



Цепи трехфазного переменного тока. Основные понятия и определения

Сотиболдиев Абдурахмон Юлдашевич

ассистент,

Алмалыкский филиал Ташкентского Государственного Технического Университета,

Республика Узбекистан, г. Алмалык

E-mail: abduraxmon.sotiboldiyev@mail.ru

Three-phase alternating current circuits. Basic concepts and definitions.

Abdurakhmon Sotiboldiev

Assistant,

Almalyk Branch of Tashkent state technical University Uzbekistan, Almalyk

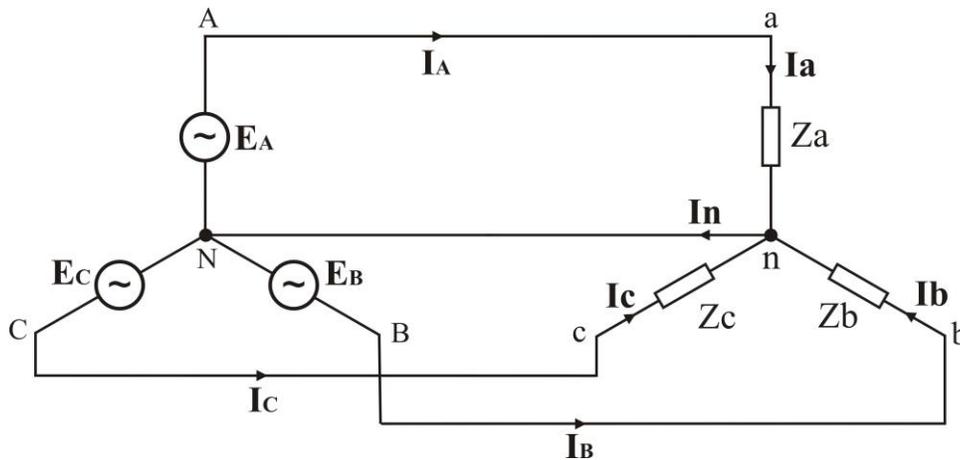
Аннотация: Цепи трехфазного переменного тока играют ключевую роль в современном электроэнергетическом оборудовании.

Они обеспечивают эффективную передачу и распределение электроэнергии, позволяя снизить потери и повысить производительность. Трехфазные системы используют три проводника с фазами, смещенными на 120 градусов, что обеспечивает более стабильное и равномерное распределение нагрузки. В данной статье рассматриваются основные принципы работы трехфазных цепей, их преимущества по сравнению с однофазными системами, а также применение в различных отраслях. Особое внимание уделяется расчетам и анализу параметров трехфазных цепей, что позволяет оптимизировать их эксплуатацию и повысить надежность электроснабжения.

Ключевые слова: Трехфазный ток, переменный ток, фаза, электрическая энергия, система, нагрузки, трансформатор синхронный двигатель, индукция, фазовый угол, эффективность системы, передача энергии, распределение нагрузки, возобновляемые источники энергии, безопасность системы.



Система трехфазного электропитания состоит из трехфазного генератора, линии электропередачи (ЛЭП) и трехфазного приемника.



Статор трехфазного генератора имеет три обмотки с одинаковым числом витков, соединенные звездой. Обмотки смещены в пространстве на 120° . При вращении якоря, создающего постоянное магнитное поле, в обмотках статора индуцируются три ЭДС ($\vec{E}_A, \vec{E}_B, \vec{E}_C$), одинаковые по величине, но сдвинутые по фазе на 120° .

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

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

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

Z_a, Z_b, Z_c – сопротивления (фазы) трехфазного приемника, соединенного звездой.

A-a, B-b, C-c – линейные провода (линии), соединяющие начала обмоток генератора со свободными концами трехфазного приемника.

N, n – общие или нейтральные точки генератора и нагрузки.



$N - n$ – нейтральный или нулевой провод, соединяющий эти точки.

$\vec{I}_A, \vec{I}_B, \vec{I}_C$ – линейные токи – токи в линиях электропередачи.

$\vec{I}_a, \vec{I}_b, \vec{I}_c$ – фазные токи – токи в фазах приемника.

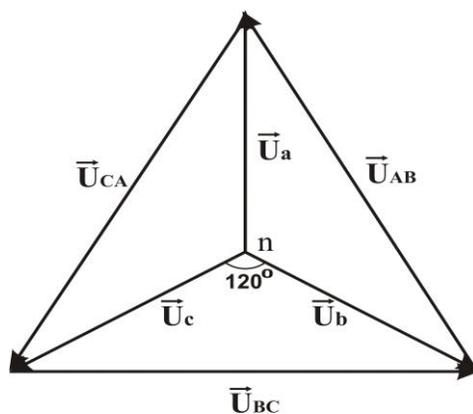
\vec{I}_n – ток в нейтральном проводе.

$\vec{U}_a, \vec{U}_b, \vec{U}_c$ – фазные напряжения – разность потенциалов между нейтральным проводом и соответствующей линией.

$\vec{U}_{AB}, \vec{U}_{BC}, \vec{U}_{CA}$ – линейные напряжения – разность потенциалов между соответствующими линиями.

Трехфазное соединение звездой с нейтральным проводом

В звезде с нейтральным проводом каждая фаза нагрузки с помощью нейтрального провода и соответствующей линии независимо подключена к своему генератору. Следовательно, если не учитывать малые падения напряжения в линии, фазные напряжения, также как ЭДС генератора равны по величине и сдвинуты по фазе на 120° .



$$\vec{U}_a \cong \vec{E}_A, \quad \vec{U}_b \cong \vec{E}_B, \quad \vec{U}_c \cong \vec{E}_C$$

Соответственно, линейные напряжения

$$\vec{U}_{AB} = \vec{U}_a - \vec{U}_b$$

$$\vec{U}_{BC} = \vec{U}_b - \vec{U}_c$$

$$\vec{U}_{CA} = \vec{U}_c - \vec{U}_a$$



Из векторной диаграммы линейных и фазных напряжений можно найти соотношение между ними. По теореме косинусов для любого линейного напряжения (учитывая, что $\cos 120^\circ = -0.5$) получим

$$U_{BC} = \sqrt{U_b^2 + U_c^2 - 2U_b U_c \cos 120^\circ} = U_b \sqrt{3} = U_c \sqrt{3}$$

Следовательно, в звезде с нейтральным проводом при любой нагрузке линейные напряжения ($U_{л}$) равны по величине и в $\sqrt{3}$ раз больше фазных ($U_{ф}$).

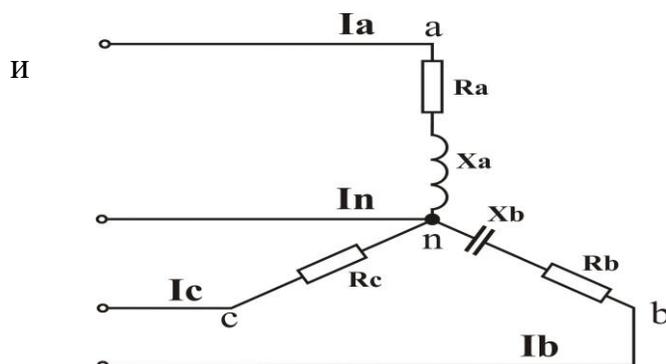
$$U_{л} = U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = \sqrt{3} U_{ф} = \sqrt{3} U_a = \sqrt{3} U_b = \sqrt{3} U_c$$

Из схемы соединения нагрузки звездой следует, что линейные токи равны соответствующим фазным

$$\vec{I}_A = \vec{I}_a, \quad \vec{I}_B = \vec{I}_b, \quad \vec{I}_C = \vec{I}_c$$

Ток в нейтральном проводе можно определить из I закона Кирхгофа для нейтральной точки нагрузки "n" $\vec{I}_n = \vec{I}_a + \vec{I}_b + \vec{I}_c$ – сумма геометрическая (векторная), следовательно, для определения I_n нужно построить векторную диаграмму.

Пример расчета трехфазной нагрузки, соединенной звездой с нейтральным проводом



Пусть известно линейное напряжение
сопротивления

всех фаз



1. Определяем фазные напряжения

$$U_a = U_b = U_c = U_{л} / \sqrt{3}$$

2. Определяем сопротивления фаз, фазные токи и углы сдвига фаз между током и напряжением

$$Z_a = \sqrt{R_a^2 + X_a^2}; \quad I_a = \frac{U_a}{Z_a} \quad \varphi_a = \arccos \frac{R_a}{Z_a}$$

Аналогично определяются Z_b , I_b , φ_b ; Z_c , I_c , φ_c

3. Ток в нейтральном проводе определяется по векторной диаграмме (ВД)

Порядок построения ВД

3.1. Строим 3 вектора фазных напряжений \vec{U}_a , \vec{U}_b , \vec{U}_c со сдвигом на 120°

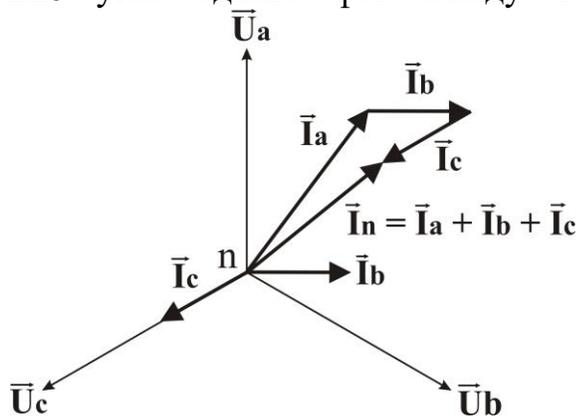
3.2. Относительно каждого из этих напряжений строим фазные токи \vec{I}_a , \vec{I}_b , \vec{I}_c , учитывая **величину** и **направление** угла сдвига фаз между током и напряжением.

3.3. Складываем геометрически

фазные токи и находим ток

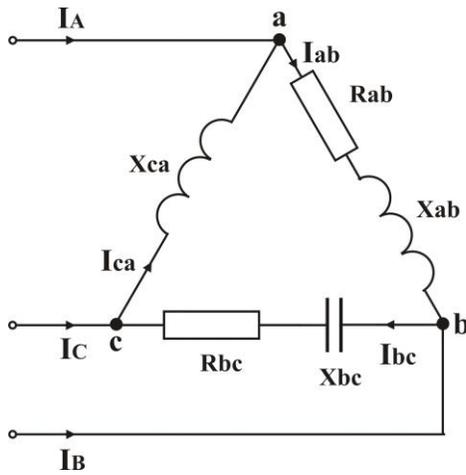
в нейтральном проводе

$$\vec{I}_a + \vec{I}_b + \vec{I}_c = \vec{I}_n$$





Трехфазное соединение нагрузки треугольником



При соединении нагрузки треугольником каждая фаза нагрузки включена между двумя линейными проводами, следовательно, фазные напряжения равны соответствующим линейным

$$\vec{U}_{ab} = \vec{U}_{AB}$$

$$\vec{U}_{bc} = \vec{U}_{BC}$$

$$\vec{U}_{ca} = \vec{U}_{CA}$$

Пример расчета трехфазной нагрузки, соединенной треугольником.

1. Определяем сопротивления фаз (Z_{ab} , Z_{bc} , Z_{ca}), фазные токи и углы сдвига фаз между током и напряжением

$$Z_{ab} = \sqrt{R_{ab}^2 + X_{ab}^2}; \quad I_{ab} = \frac{U_{ab}}{Z_{ab}} \quad \varphi_{ab} = \arccos \frac{R_{ab}}{Z_{ab}}$$

Аналогично определяются Z_{bc} , I_{bc} , φ_{bc} ; Z_{ca} , I_{ca} , φ_{ca}

2. Линейные токи можно определить по векторной диаграмме (ВД) на основании I закона Кирхгофа в векторной форме

Для узла “а”

$$\vec{I}_A + \vec{I}_{ca} = \vec{I}_{ab} \quad \Rightarrow \quad \vec{I}_A = \vec{I}_{ab} - \vec{I}_{ca}$$

Аналогично для узлов “b” и “c” получим

$$\vec{I}_B = \vec{I}_{bc} - \vec{I}_{ab};$$

$$\vec{I}_C = \vec{I}_{ca} - \vec{I}_{bc}$$



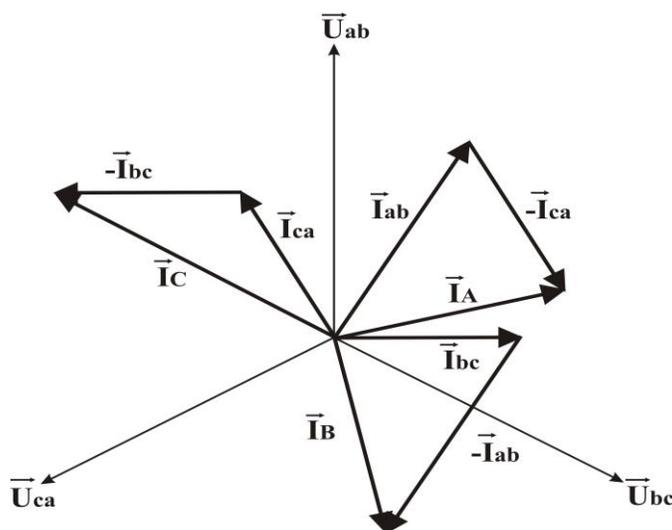
Порядок построения ВД

2.1. Строим 3 вектора фазных напряжений \vec{U}_{ab} , \vec{U}_{bc} , \vec{U}_{ca} со сдвигом на 120°

2.2. Относительно каждого из этих напряжений строим фазные токи \vec{I}_{ab} , \vec{I}_{bc} , \vec{I}_{ca} , учитывая **величину** и **направление** угла сдвига фаз между током и напряжением.

2.3. Строим вектор линейного тока \vec{I}_A по соотношению $\vec{I}_A = \vec{I}_{ab} - \vec{I}_{ca}$

– из фазного тока \vec{I}_{ab} вычитаем фазный ток \vec{I}_{ca} (т.е. из конца вектора \vec{I}_{ab} строим вектор минус \vec{I}_{ca}) – получаем линейный ток \vec{I}_A . Аналогично находим линейные токи $\vec{I}_B = \vec{I}_{bc} - \vec{I}_{ab}$ и $\vec{I}_C = \vec{I}_{ca} - \vec{I}_{bc}$.



При обрыве одной из фаз ток в этой фазе равен 0, токи в двух оставшихся фазах и все фазные напряжения не изменяются. Линейные токи определяются по векторной диаграмме, как и в предыдущем случае.

При обрыве линейного провода система перестает быть трехфазной. Схема представляет из себя две параллельные ветви, включенные между двумя оставшимися линейными проводами. Фазные и линейные токи можно определить на основе методов расчета цепи с параллельным соединением элементов.



Список использованных источников:

1. Toirov, Olimjon, et al. "Power Losses Of Asynchronous Generators Based On Renewable Energy Sources." *E3S Web of Conferences*. Vol. 434. EDP Sciences, 2023.
2. Муминов, Махмуджон Умурзакович, and Абдурахмон Юлдашевич Сотиболдиев. "Разработка бесщёточного мини гидро-солнечного синхронного генератора." *Universum: технические науки* 1-3 (94) (2022): 43-45.
3. Tursunboyevich, Sarvar Ganiev, and Abduraxmon Sotiboldiyev Yuldashevich. "YUQORI ENERGETIK SAMARADORLIKKA EGA VENTILYATSIYA TIZIMINI YARATISHNING ZAMONAVIY TENDENTSIYALARI." *Лучшие интеллектуальные исследования* 11.5 (2023): 195-201.
4. Yuldashevich, Sotiboldiyev Abduraxmon, Yoldoshev Ozodbek Nodirovich, and Bekmurodov Elmurod Dilmurod o'g'li. "QAYTA TIKLANUVCHAN ENERGIYA MANBALARIDAN FOYDALANISH TAHLILI." *TADQIQOTLAR* 30.3 (2024): 3-12.
5. Yuldashevich, Sotiboldiyev Abduraxmon, and Bekmurodov Elmurod Dilmurod o'g'li. "O 'ZBEKISTONDA KICHIK GIDRO ENERGETIK RESURSLARIDAN FOYDALANISH HOLATI VA IMKONIYATI." *TADQIQOTLAR* 30.3 (2024): 19-25.
6. Yuldashevich, Abduraxmon Sotiboldiyev. "MIKROGIDROELEKTROSTANSIYA DETALLARI UCHUN MATERIALLAR TANLASH." *Journal of new century innovations* 43.2 (2023): 42-46.



7. Muminov, M. U., A. Yu Sotiboldiyev, and M. M. Gulomaliev. "MIKROGES GIDROAGREGAT MEKANIZMLARINI TADQIQ ETISH." *Евразийский журнал технологий и инноваций* 2.3 (2024): 7-10.
8. Yuldashevich, Sotiboldiyev Abduraxmon, and Yoldoshev Ozodbek Nodirovich. "SHAMOL ENERGETIKASINING RIVOJLANISH TARIXI." *TADQIQOTLAR* 30.3 (2024): 13-18.
9. Abduraxmon, Abduraxmon, and Ozodbek Yoldoshev. "QUYOSH BATAREYASI YORDAMIDA ISHLAYDIGAN NASOSLARNI AFZALLIK TOMONLARI." *Ta'limning zamonaviy transformatsiyasi* 3.1 (2024): 101-105.
10. Muminov, M. U., et al. "Analysis of the state of the issue and review of the application of renewable energy sources to power excitation systems of synchronous machines." *JOURNAL OF ENGINEERING, MECHANICS AND MODERN ARCHITECTURE* 3.2 (2024): 34-37.
11. Yuldashevich, Sotiboldiyev Abduraxmon. "MIKRO GIDROELEKTRSTANSIYALAR RIVOJLANISHIDA JAHON TAJRIBASI." (2023): 208-215.
12. Muminov, Makhmudzhon, et al. "Investigation of automobile generator G-273 A with excitation from photovoltaic converter." *E3S Web of Conferences*. Vol. 563. EDP Sciences, 2024.
13. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=qZS0wPwAAAAJ&citation_for_view=qZS0wPwAAAAJ:u9iWguZQM_MsC
14. Jabborov, I. R. (2023). KICHIK QUVVATLI MIKRO GESNING O‘ZBEKISTON ENERGETIKASIDA TUTGAN O‘RNI VA ULARNING



RIVOJLANISH BOSQICHLARI. Research Focus International Scientific Journal, 2(5), 41-47.

15. Jabborov, I. R., & Usmanaliyeva, I. A. (2022). KICHIK QUVVATLI MIKROGESLARNI ERKIN OQIMLI DARYO VA KANALLARDA QO‘LLASH UCHUN MOSLASHTIRISH. World scientific research journal, 3(1), 217-221
16. Yuldashev, Elmurod Umaraliyevich, and Mohinur Abduxakim qizi Yuldasheva. "KONVEYER TRANSPORTINI ELEKTR YURITMASINI TESKARI ALOQALI DATCHIKLARI VOSITASIDA BOSHQARISH."
17. Shodiyev, Oqiljon Abdurashit O‘G‘Li, et al. "KONVEYER TRANSPORTINING ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH USULLARI VA TEXNIK YECHIMLARINI ISHLAB CHIQISH." *Academic research in educational sciences* 4.2 (2023): 285-291.