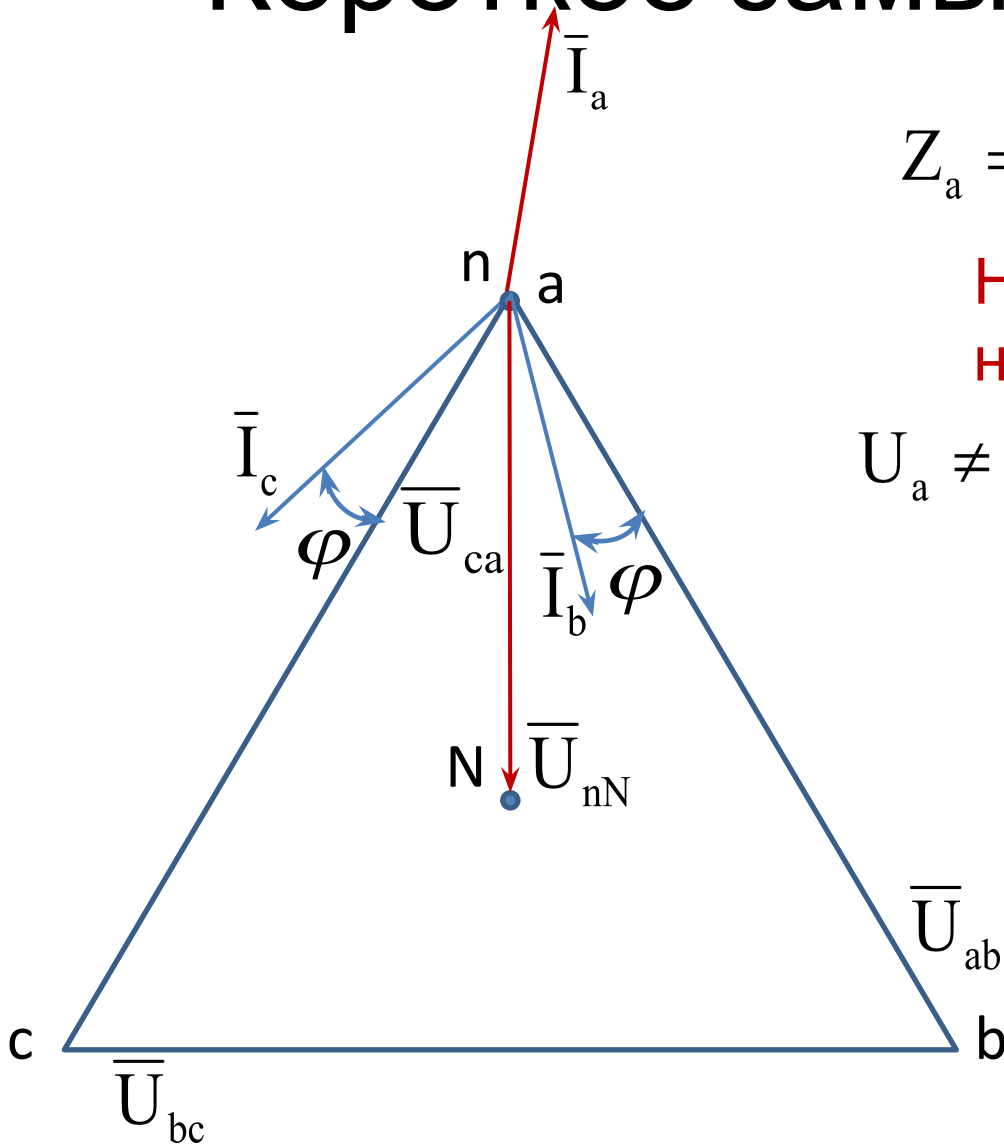
$$I_b = I_c = \frac{U_{bc}}{Z_b + Z_c}$$

$$U_b = I_b Z_b; \quad U_c = I_c Z_c$$

$$\bar{U}_{nN} = \frac{\bar{U}_b \bar{Y}_b + \bar{U}_c \bar{Y}_c}{\bar{Y}_b + \bar{Y}_c}$$



# Короткое замыкание фазы



$$Z_a = 0; \quad Z_b = Z_c; \quad \varphi_b = \varphi_c$$

Нулевого провода  
нет,

$n$  не совпадает с  $N$

$$U_a \neq U_A, \quad U_b \neq U_B, \quad U_c \neq U_C.$$

$$I_b = \frac{U_{ab}}{Z_b}; \quad I_c = \frac{U_{ca}}{Z_c}.$$

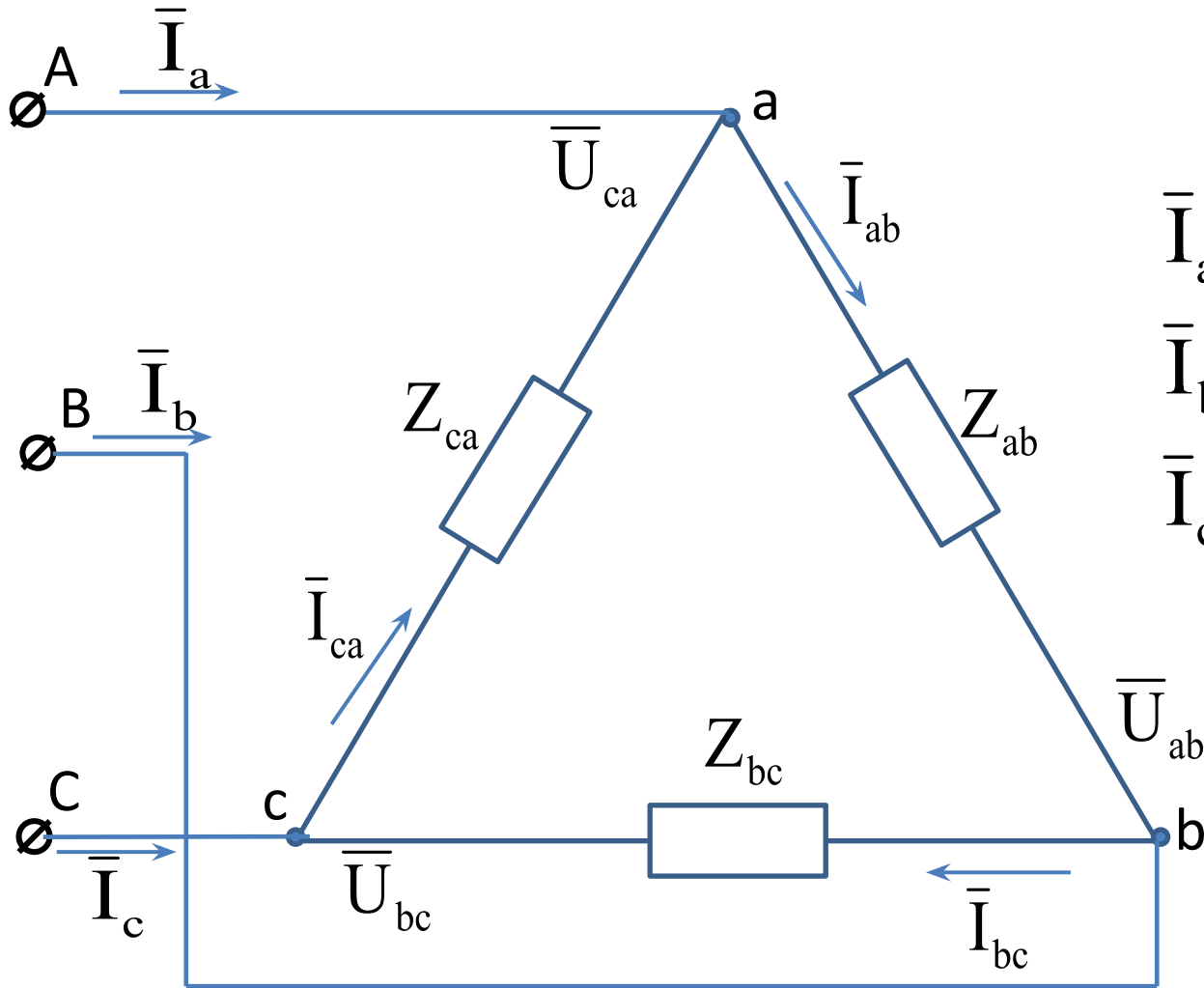
$$\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c = 0$$

$$\bar{I}_a = -(\bar{I}_b + \bar{I}_c)$$

# Режимы работы потребителя, соединённого треугольником

1. Симметричный
2. Несимметричный
3. Обрыв фазы
4. Обрыв линии

# Линейные токи

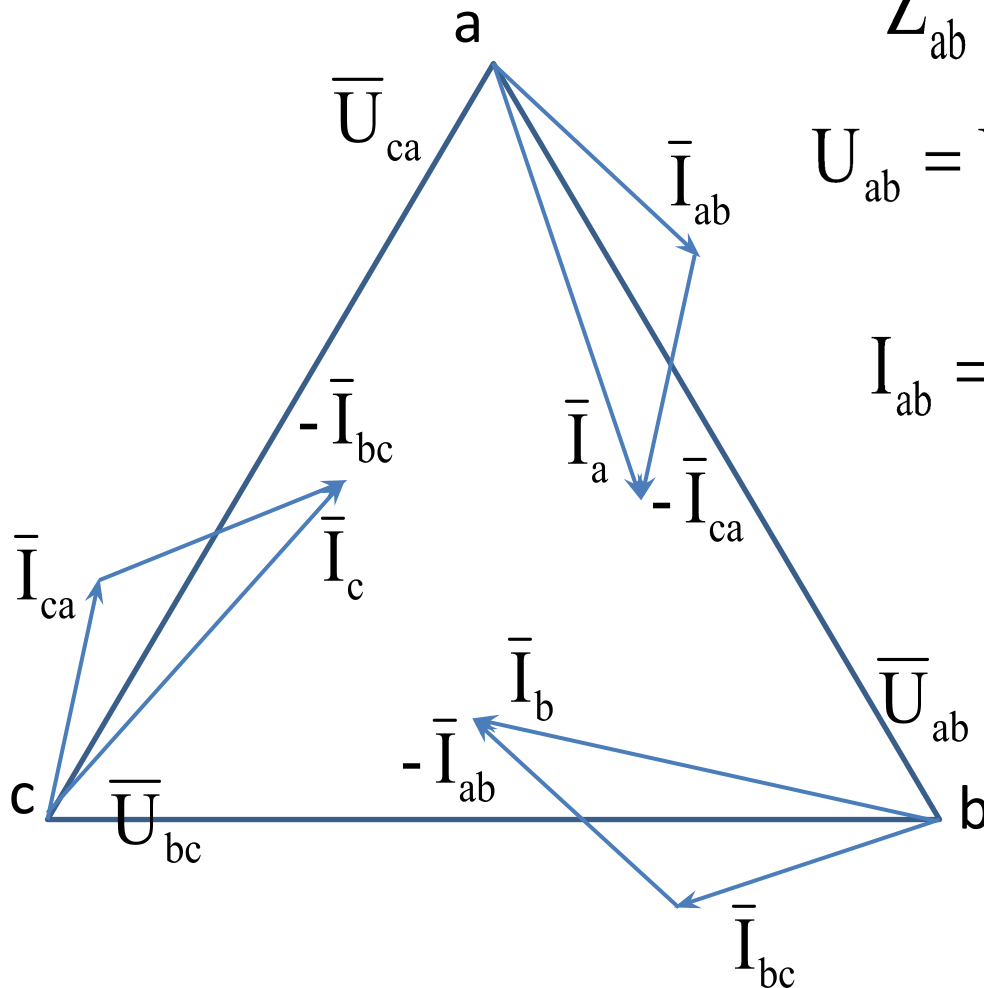


$$\bar{I}_a + \bar{I}_{ca} - \bar{I}_{ab} = 0;$$

$$\bar{I}_b + \bar{I}_{ab} - \bar{I}_{bc} = 0;$$

$$\bar{I}_c + \bar{I}_{bc} - \bar{I}_{ca} = 0.$$

# Симметричная нагрузка



$$Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}; \quad \varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca}$$

$$U_{ab} = U_{AB}; \quad U_{bc} = U_{BC}; \quad U_{ca} = U_{CA}.$$

$$I_{ab} = \frac{U_{ab}}{Z_{ab}}; \quad I_{bc} = \frac{U_{bc}}{Z_{bc}}; \quad I_{ca} = \frac{U_{ca}}{Z_{ca}}.$$

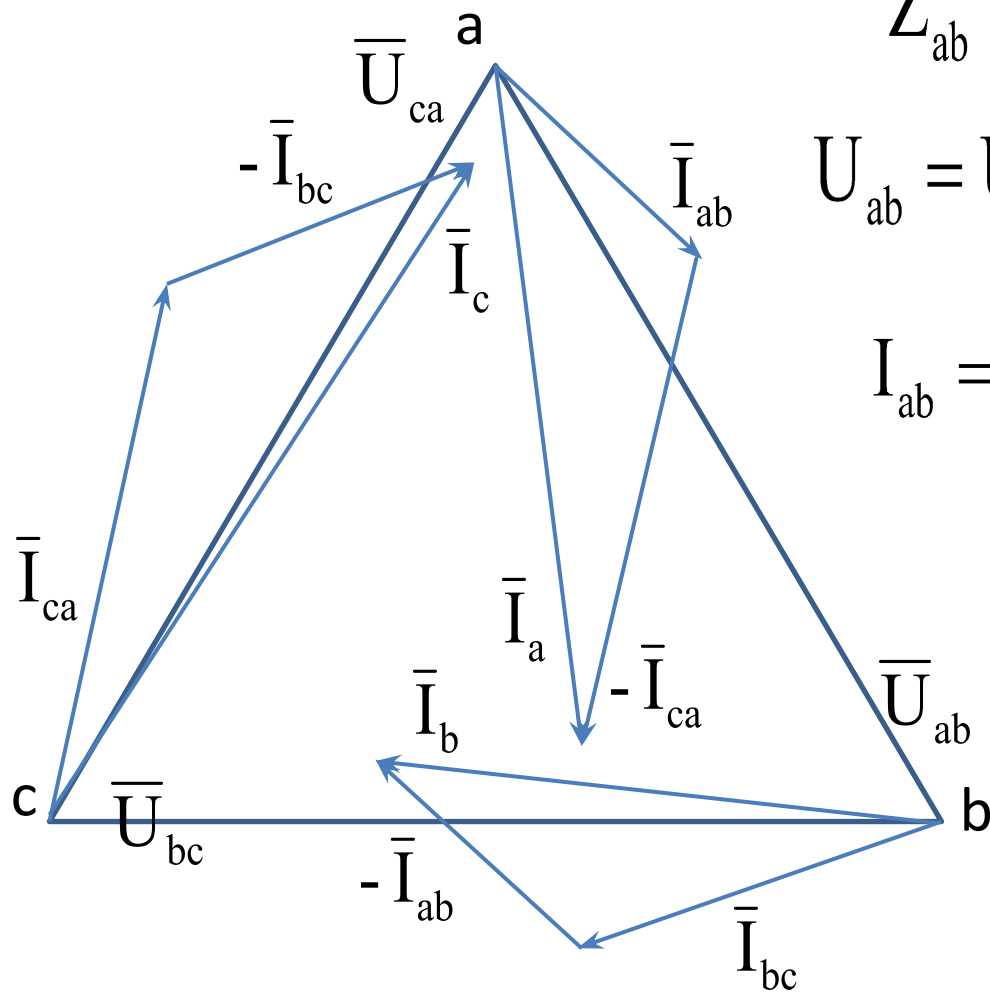
$$\bar{I}_a = \bar{I}_{ab} - \bar{I}_{ca};$$

$$\bar{I}_b = \bar{I}_{bc} - \bar{I}_{ab};$$

$$\bar{I}_c = \bar{I}_{ca} - \bar{I}_{bc}.$$



# Несимметричная нагрузка



$$Z_{ab} \neq Z_{bc} \neq Z_{ca}; \quad \varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca}$$

$$U_{ab} = U_{AB}; \quad U_{bc} = U_{BC}; \quad U_{ca} = U_{CA}.$$

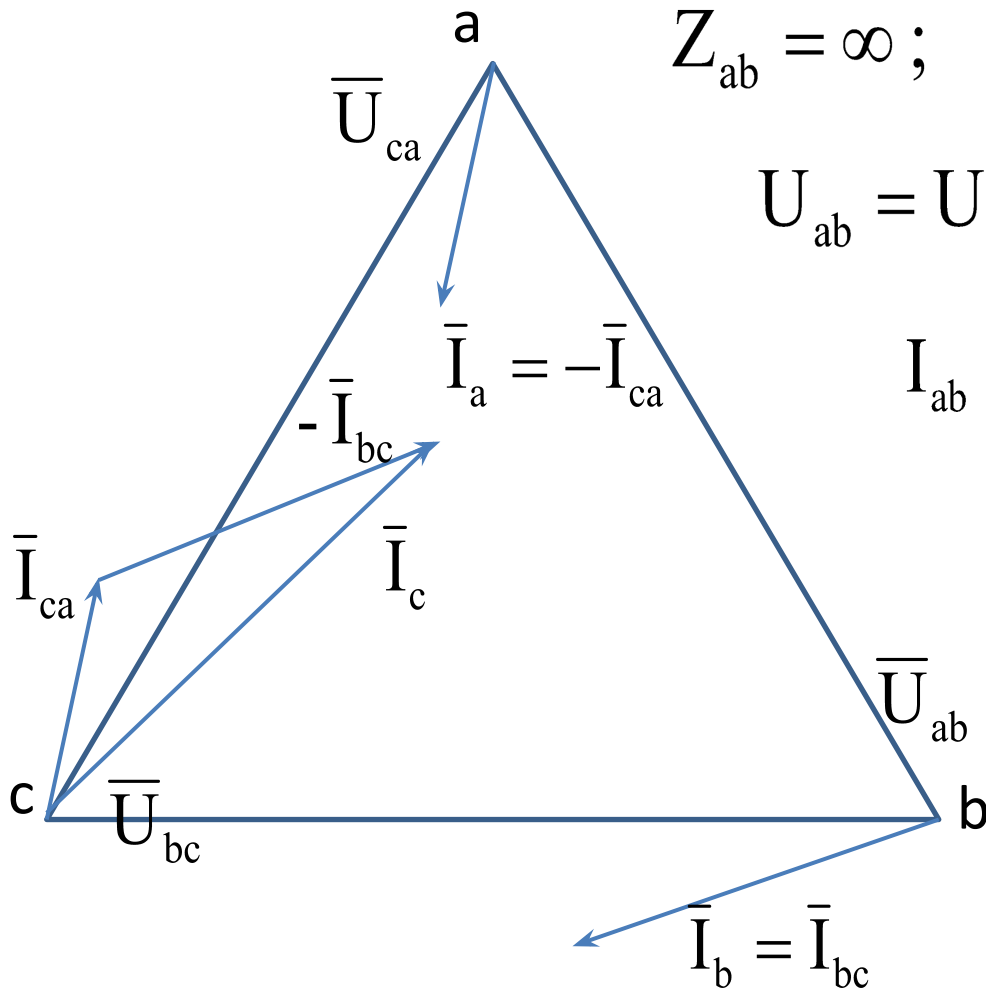
$$I_{ab} = \frac{U_{ab}}{Z_{ab}}; \quad I_{bc} = \frac{U_{bc}}{Z_{bc}}; \quad I_{ca} = \frac{U_{ca}}{Z_{ca}}.$$

$$\bar{I}_a = \bar{I}_{ab} - \bar{I}_{ca};$$

$$\bar{I}_b = \bar{I}_{bc} - \bar{I}_{ab};$$

$$\bar{I}_c = \bar{I}_{ca} - \bar{I}_{bc}.$$

# Обрыв фазы



$$Z_{ab} = \infty; \quad Z_{bc} \neq Z_{ca}; \quad \varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca}$$

$$U_{ab} = U_{AB}; \quad U_{bc} = U_{BC}; \quad U_{ca} = U_{CA}.$$

$$I_{ab} = 0; \quad I_{bc} = \frac{U_{bc}}{Z_{bc}}; \quad I_{ca} = \frac{U_{ca}}{Z_{ca}}.$$

$$\bar{I}_a = -\bar{I}_{ca};$$

$$\bar{I}_b = \bar{I}_{bc};$$

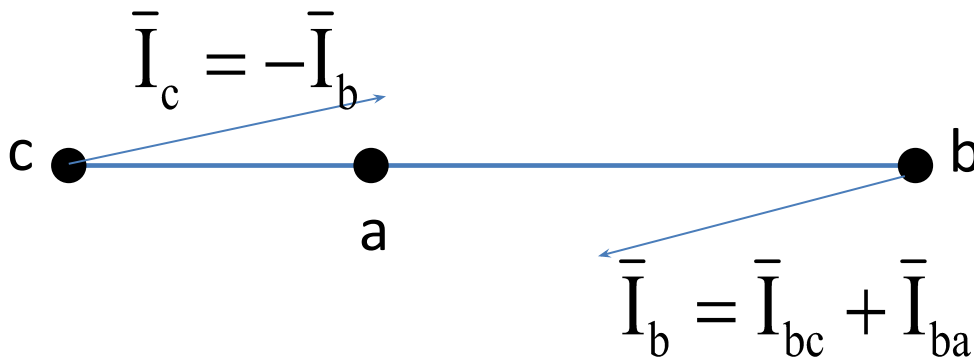
$$\bar{I}_c = \bar{I}_{ca} - \bar{I}_{bc}.$$

# Обрыв линии

$$Z_{ab} \neq Z_{bc} \neq Z_{ca}; \quad \varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca} \quad \text{Обрыв линии «а»}$$

$$U_{ab} \neq U_{AB}; \quad U_{bc} = U_{BC}; \quad U_{ca} \neq U_{CA}. \quad U_{ab} = I_{ab} Z_{ab};$$

$$I_{ab} = I_{ca} = \frac{U_{bc}}{Z_{ab} + Z_{ca}}; \quad I_{bc} = \frac{U_{bc}}{Z_{bc}}. \quad U_{ca} = I_{ca} Z_{ca};$$



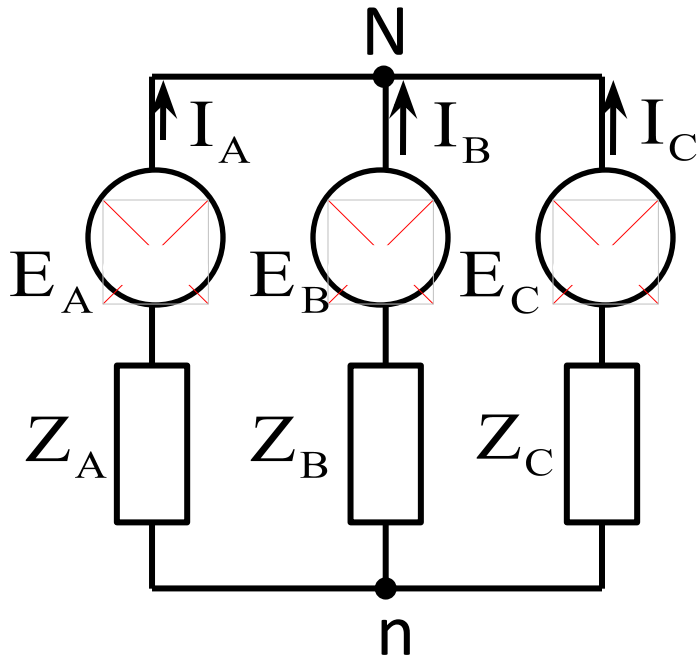
$$\bar{I}_a = 0;$$

$$\bar{I}_b = \bar{I}_{bc} + \bar{I}_{ba};$$

$$\bar{I}_c = -\bar{I}_b.$$

# Применение комплексных чисел

## Чисел



Известны:

$$E_{\Phi} = 220\text{В};$$

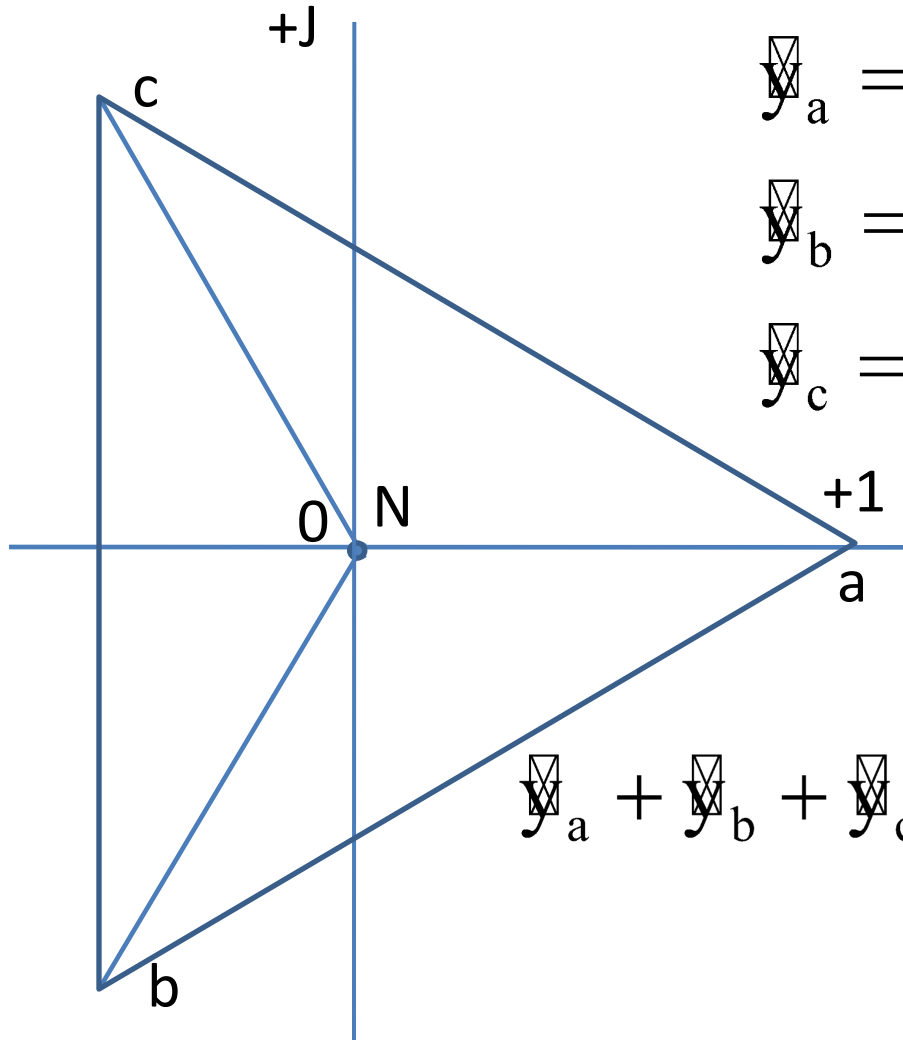
$$Z_a = R = 50 \text{ Ом};$$

$$Z_b = Z_c = R = 100 \text{ Ом}$$

Определить  $E_{nN}$

$$U_{nN} = \frac{E_A Y_a + E_B Y_b + E_C Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c}$$

$$\underline{E}_A = 220e^{j0} ; \quad \underline{E}_B = 220e^{-j120} ; \quad \underline{E}_C = 220e^{j120} ;$$

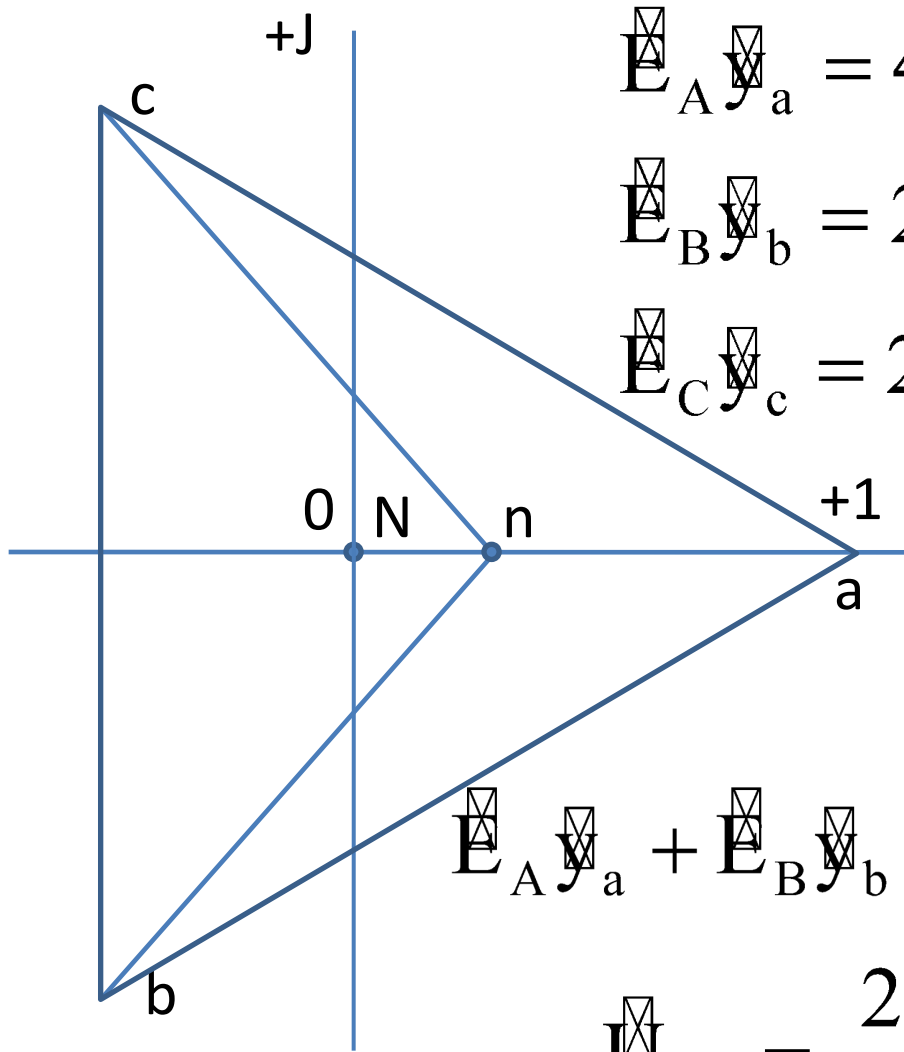


$$\underline{y}_a = 0,02e^{j0} = 0,02 + j0 ;$$

$$\underline{y}_b = 0,01e^{j0} = 0,01 + j0 ;$$

$$\underline{y}_c = 0,01e^{j0} = 0,01 + j0 ;$$

$$\underline{y}_a + \underline{y}_b + \underline{y}_c = 0,04 + j0 = 0,04e^{j0} ;$$



$$\underline{E}_A \underline{Y}_a = 4,4e^{j0} = 4,4 + j0 ;$$

$$\underline{E}_B \underline{Y}_b = 2,2e^{-j120} = -1,1 - j\sqrt{3} \cdot 1,1 ;$$

$$\underline{E}_C \underline{Y}_c = 2,2e^{j120} = -1,1 + j\sqrt{3} \cdot 1,1 ;$$

$$\underline{E}_A \underline{Y}_a + \underline{E}_B \underline{Y}_b + \underline{E}_C \underline{Y}_c = 2,2 - j0 = 2,2e^{j0} ;$$

$$\underline{U}_{nN} = \frac{2,2e^{j0}}{0,04e^{j0}} = 55e^{j0} = 55 + j0 ;$$

# Приним задолженностей

каждую пятницу

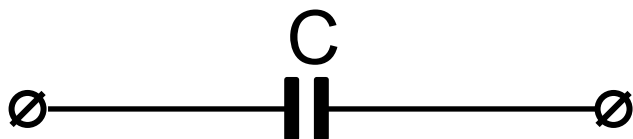
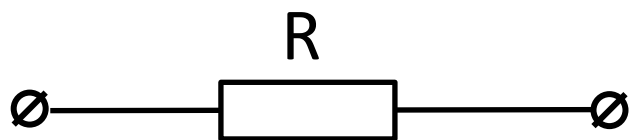
Корпус Кабинет Время

7

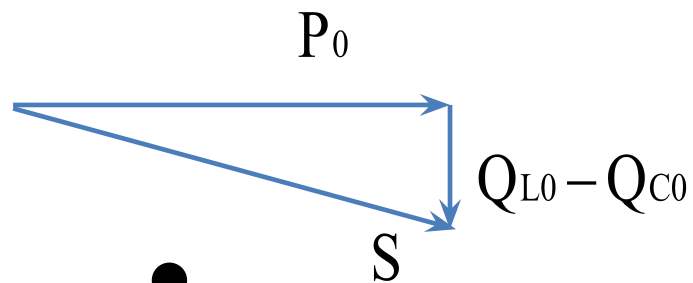
1004

15.30 – 18.40

# Последовательное соединение элементов



R



$$S^2 = P_0^2 + (Q_{L0} - Q_{C0})^2$$

$\emptyset$   
R

L