

Московский государственный строительный  
университет



Кафедра автоматизации и электроснабжения

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

### **Часть 1. Электрические и магнитные цепи. Электрические измерения**

#### ***Лекция 5. Трехфазные цепи при соединении электроприемников звездой***

**Электронные лекции**

Составитель:

доцент И.Г. Забора

Москва – 2016 г.

**Лекцию читает**

**доцент кафедры**

**«Автоматизация и электроснабжение» МГСУ**

***Забора Игорь Георгиевич***

**E-mail: [izabora@yandex.ru](mailto:izabora@yandex.ru)**

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Общие сведения о трехфазных цепях

*Трехфазной электрической цепью* называется совокупность трех электрических цепей переменного тока с синусоидальными ЭДС одной и той же частоты, сдвинутыми по фазе относительно друг друга на угол  $\phi = 2\pi/3 = 120^\circ$  и генерируемые в одном источнике электрической энергии.

Каждую из частей трехфазной системы, характеризующуюся одинаковым током, называют *фазой*. Таким образом, понятие *фаза в электротехнике* имеет два значения: первое – *аргумент синусоидально изменяющейся величины*, второе значение – *часть одно-, двух-, трех-, или в общем случае, многофазной системы электрических цепей*. В электрических машинах под фазой также подразумевают одну из идентичных *m*-фазных обмоток статора или ротора (где *m* – общее число фаз, как правило, равное трем).

Фазы трехфазной цепи принято обозначать первыми буквами латинского алфавита: **A, B, C** – для соединения фаз *звездой* и **AB, BC, CA** – для схемы соединения фаз *треугольником*. Индексы фазных величин имеют те же буквы.

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Общие сведения о трехфазных цепях

Источником электроэнергии в трехфазных системах электроснабжения служат *трехфазные синхронные генераторы*, установленные на всех крупных электростанциях [1]. Простейший двухполюсный синхронный генератор (рис. 1) имеет на статоре три одинаковые обмотки, сдвинутые на угол  $120^\circ$  относительно друг друга.

При вращении ротора, выполненного в виде электромагнита (обмотка возбуждения ротора, не показанная на рисунке, включена в цепь постоянного тока) *в фазах-обмотках статора индуцируются три синусоидальные ЭДС*  $e_A, e_B, e_C$  одинаковой частоты и с равными амплитудами  $E_m$ , сдвинутыми по фазе относительно друг друга на угол  $2\pi/3$  (или  $120^\circ$ ), как показано на рис. 2а.

Если для фазы **A** начальную фазу ЭДС  $e_A$  принять равной нулю, то мгновенные значения ЭДС всех трех фаз равны:

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

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 2\pi/3);$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t + 2\pi/3).$$

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Общие сведения о трехфазных цепях

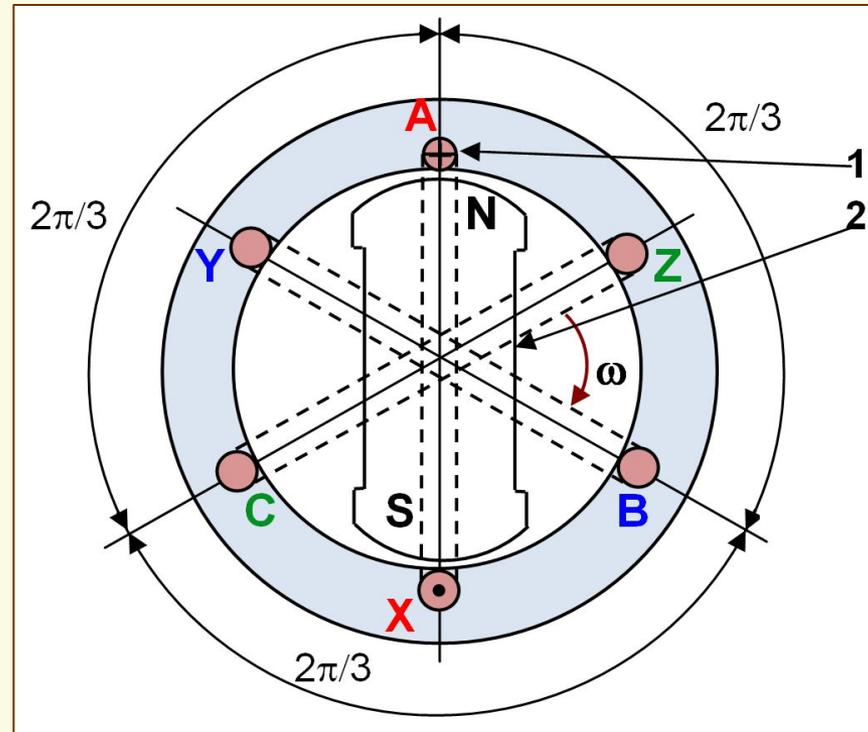


Рис. 1. Упрощенная конструкция трехфазного генератора

1 – Статор с трехфазной обмоткой A-X, B-Y, C-Z;

2 – Двухполюсный ротор (полюса N-S создаются постоянным током в обмотке возбуждения ротора, не показанной на рисунке)

# Трёхфазные цепи. Соединение звездой



## Общие сведения о трёхфазных цепях

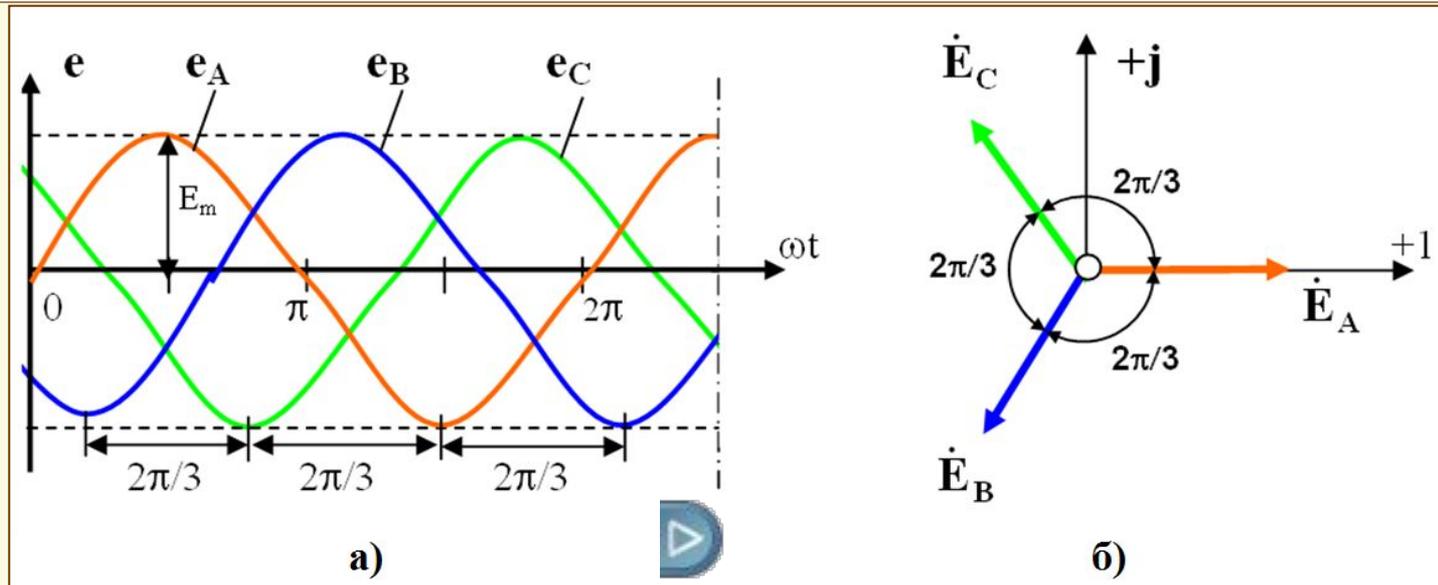


Рис. 2. Трёхфазная система ЭДС

**а** – график мгновенных значений трёхфазной системы ЭДС;

**б** – векторная диаграмма трёхфазной системы ЭДС

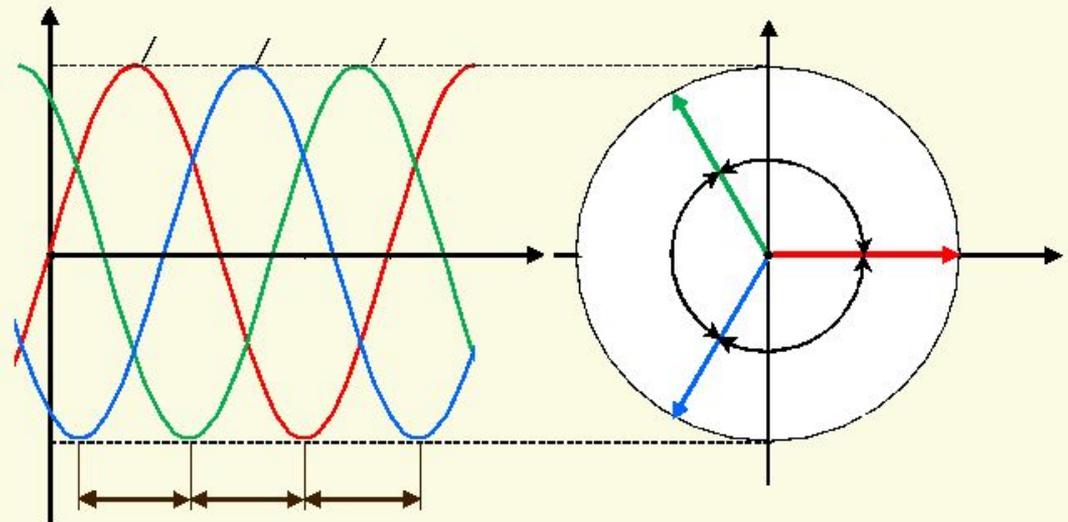
Трёхфазная система синусоидальных ЭДС может быть изображена в виде трех *равных по величине векторов*  $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ , сдвинутых на *одинаковый фазовый угол*  $\pm 2\pi/3$ . Такие векторы называются *трёхфазными симметричными*.

# Трёхфазные цепи



Трёхфазная симметричная система электродвижущих сил

- а – график мгновенных значений трёхфазной системы ЭДС;
- б – векторная диаграмма трёхфазной системы ЭДС



# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Общие сведения о трехфазных цепях

Существуют две основные схемы соединения фаз обмоток генератора и трехфазных электроприемников, а именно, *схема соединения звездой* с условным обозначением «**Y**» и *схема соединения треугольником* с условным обозначением «**Δ**».

Три провода, соединяющие концы фаз трехфазного источника и электроприемника называются *линейными проводами*, которые обозначают теми же буквами **A**, **B**, **C**, что и одноименные фазы.

При соединении фаз **A**, **B**, **C** звездой концы фаз обмоток генератора или электроприемников объединяют в общий узел, который называют *нейтралью* или *нейтральной точкой* и обозначают буквой «**N**».

Нейтральные точки трехфазного источника и трехфазного электроприемника могут быть соединены проводом, который называют *нейтральным проводом*, по которому может протекать *нейтральный ток*, обозначаемый символом  $I_N$  или  $I_0$ .

Эквивалентная схема замещения трехфазной цепи при схеме соединения электроприемников звездой представлена на рис. 3.

# Трёхфазные цепи. Соединение звездой



## Общие сведения о трёхфазных цепях

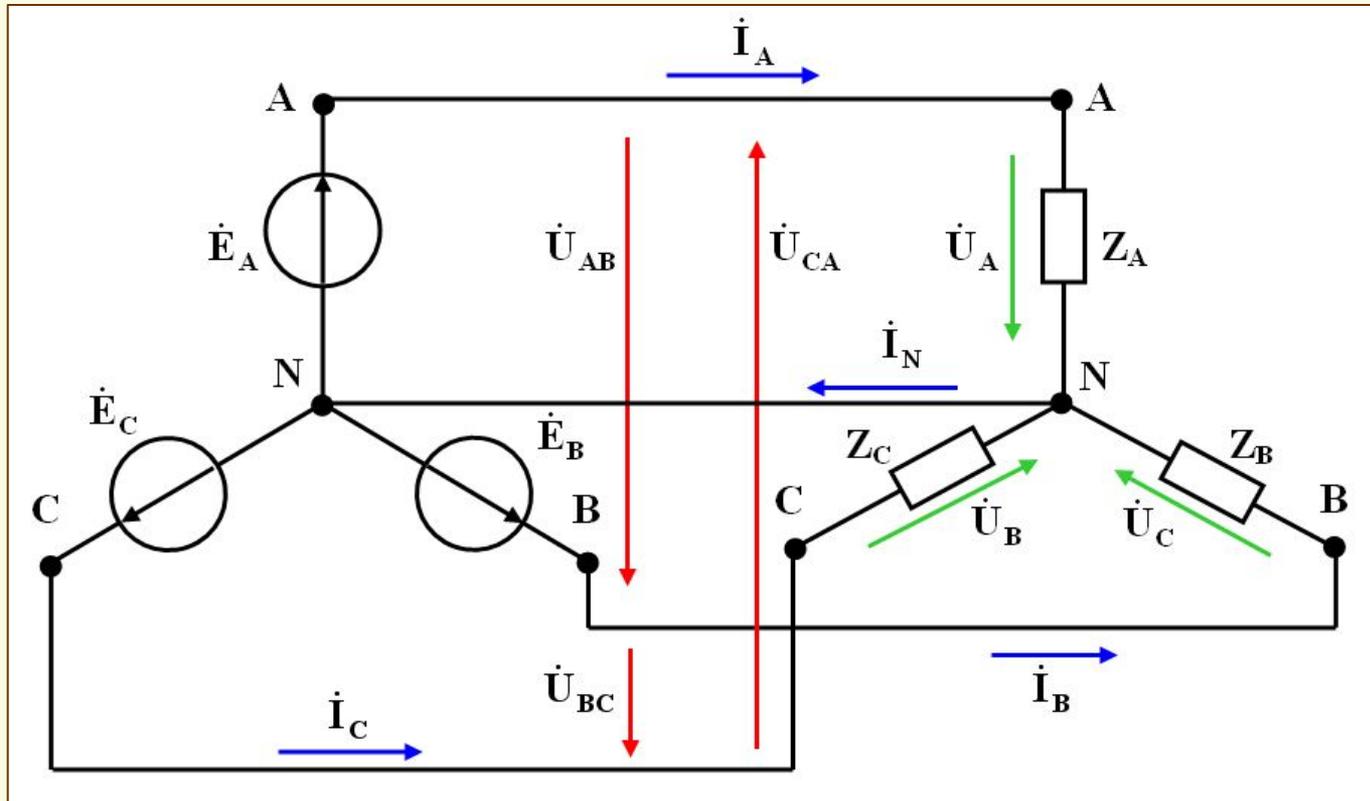


Рис. 3. Схема замещения цепи трёхфазного тока при соединении фаз источника (трёхфазного генератора) и электроприемников звездой.

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Основные соотношения для трехфазной цепи – звезда

Из схемы замещения на рис. 3 видно, что токи в линиях  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$  являются теми же токами в одноименных фазах источников и электроприемников. Таким образом, для трехфазной цепи при соединении фаз звездой **линейные токи** (в общем виде обозначаемые  $I_L$ ) равны одноименным **фазным токам**

$$I_{\Phi}: \quad I_L = I_{\Phi}.$$

Для трехфазной схемы соединения источников и электроприемников (рис. 3) на основании второго закона Кирхгофа [1], если пренебречь активным сопротивлением линейных и нейтрального проводов, можно считать, что **фазные ЭДС** источников равны одноименным **фазным напряжениям**:

$$\dot{E}_A = \dot{U}_A; \quad \dot{E}_B = \dot{U}_B; \quad \dot{E}_C = \dot{U}_C;$$

На основании закона Ома можно определить соотношение между фазными токами, напряжениями и сопротивлениями:

$$\dot{I}_A = \dot{U}_A / \underline{Z}_A; \quad \dot{I}_B = \dot{U}_B / \underline{Z}_B; \quad \dot{I}_C = \dot{U}_C / \underline{Z}_C;$$

где  $\underline{Z}_A, \underline{Z}_B, \underline{Z}_C$  – **комплексные сопротивления** электроприемников (трехфазной нагрузки).

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Основные соотношения для трехфазной цепи – звезда

Для активной нагрузки фаз линейные или фазные токи равны:

$$\mathbf{I}_A = \dot{U}_A / \mathbf{R}_A; \quad \mathbf{I}_B = \dot{U}_B / \mathbf{R}_B; \quad \mathbf{I}_C = \dot{U}_C / \mathbf{R}_C;$$

Из этих выражений видно, что для случая активной нагрузки фаз одноименные фазные напряжения и токи совпадают по фазе ( $\phi = 0$ ).

Из первого закона Кирхгофа [1] для схемы **рис. 3** следует, что:

$$\mathbf{I}_A + \mathbf{I}_B + \mathbf{I}_C = \mathbf{I}_N.$$

т.е. *ток в нейтральном проводе равен сумме комплексных фазных (линейных) токов* или в геометрическом представлении – *геометрической сумме векторов этих токов (векторной сумме)*.

Помимо трех фазных напряжений при схеме соединения звездой, как видно из **рис. 3**, имеются три напряжения между тремя парами линий, которые называются *линейными напряжениями*:

$$\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}.$$

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Основные соотношения для трехфазной цепи – звезда

На основании второго закона Кирхгофа [1] для схемы на рис. 3 можно получить соотношения между фазными ЭДС и линейными напряжениями:

$$\begin{aligned} \dot{E}_A - \dot{E}_B &= \dot{U}_{AB}; \\ \dot{E}_B - \dot{E}_C &= \dot{U}_{BC}; \\ \dot{E}_C - \dot{E}_A &= \dot{U}_{CA}. \end{aligned}$$

Анализ этих выражений показывает, что *для симметричной системы ЭДС линейные напряжения также будут симметричными*, т.е. одинаковы по величине и сдвинуты относительно друг друга на один и тот же фазовый угол  $2\pi/3 = 120^\circ$ .

Соотношения между линейными и фазными напряжениями для схемы соединения звездой (рис. 3) по второму закону Кирхгофа имеют вид:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{U}_B - \dot{U}_A; \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_C - \dot{U}_B; \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_A - \dot{U}_C. \end{aligned}$$





# Трёхфазные цепи. Соединение звездой

## Основные соотношения для трёхфазной цепи – звезда

*Если сопротивления фаз имеют одинаковый характер и равны по величине:  $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z}_\Phi$ .*

*то такую нагрузку называют симметричной. Для симметричной активной нагрузки:  $\underline{Z}_\Phi = R_A = R_B = R_C = R_\Phi$ .*

Из графика мгновенных значений трёхфазной симметричной системы ЭДС видно, что в любой момент времени сумма трех синусоидальных ЭДС  $e_A$ ,  $e_B$ ,  $e_C$  равна нулю:  $e_A + e_B + e_C = 0$  (см. рис. 2а) .

Также равны нулю сумма комплексных действующих значений фазных ЭДС или геометрическая сумма векторов этих величин:  $\underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C = 0$ .

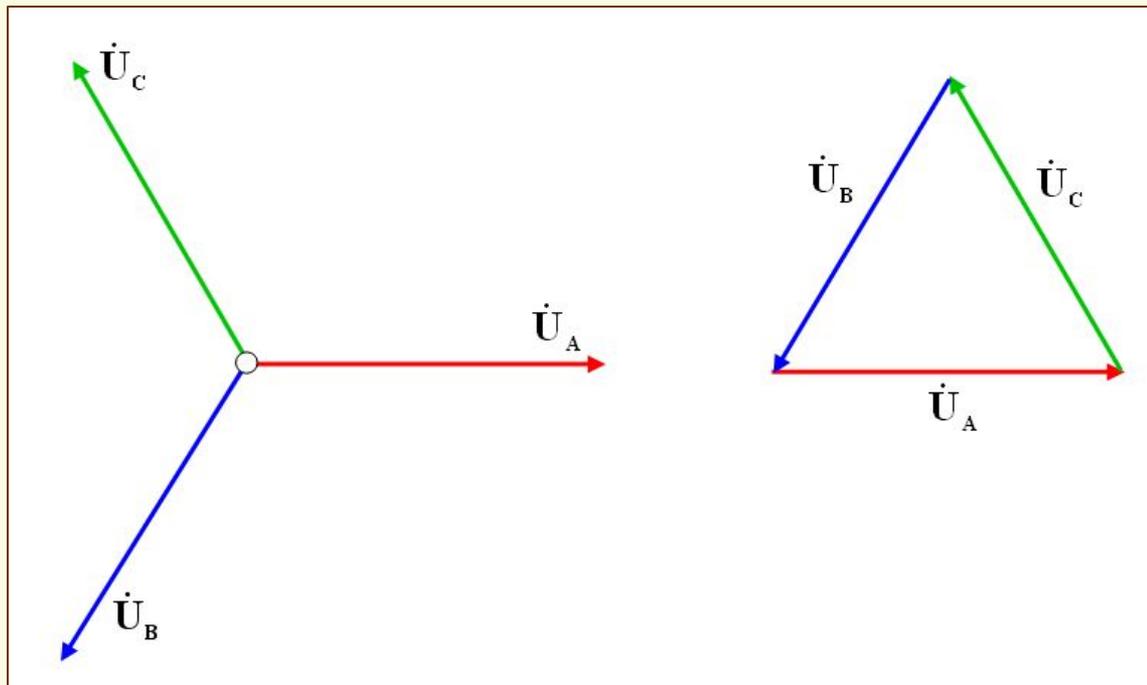
В общем случае *в любой трёхфазной системе симметричных ЭДС, токов или напряжений геометрическая сумма векторов этих величин равна нулю.*



# Трёхфазные цепи. Соединение звездой

## Основные соотношения для трёхфазной цепи – звезда

Сами симметричные векторы могут образовать на векторной диаграмме или симметричную трехлучевую звезду с началами векторов, совмещенными в общей точке, или равносторонний треугольник, состоящий из замкнутой цепочки трех векторов, соединенных по правилу конец-начало. Это может быть проиллюстрировано с помощью двух векторных диаграмм.





# Трёхфазные цепи. Соединение звездой

## Симметричная нагрузка фаз

*Для симметричной нагрузки фаз сумма комплексных симметричных фазных напряжений всегда равна нулю:*

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0.$$

*Для симметричной трехфазной нагрузки фазные (линейные) токи также будут симметричными, т.е. одинаковы по величине и сдвинутыми относительно друг друга на один и тот же угол  $2\pi/3 = 120^\circ$ .*

*Векторная сумма симметричных фазных (линейных) токов всегда равна нулю:*

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0.$$

*Из этого следует, что для симметричной нагрузки фаз, соединенных звездой ток в нейтральном проводе всегда равен нулю:*

$$\dot{I}_N = \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_A = 0.$$



# Трехфазные цепи

## Соединение электроприемников звездой

Если нагрузка фаз трехфазного электротехнического устройства по своей конструкции ***всегда симметричная***, как например, ***в трехфазных асинхронных двигателях*** (где три симметричные фазы-обмотки статора имеют одинаковые сопротивления), то для их соединения по схеме звезда к трехфазной сети ***нейтральный провод никогда не присоединяется к нейтральной точке «N» фазных обмоток статора***. [1].

**Примечание.** В то же время ***заземленный (нулевой) нейтральный провод используется в целях электробезопасности*** за счет его присоединения к корпусу асинхронного двигателя [1].

На следующем слайде показано построение ***векторной диаграммы напряжений и токов для трехфазной симметричной активной нагрузки, соединенной звездой***.

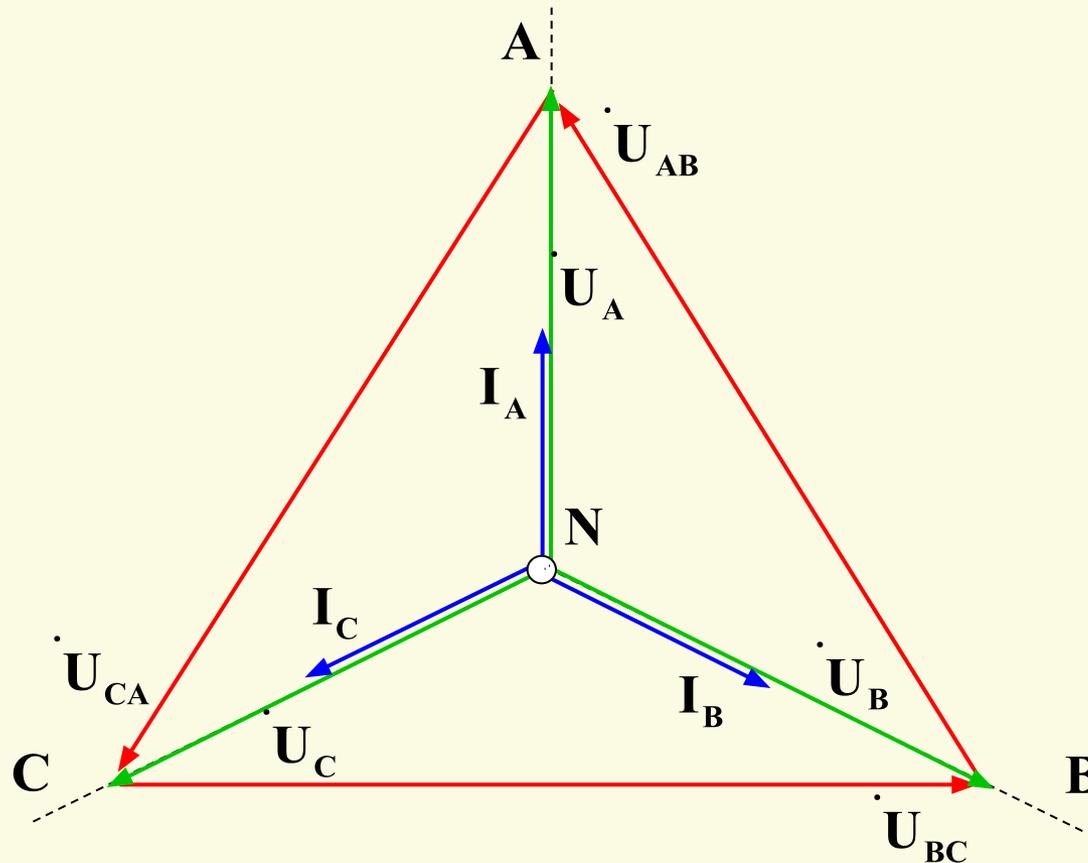
Диаграмма строится на основании приведенных формул по правилам построения векторных диаграмм, изложенных в [2].

# Трёхфазные цепи. Соединение звездой



## Симметричная нагрузка фаз

**Построение векторной диаграммы для трехфазной симметричной активной нагрузки соединенной звездой**



# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Симметричная нагрузка фаз

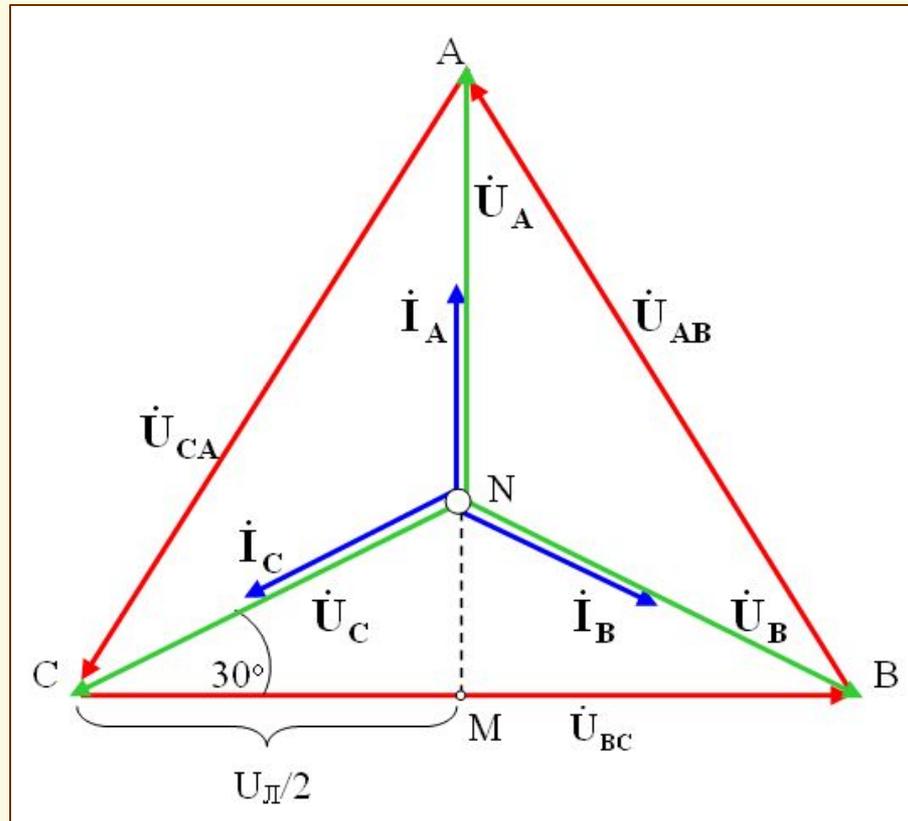


Рис. 4. Векторная диаграмма напряжений и токов для трехфазной симметричной активной нагрузки соединенной звездой

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Симметричная нагрузка фаз

Из векторной диаграммы на рис. 4 видно, что в прямоугольном треугольнике  $CNM$  отношение катета  $CM$ , равного половине линейного напряжения  $U_L/2$  к гипотенузе  $CN$ , равной фазному напряжению  $U_\Phi$  определяется по формуле:

$$\frac{U_L/2}{U_\Phi} = \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Из этого выражения следует, что  $\frac{U_L}{U_\Phi} = \sqrt{3} \approx 1,73$ ,

*т.е. для симметричной нагрузки фаз соединенных звездой линейные напряжения больше фазных в  $\sqrt{3} \approx 1,73$  раза.*

Например, если линейные напряжения в трехфазной сети равны **380 В**, то фазные напряжения для трехфазной нагрузки соединенной звездой будут в **1,73** раза меньше и равны **220 В**. Напряжения **220/380 В** являются стандартными величинами фазных и линейных напряжений в низковольтных сетях промышленной частоты **50 Гц** в России и других странах.

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

*Трехфазная нагрузка называется несимметричной при неравном сопротивлении фаз.*

Рассмотрим режим работы *несимметричной активной нагрузки фаз соединенных звездой с нейтральным проводом*. В качестве примера рассмотрим случай, когда  $R_A < R_B = R_C$ .

В этом случае *фазные напряжения при несимметричной нагрузке остаются теми же (симметричными)*, что и для симметричной нагрузки фаз.

В то же время, по закону Ома *фазные токи*, обратно пропорциональные сопротивлениям электроприемников, *становятся неравными (несимметричными)*:  $(I_A = U_A/R_A) > (I_B = U_B/R_B) = (I_C = U_C/R_C)$ ,

т.е.  $I_A > I_B = I_C$ . Для *активной несимметричной нагрузки* эти токи будут *совпадать по фазе с одноименными фазными напряжениями*, как и для симметричной активной нагрузки (см. рис. 4).

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

Таким образом, *векторная диаграмма напряжений для несимметричной нагрузки фаз останется неизменной, по сравнению со случаем симметричной нагрузки.*

*Неравенство фазных токов ( $I_A > I_B = I_C$ ) для несимметричной нагрузки приведет к появлению тока в нейтральном проводе:*

$$I_N = I_B + I_C + I > 0.$$

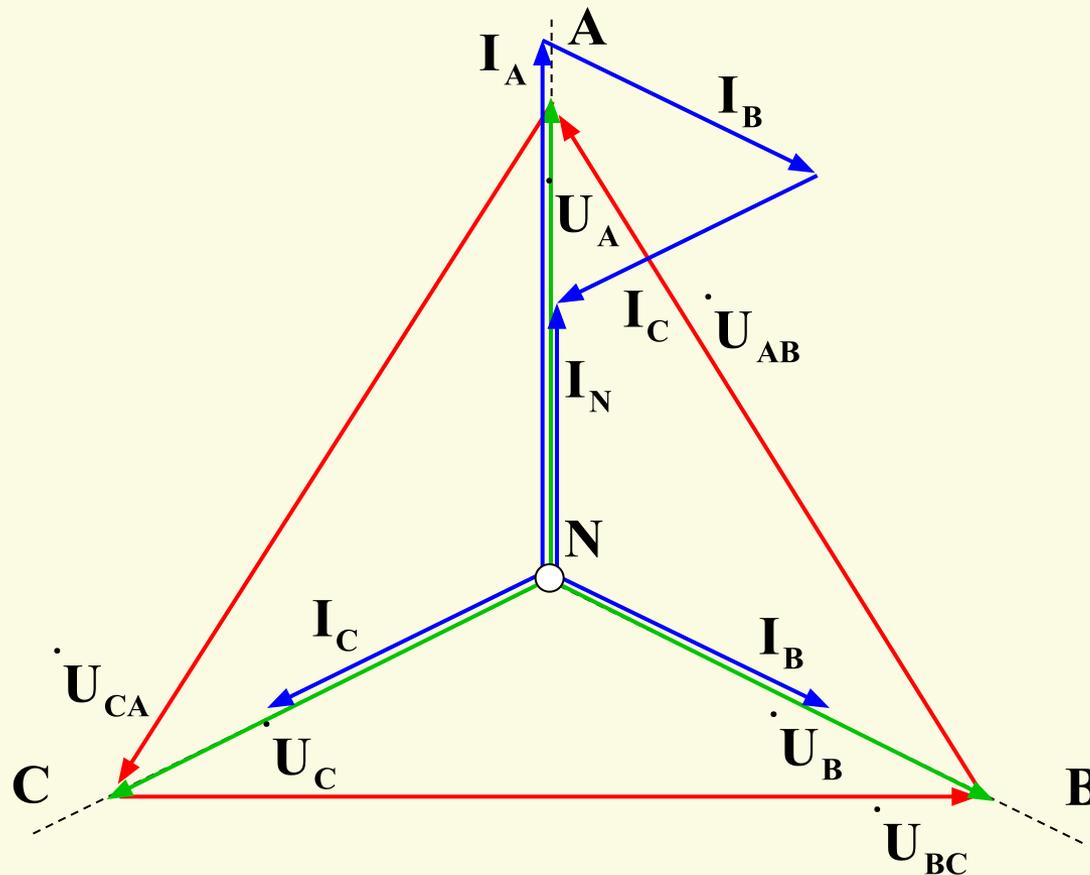
Построение векторной диаграммы для трехфазной несимметричной нагрузки фаз соединенных звездой с нейтральным проводом с данным видом несимметрии ( $R_A < R_B = R_C$ ) представлено на следующем слайде.

# Трёхфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

Построение диаграммы для несимметричной нагрузки фаз соединенных звездой с нейтральным проводом ( $R_A < R_B = R_C$ )



# Трёхфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

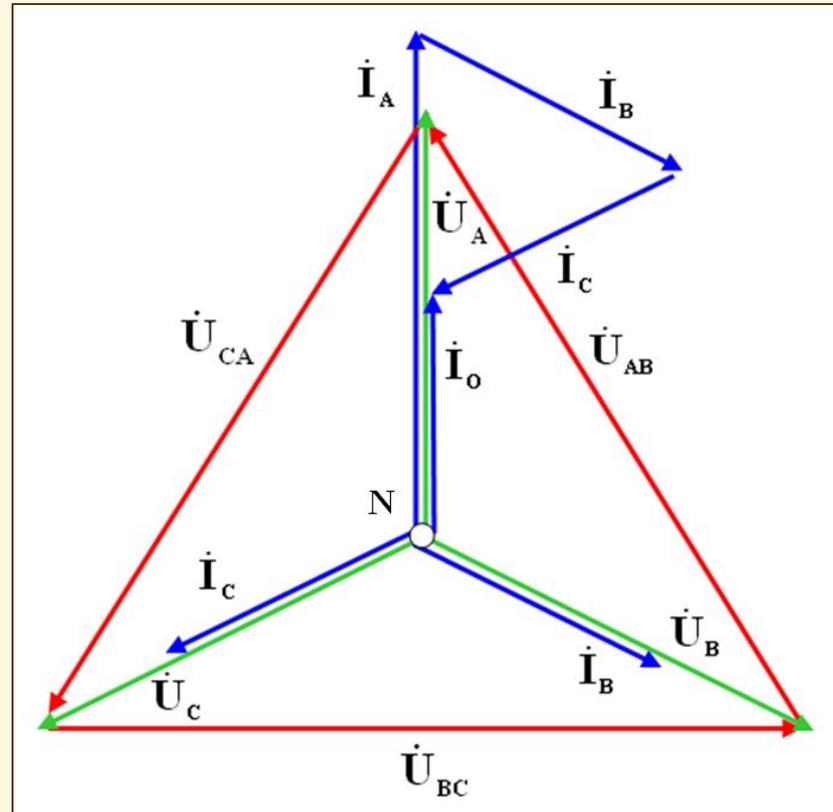


Рис. 5. Векторная диаграмма напряжений и токов при соединении фаз звездой с нейтральным проводом при несимметричной нагрузке для случая  $R_A < R_B = R_C$

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

Рассмотри тот же *случай несимметричной нагрузки* ( $R_A < R_B = R_C$ ), но *при отсутствии нейтрального провода*.

При этом сохраняется симметрия линейных напряжений  $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$ .

Соотношения между линейными и фазными напряжениями на основании второго закона Кирхгофа по-прежнему определяются выше приведенными выражениями.

Однако, из-за отсутствия нейтрального провода фазные напряжения, (как и фазные токи) при несимметричной активной нагрузке также становятся несимметричными, т.е. неравными по величине с неодинаковыми фазовыми углами, определяемыми на основании закона Ома:

$$\dot{U}_A = R_A \dot{I}_A; \quad \dot{U}_B = R_B \dot{I}_B; \quad \dot{U}_C = R_C \dot{I}_C.$$

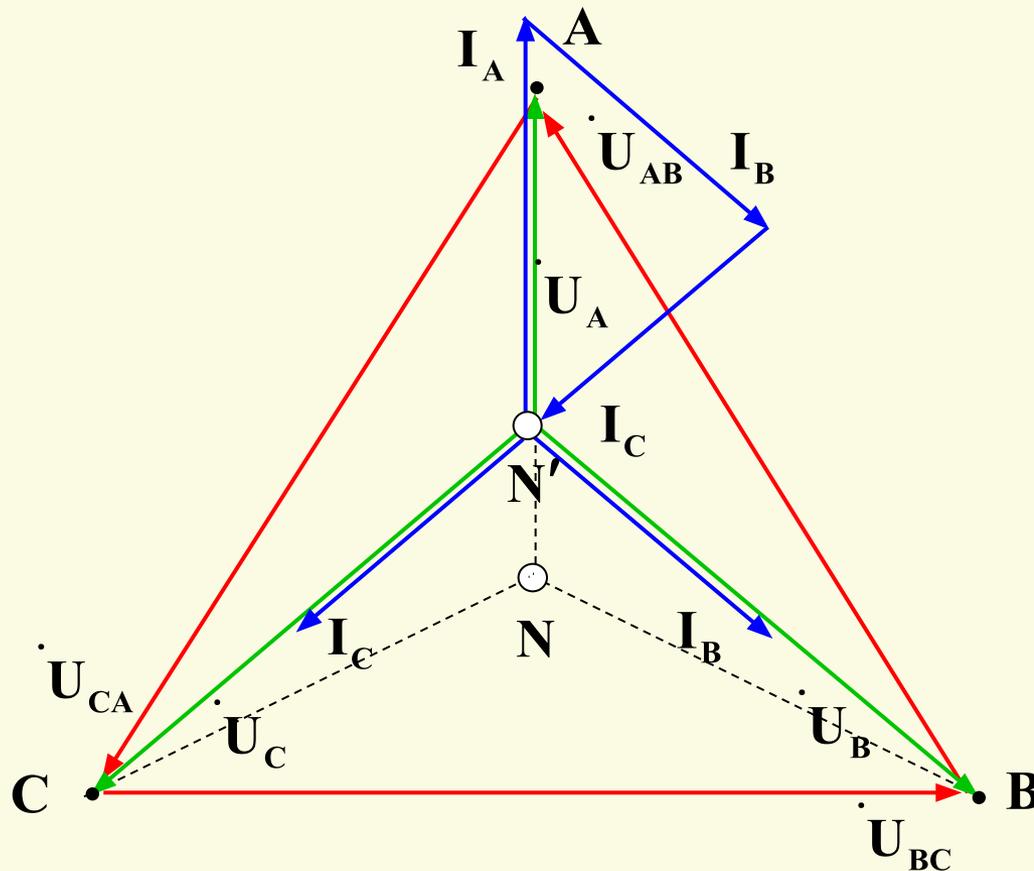
На следующем слайде показано построение векторной диаграммы для трехфазной несимметричной нагрузки фаз соединенных звездой без нейтрального провода с данным видом несимметрии ( $R_A < R_B = R_C$ ).

# Трёхфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

Построение диаграммы для несимметричной трехфазной нагрузки без нейтрального провода при  $R_A < R_B = R_C$



# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

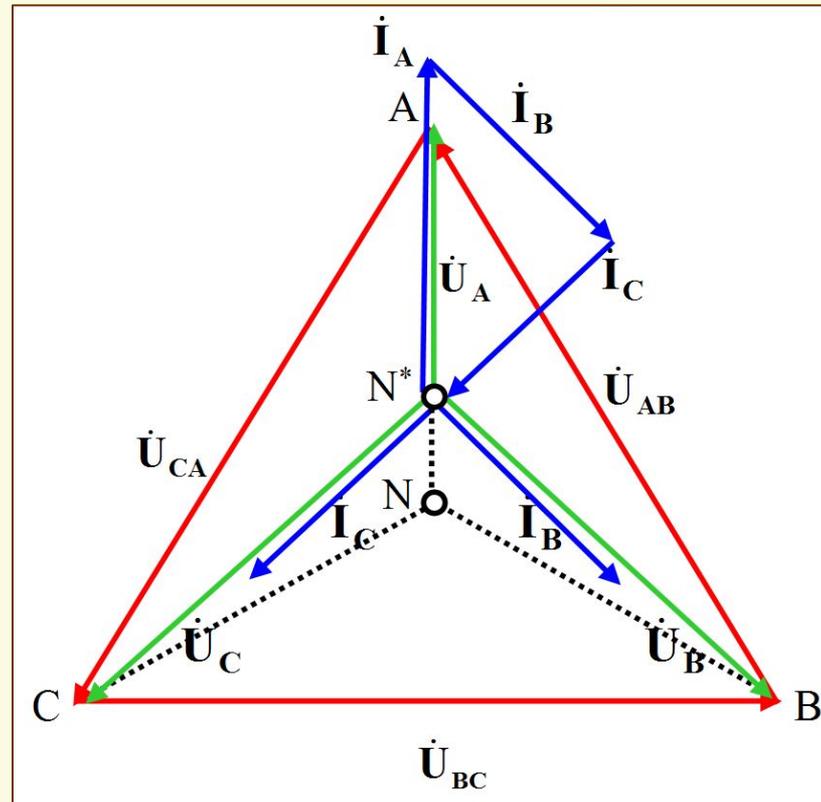


Рис. 6. Векторная диаграмма токов и напряжений для несимметричной активной нагрузки фаз соединенной звездой при отсутствии нейтрального провода для случая  $R_A < R_B = R_C$

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

Рассмотрим *аварийный режим несимметричной активной нагрузки* соединенной звездой – *короткое замыкание одной из фаз при отсутствии (обрыве) нейтрального провода*. На рис.7 изображена *трехпроводная цепь без нейтрального провода с коротким замыканием фазы А*.

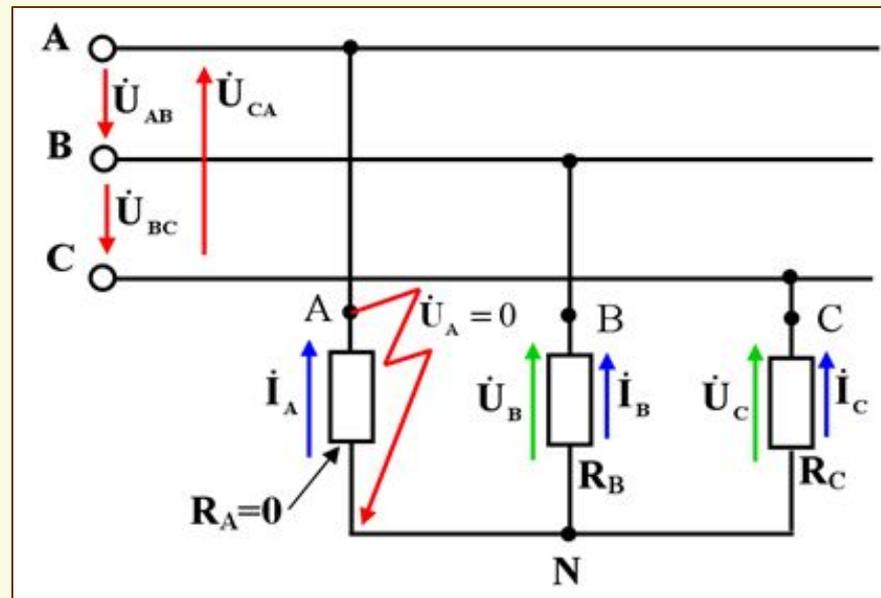


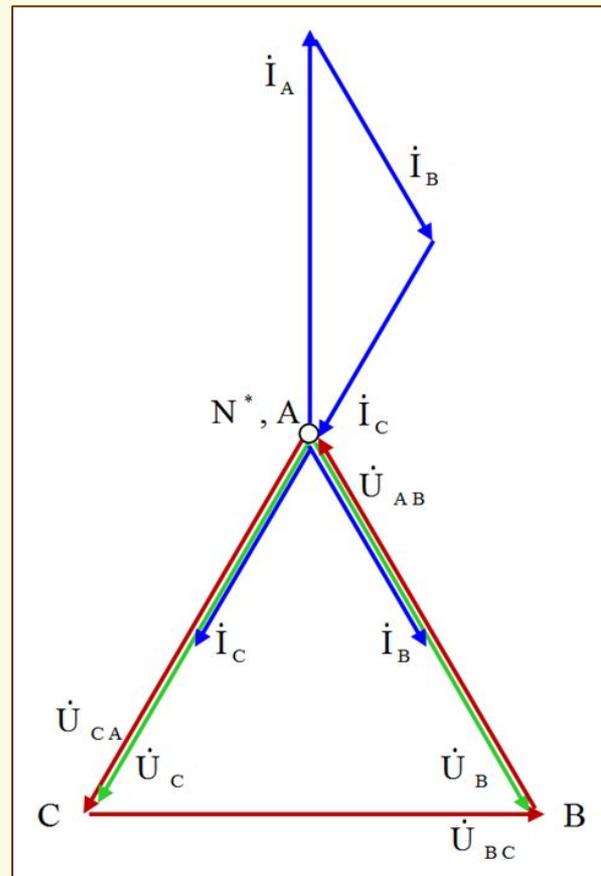
Рис.7. Схема включения трехфазной нагрузки в трехпроводную сеть с коротким замыканием фазы А

# Трёхфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

Ниже представлена векторная диаграмма напряжений и токов для режима короткого замыкания фазы **A** при сопротивлении фаз:  $R_A = 0$ ;  $R_B = R_C$ .



# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

Как видно из векторной диаграммы для этого режима, общая точка начала трех векторов фазных напряжений  $U_A, U_B, U_C$  – *смещенная нейтраль*  $N^*$  переместится к вершине  $A$  равностороннего треугольника  $ABC$  векторов линейных напряжений  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ .

При этом фазное напряжение уменьшится до нуля, а два других фазных напряжения и увеличатся до величины линейных напряжений:  $U_A = 0$ ;  
 $U_B = U_C = U_L$ ;

Пропорционально напряжениям  $U_B$  и  $U_C$  по закону Ома увеличатся и фазные токи  $I_B$  и  $I_C$ , совпадая с ними по фазе:  $I_B = I_C = U_L/R_\Phi$ .

В короткозамкнутой фазе  $A$  ток  $I_A$  определяется на основании первого закона Кирхгофа:  $I_A = -(I_B + I_C)$ .

На векторной диаграмме это подтверждается направлением векторов в замкнутом треугольнике векторов токов  $I_A, I_B, I_C$ .

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

Рассмотрим еще один аварийный режим несимметричной активной нагрузки соединенной звездой – *отключение (обрыв) одной из фаз при отсутствии нейтрального провода.*

На рис. 8 изображена *трехпроводная цепь с отключенной фазой А.* В этом случае сопротивления фаз имеют следующие значения:  $R_A = \infty$ ;

$$R_B = R_C = R_\Phi.$$

На рис. 9 представлена векторная диаграмма напряжений и токов для этого режима.

# Трёхфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

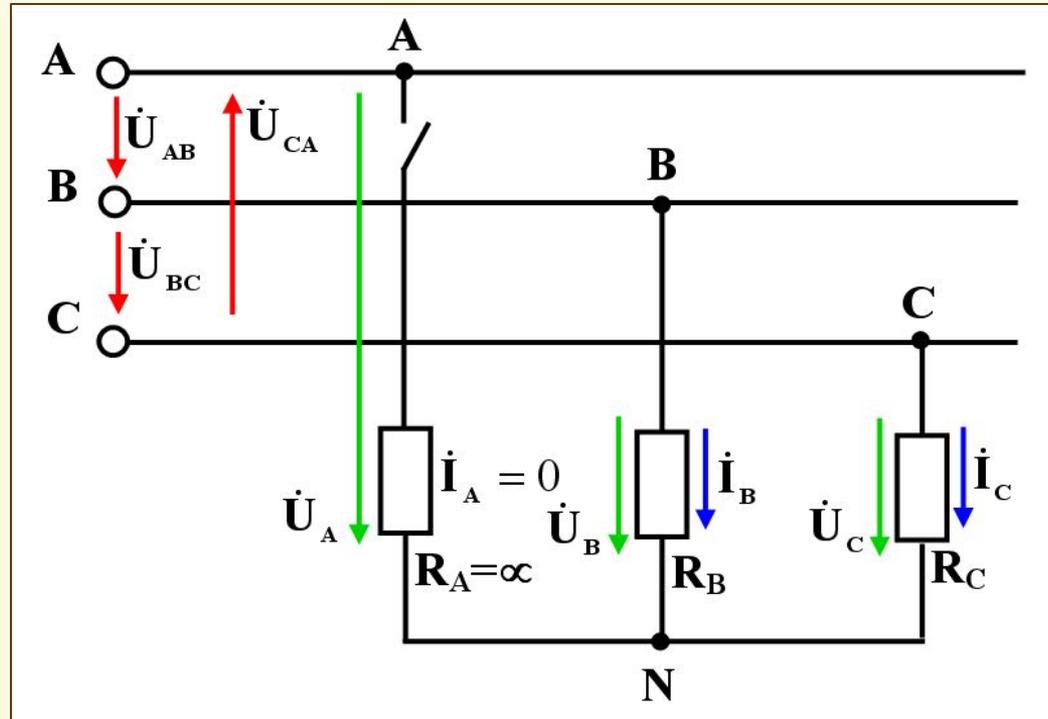


Рис. 8. Режим несимметричной нагрузки – отключение фазы «А» для трехфазной активной нагрузки соединенной звездой без нейтрального провода

# Трёхфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

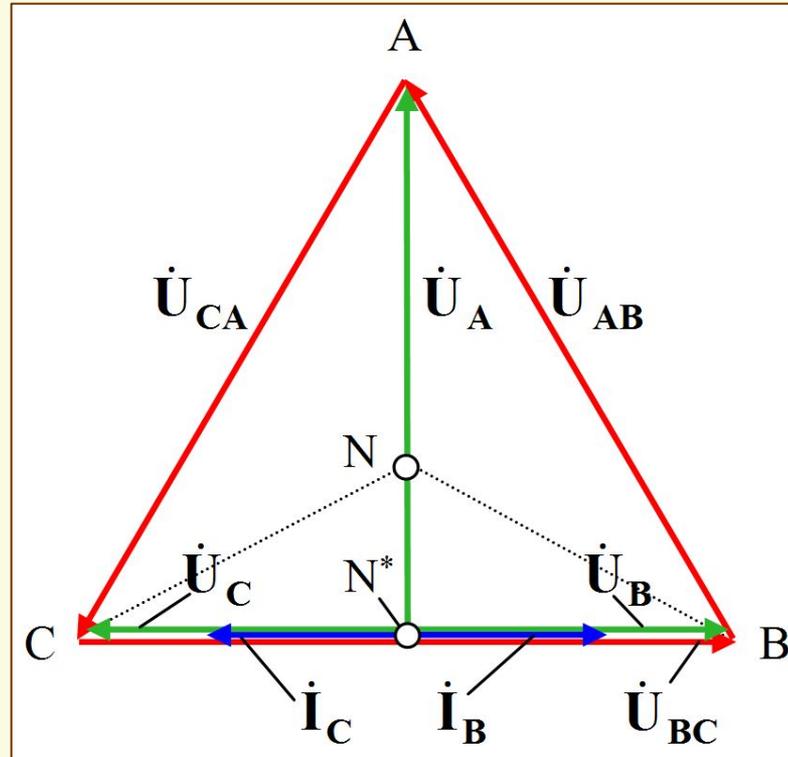


Рис. 9. Векторная диаграмма для трехфазной активной нагрузки соединенной звездой при отключении фазы «А» и при отсутствии нейтрального провода

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

Из векторной диаграммы на рис. 9 видно, что при симметричной системе линейных напряжений  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  в случае отключения фазы **A** и отсутствии нейтрального провода общая точка начала векторов фазных напряжений  $U_A, U_B, U_C$  – (*нейтраль N* для симметричной нагрузки) переместится вниз на середину нижней стороны **BC** равностороннего треугольника **ABC** (*смещенная нейтраль N\**). При этом напряжение фазы **A** увеличится, а двух других фаз уменьшится до величин:  $U_B = U_C = U_{\text{Л}}/2$ .

$$U_A = U \sin 60^\circ = U \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0,87U ;$$

Ток в фазе **A**, из-за ее отключения отсутствует ( $I_A = 0$ ), а в фазах **B** и **C**, соединенных последовательно и подключенных к линейному напряжению будет протекать один и тот же ток по величине определяемый законом Ома:

$$I_B = I_C = \frac{U_{BC}}{R_B + R_C} = \frac{U}{2R}.$$

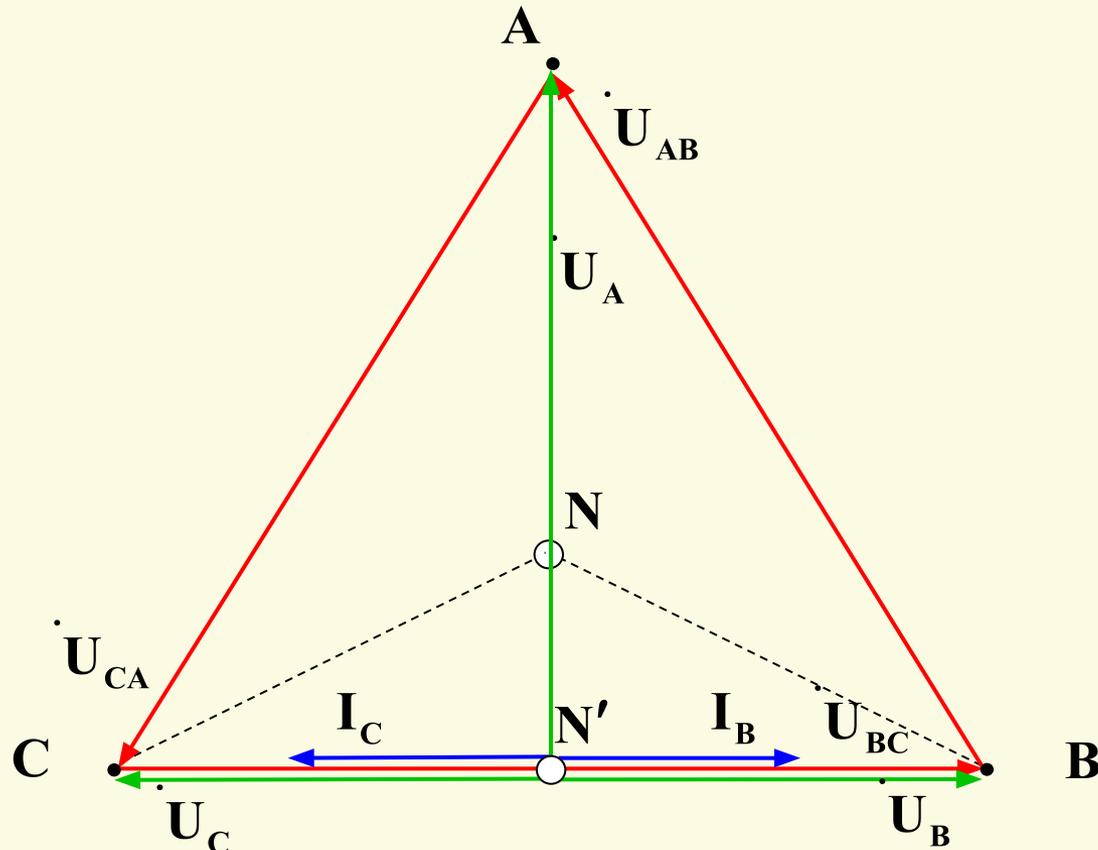
На следующем слайде показано построение векторной диаграммы для трехфазной несимметричной нагрузки фаз соединенных звездой без нейтрального провода при отключении фазы **A**.

# Трёхфазные цепи. Соединение звездой



## Несимметричная нагрузка фаз

Построение диаграммы для несимметричной нагрузки без нейтрального провода при отключении фазы «А»



# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Назначение нейтрального провода

Анализ выше приведенных формул и векторных диаграмм позволяет понять *назначение нейтрального провода*: случаи, когда он необходим и когда он не требуется по прямому назначению, а также последствия, к которым может привести его отсутствие (обрыв нейтрального провода).

***Нейтральный провод в трехфазной четырехпроводной сети служит для выравнивания фазных напряжений при несимметричной нагрузке фаз соединенных звездой*** (а также для протекания по нему в этом режиме уравнительного тока).

Это определение назначения нейтрального провода выявляет два обстоятельства:

Во-первых, что выполняет нейтральный провод – выравнивает фазные напряжения (делает их симметричными т.е. одинаковыми по величине, сдвинутыми на один и тот же фазовый угол);

Во-вторых, когда используется нейтральный провод – когда нагрузка фаз несимметричная, т.е. неодинаковая по величине и однородности в разных фазах.

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Назначение нейтрального провода

С другой стороны *нейтральный провод никогда не присоединяется к нейтрали фаз соединенных звездой для заведомо симметричной трехфазной нагрузки (например – трехфазные асинхронные двигатели).*

Это объясняется тем обстоятельством, что для симметричной нагрузки ток в нейтральном проводе отсутствует, поэтому нейтральный провод и не подсоединяется к общей точке фаз (нейтрали **N**), соединенных звездой.

В то же время *заземленный (нулевой) нейтральный провод используется в целях электробезопасности* за счет его присоединения к корпусу асинхронного двигателя [1].

# Трёхфазные цепи. Соединение звездой



## Мощности электроприемников в трехфазной нагрузке

Общую активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности электроприемников в трехфазной цепи при их соединении звездой можно *при любой несимметрии* вычислить как *арифметические суммы* этих мощностей для отдельных фаз:  $P = P_A + P_B + P_C$ ;  $Q = Q_A + Q_B + Q_C$ ;

$$S = S_A + S_B + S_C = \sqrt{P^2 + Q^2},$$

где мощности  $P$ ,  $Q$ ,  $S$  для *отдельной фазы* вычисляются по формулам:

$$P = U_R I = I^2 R = \frac{(U_R)^2}{R}.$$

$$Q = |Q_L - Q_C|; \quad Q_L = U_L I = \frac{U_L^2}{X_L} = I^2 X_L; \quad Q_C = U_C I = \frac{U_C^2}{X_C} = I^2 X_C.$$

$$S = I^2 Z = \frac{U^2}{Z}.$$

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Мощности электроприемников в трехфазной нагрузке

Для симметричной трехфазной нагрузки мощности вычисляются для одной фазы, а затем утраиваются:

$$P = 3P_{\phi}; \quad Q = 3Q_{\phi}; \quad S = 3S_{\phi}.$$

Для симметричной трехфазной нагрузки мощности  $P$ ,  $Q$ ,  $S$  также можно вычислить через линейные напряжения  $U_L$  и линейные токи  $I_L$  по формулам:

$$P = \sqrt{3}U_L I_L \cos \phi;$$

$$Q = \sqrt{3}U_L I_L \sin \phi;$$

$$S = \sqrt{3}U_L I_L,$$

где  $\phi$  – угол сдвига по фазе между фазными током и напряжением

# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## ТЕСТ – Трехфазные цепи при соединении нагрузки звездой

При нажатии на расположенную внизу кнопку-гиперссылку «ТЕСТ» запускается тестирующая программа и предоставляет пользователю выборку пяти вопросов и задач из общего количества 25 по теме раздела. При этом появляется окно *Выбор режима*.



В этом окне следует отметить пункт *Обучение* и после – нажать кнопку *Ок*, так как тестирование в настоящем пособии проводится только в режиме *Обучение*. При ошибочных ответах пользователя на вопросы теста приводятся подсказки в виде правильных ответов (в режиме контроля подсказки отсутствуют).



# Трехфазные цепи. Соединение звездой



## Литература и электронные средства обучения

### *Основная литература*

1. Касаткин А.С. Электротехника: учеб. для вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 10-е изд. стер. – М.: Изд. Центр «Академия», 2007. – 544с.
2. К.Я. Вильданов, С.Т. Гейдаров, И.Г. Забора и др. Электротехника и электроника. Элементы теории и задания к контрольным работам: Учебно-методическое пособие для студентов строительных специальностей. – М.: МГАКХиС, 2011. – 89 с.

### *Электронные средства обучения*

1. А.С. Касаткин, М.В. Немцов. Электротехника. Электронная версия учебника по электротехнике и электронике, 2009. (формат – веб-страницы).
2. И.Г. Забора. Инженерные системы и оборудование зданий. Электротехника и электроснабжение. Электронный курс. 2016. [http://cito.mgsu.ru/subject/index/card/switcher/list/subject\\_id/1185](http://cito.mgsu.ru/subject/index/card/switcher/list/subject_id/1185).



**ЛЕКЦИЯ ОКОНЧЕНА**

***Благодарю за внимание!***