
Лекция №9

06.04.21

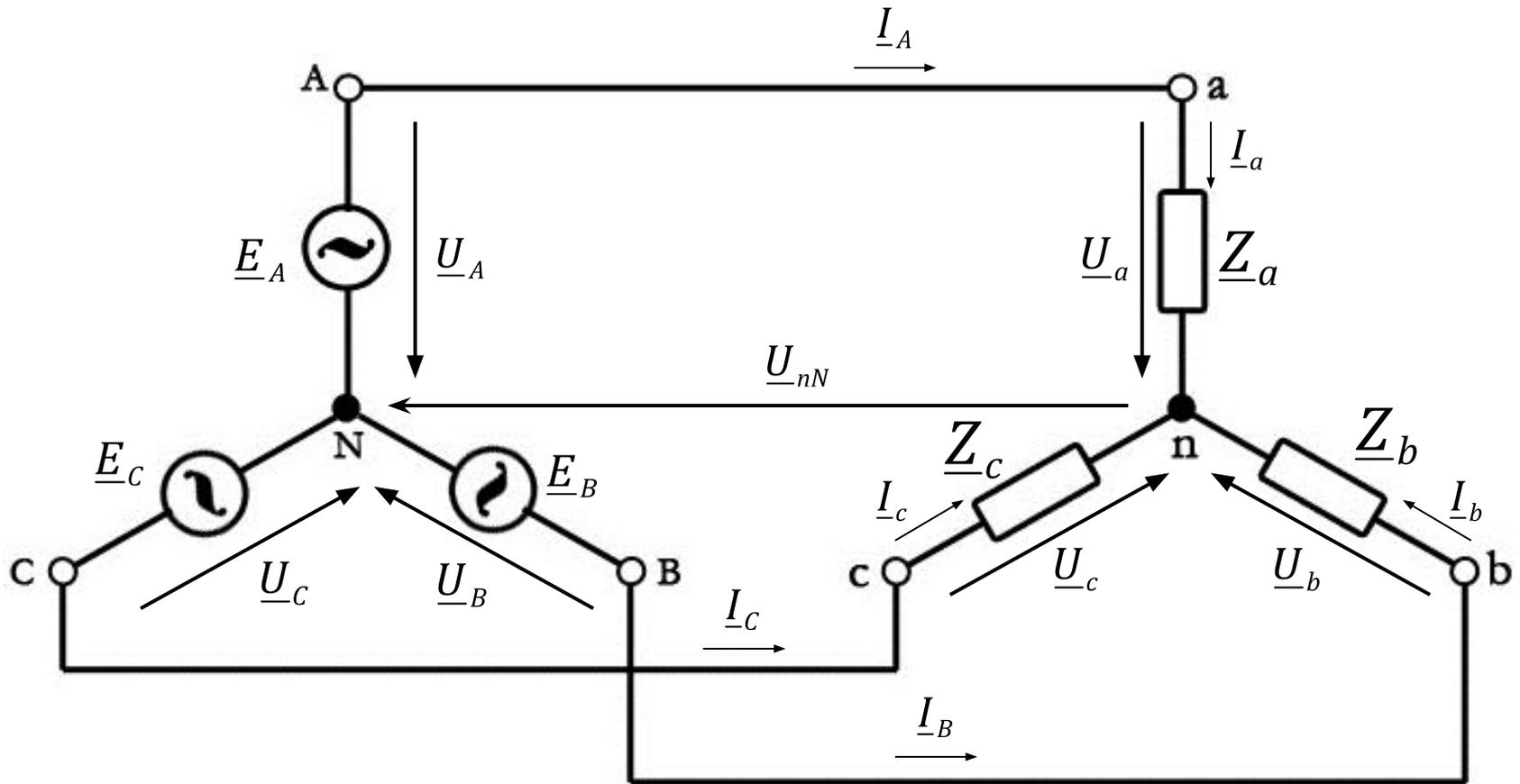
4. Трехфазные цепи

4.5. Анализ трехпроводной цепи при соединении приемников «звездой»

4.6. Анализ трехфазной цепи при соединении приемников «треугольником»

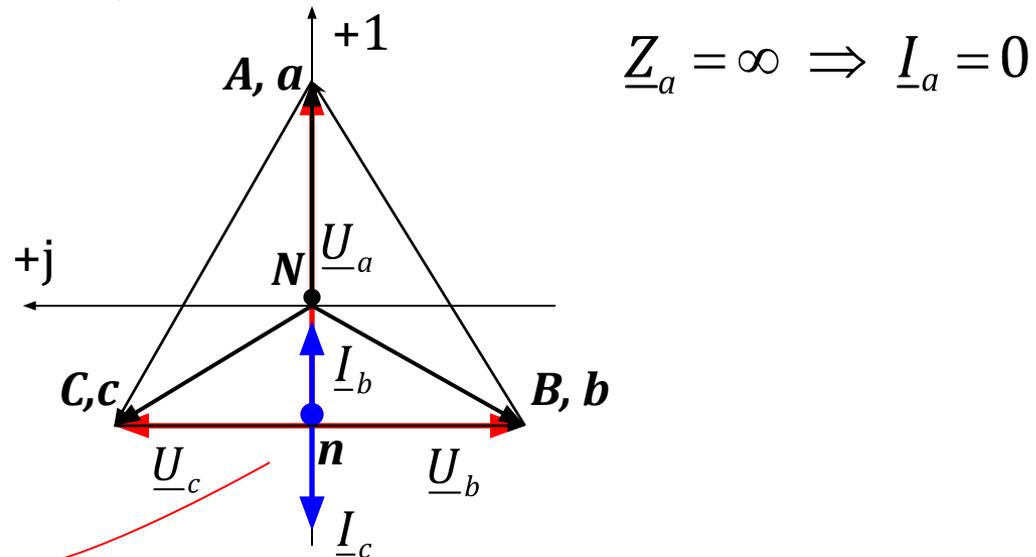
4.7. Мощность трехфазной цепи

§4.5. Анализ трехпроводной трехфазной цепи при соединении приемников «звездой»



§4.5. Анализ трехпроводной трехфазной цепи при соединении приемников «звездой»

- Топографическая диаграмма токов и напряжений при обрыве фазы a в симметричном приемнике, имеющем емкостные сопротивления (черными пунктирными линиями показаны фазные и линейные напряжения в источнике, красными сплошными – фазные напряжения приемника).



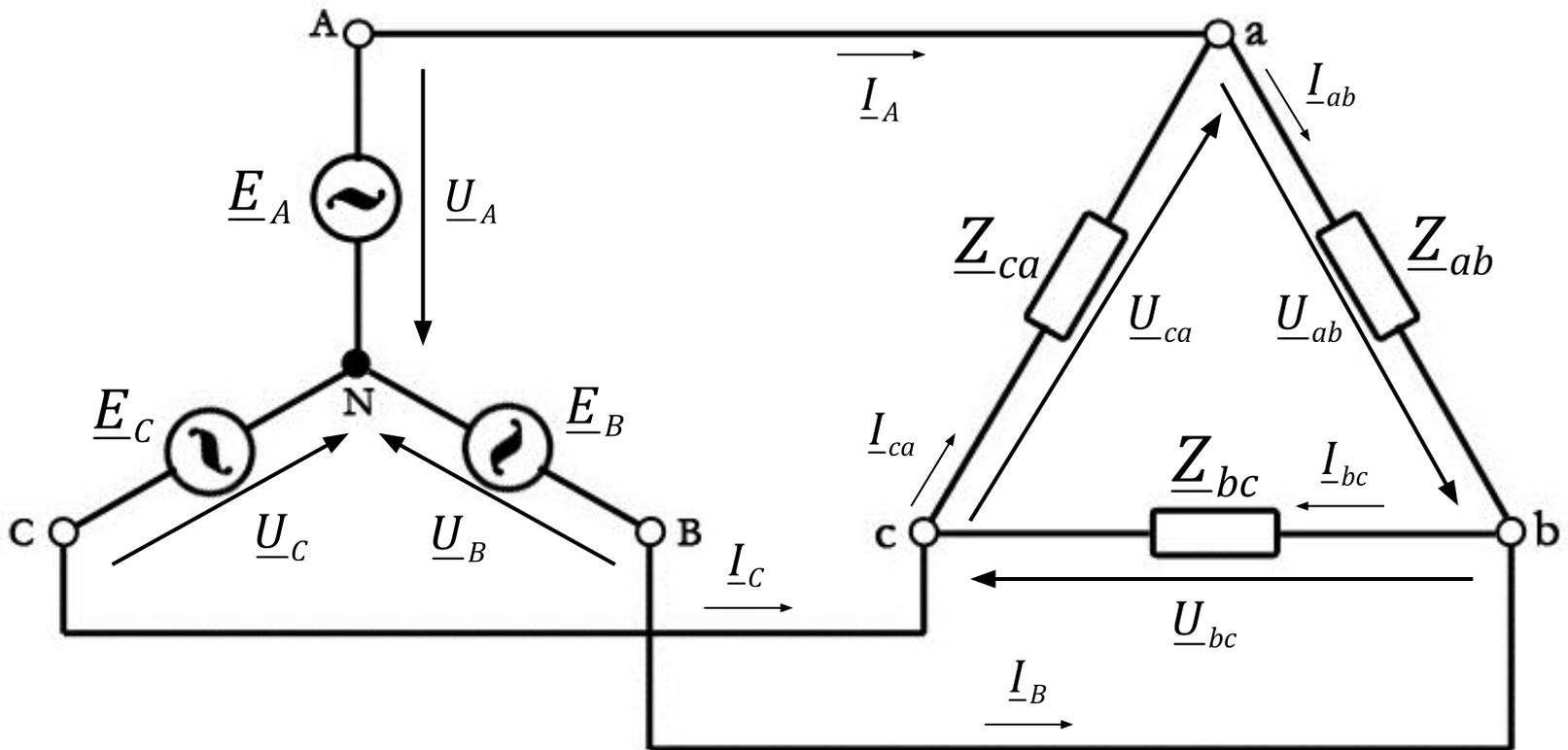
На приемники теперь действует только одно напряжение от источника – линейное напряжение \underline{U}_{bc} .

§4.5. Анализ трехпроводной трехфазной цепи при соединении приемников «звездой»

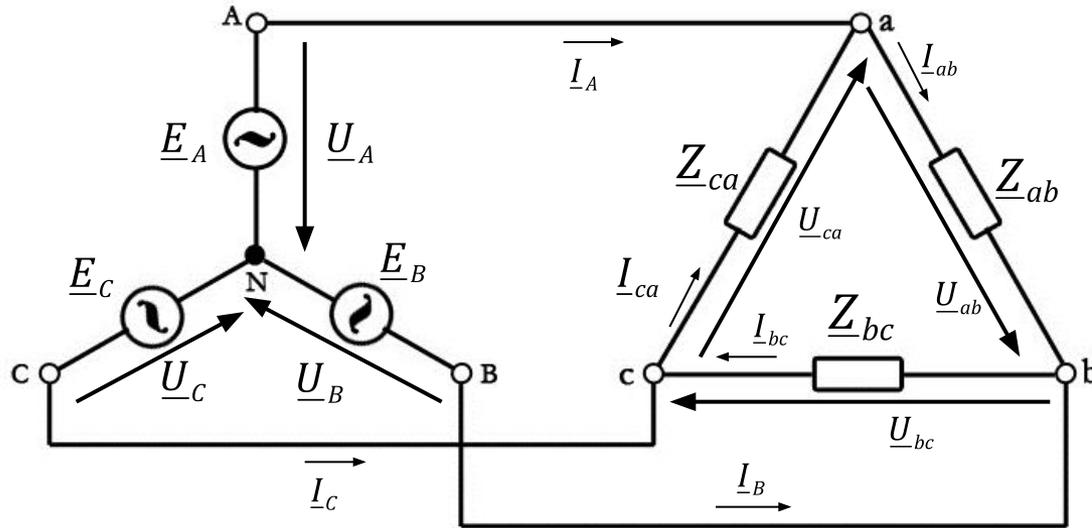
- В трехпроводной «звезде» изменение режима работы одной из фаз влияет на режим работы остальных фаз, так как изменяются фазные напряжения в приемниках.
- Схема соединения трехпроводной «звездой» применяется, как правило, для подключения *симметричной* нагрузки (например, трехфазного асинхронного двигателя).

§4.6. Анализ трехфазной цепи при соединении приемников «треугольником»

- Приемники соединены «треугольником», то есть включены между началами фаз приемника.



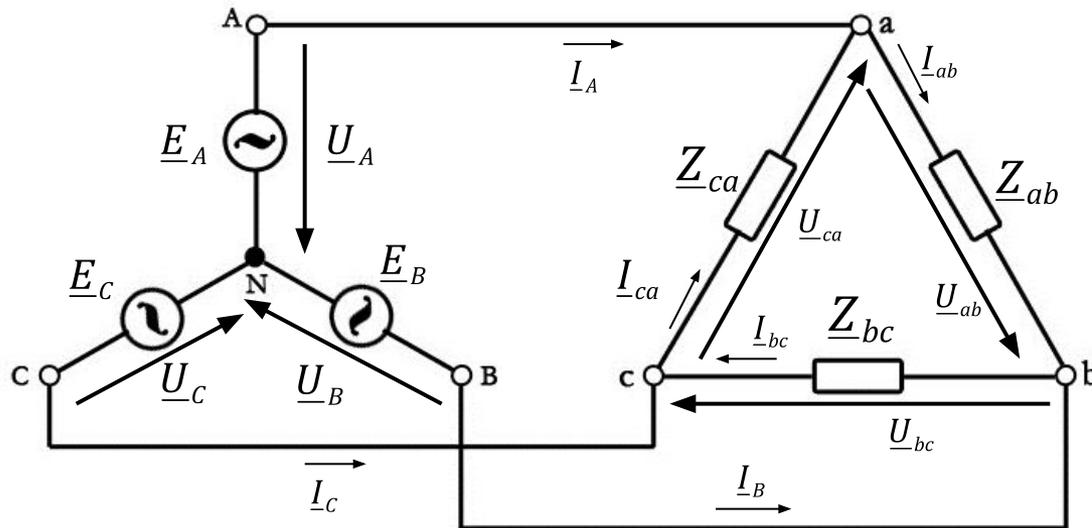
§4.6. Анализ трехфазной цепи при соединении приемников «треугольником»



- При этом фазные напряжения в приемниках будут равны линейным напряжениям источника:

$$\underline{U}_{ab} = \underline{U}_{AB} \quad \underline{U}_{bc} = \underline{U}_{BC} \quad \underline{U}_{ca} = \underline{U}_{CA}$$

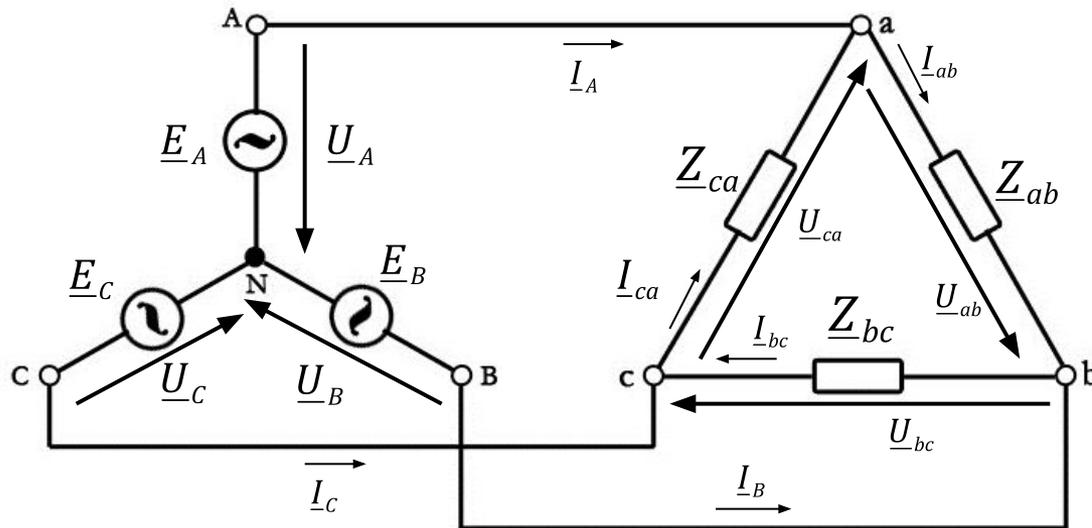
§4.6. Анализ трехфазной цепи при соединении приемников «треугольником»



- Токи в фазах приемника определяются по формулам:

$$\underline{I}_{ab} = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_{ab}} \quad \underline{I}_{bc} = \frac{\underline{U}_{bc}}{\underline{Z}_{bc}} \quad \underline{I}_{ca} = \frac{\underline{U}_{ca}}{\underline{Z}_{ca}}$$

§4.6. Анализ трехфазной цепи при соединении приемников «треугольником»



- Линейные токи можно определить по первому закону Кирхгофа для узлов a , b и c :

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca} \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab} \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}$$

§4.6. Анализ трехфазной цепи при соединении приемников «треугольником»

- Если приемники симметричные ($\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca}$), то фазные токи будут равны между собой по модулю:

$$I_{ab} = I_{bc} = I_{ca}$$

- Фазные токи будут иметь сдвиг в 120° относительно друг друга.
- Тогда линейные токи также будут равны по модулю:

$$I_A = I_B = I_C$$

- Величина линейных токов по модулю:

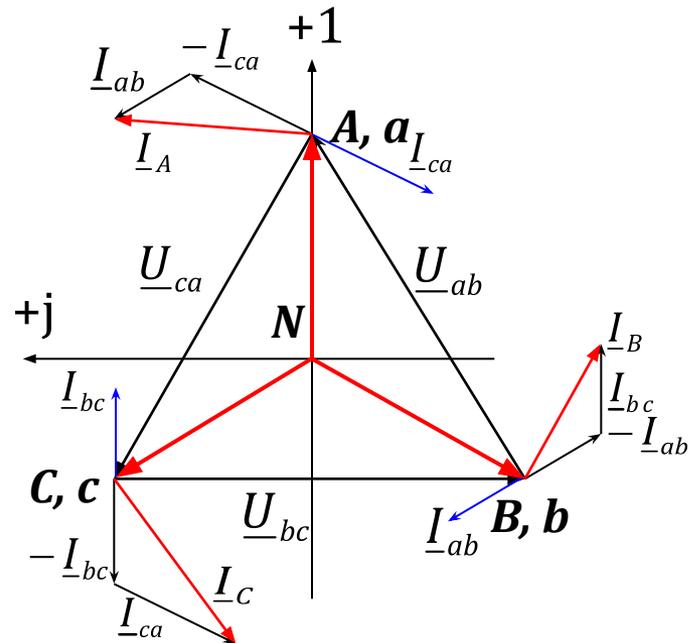
$$I_L = \sqrt{3}I_\Phi$$

§4.6. Анализ трехфазной цепи при соединении приемников «треугольником»

- Важной особенностью трехфазных цепей с соединением фаз приемника «треугольником» является то, что при изменении сопротивления одной из фаз режим работы других фаз останется неизменным, так как линейные напряжения генератора не меняются.
- Изменяться будет ток в данной фазе и линейные токи в соединительных проводах.
- Схема соединения треугольником широко используется для подключения несимметричной нагрузки.

§4.6. Анализ трехфазной цепи при соединении приемников «треугольником»

- Топографическая диаграмма для несимметричных реактивных емкостных приемников:



§4.7. Мощность трехфазных цепей

- Мгновенная мощность трехфазного источника энергии равна сумме мгновенных мощностей всех фаз:

- Среднее за период значение мощности, то есть активная мощность генератора:
$$p = p_A + p_B + p_C = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C$$

- Для трехпроводных цепей можно мгновенную мощность записать с помощью линейных напряжений и токов:
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$$

$$i_A + i_B + i_C = 0 \Rightarrow i_B = -i_A - i_C$$

$$p = u_{AB} i_A + u_{CB} i_C$$

§4.7. Мощность трехфазных цепей

$$p = u_{AB}i_A + u_{CB}i_C$$

- Тогда

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T (u_{AB}i_A + u_{CB}i_C) dt = U_{AB}I_A \cos \alpha + U_{CB}I_C \cos \beta$$

- α и β – углы сдвига фаз векторов линейных токов I_A и I_C относительно соответствующих линейных напряжений U_{AB} и U_{CB} .
- На этом основан метод двух ваттметров для измерения активной мощности в трехпроводной цепи.
- Реактивная мощность трехфазного источника:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C$$

§4.7. Мощность трехфазных цепей

- Активная мощность любой из фаз приемника (например, фазы a):

$$P_a = U_a I_a \cos \varphi_a$$

- Реактивная мощность фазы приемника:

$$Q_a = U_a I_a \sin \varphi_a$$

- Активная мощность трехфазного приемника:

$$P = P_a + P_b + P_c$$

- Реактивная мощность трехфазного приемника:

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c$$

- Полная мощность

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

§4.7. Мощность трехфазных цепей

- Активная мощность симметричного трехфазного приемника

$$P = 3P_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi}$$

- Аналогично выражается и реактивная мощность

$$Q = 3Q_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi_{\phi}$$

- Для линейных значений токов и напряжений:

- активная мощность $P = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi$

- реактивная мощность $Q = \sqrt{3}U_L I_L \sin \varphi$

- полная мощность $S = \sqrt{3}U_L I_L$

Повышение коэффициента мощности

- Большая часть промышленных приемников потребляет из сети активную и индуктивную реактивную энергию. Это приводит к дополнительным потерям. Чтобы этого избежать, стараются уменьшать реактивную мощность.
- Для повышения коэффициента мощности упорядочивают энергетический режим оборудования, используют компенсирующие устройства.
- Компенсирующие устройства являются источниками реактивной емкостной энергии – конденсаторы и синхронные конденсаторы (в сетях большой мощности).

- Коэффициент мощности трехфазных приемников

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}}$$

- где Q_C – реактивная мощность компенсирующих устройств.

5. Магнитные цепи

5.1. Основные определения

5.2. Характеристики ферромагнитных материалов

5.3. Электромагнитные устройства

§5.1. Основные величины и определения

- Электромагнитное поле – это вид материи, характеризующийся совокупностью взаимосвязанных и обуславливающих друг друга электрического и магнитного полей.
- Основные величины, характеризующие магнитное поле – магнитная индукция \vec{B} и напряженность магнитного поля \vec{H} .
- Магнитная индукция определяется по силовому воздействию магнитного поля на ток. Она характеризует направление и интенсивность магнитного поля.

§5.1. Основные величины и определения

- Напряженность в магнитных материалах является характеристикой внешнего магнитного поля. Она является вспомогательной величиной.
- $[B]$ – Тл (Тесла)
- $[H]$ – А/м (Ампер/метр)
- Связь между магнитной индукцией и напряженностью магнитного поля:
$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H} = \mu_a \vec{H}$$
- $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная;
- μ – относительная магнитная проницаемость;
- μ_a – абсолютная магнитная проницаемость.

§5.1. Основные величины и определения

- Магнитный поток Φ через некоторую поверхность S - это поток вектора магнитной индукции через эту поверхность.

$$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S}$$

- В однородном магнитном поле:

$$\Phi = B_n S$$

- B_n - составляющая поля, перпендикулярная к поверхности.
- $[\Phi]$ - Вб (Вебер).

§5.1. Основные величины и определения

- **Закон полного тока** – циркуляция вектора напряженности магнитного поля вдоль любого замкнутого контура равна алгебраической сумме токов, охваченных этим контуром.

$$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = \sum I$$

длина контура

- Таким образом, ток обладает свойством создавать магнитное поле.
- Если контур интегрирования проходит внутри катушки с числом витков w , по которой протекает ток I :

$$\sum I = Iw \Rightarrow \oint_l \vec{H} d\vec{l} = Iw$$

§5.1. Основные величины и определения

- *Магнитной цепью* называется сочетание катушек с током, ферромагнитных тел и воздушных зазоров, через которые замыкается магнитный поток.
- Магнитные цепи, в основном, изготавливаются из магнитомягких материалов.
- Отдельные участки магнитной цепи могут иметь разную длину и сечение.

§5.1. Основные величины и определения

- **Магнитодвижущей силой** (МДС) F_M или намагничивающей силой катушки или обмотки с током называют произведение числа витков катушки w на протекающий по ней ток I .
- МДС вызывает в магнитной цепи магнитный поток подобно тому, как ЭДС вызывает электрический ток в электрической цепи.

$$F_M = Iw$$

- Положительное направление МДС определяется по правилу правого винта (правилу буравчика).
- $[F_M]$ – А (Ампер)

§5.1. Основные величины и определения

- Падением магнитного напряжения U_M между двумя точками магнитной цепи называют интеграл от напряженности магнитного поля между этими точками:

$$U_{M_{ab}} = \int_a^b H dl$$

- Если на исследуемом участке напряженность магнитного поля – величина постоянная, то падение магнитного напряжения:

- где l_{ab} - длина пути между точками a и b .
- $[U_M]$ – А (Ампер)

§5.1. Основные величины и определения

- К магнитным цепям применимы метода анализа, рассмотренные ранее для электрических цепей.
- При этом производится аналогия между электрическими и магнитными цепями.

$$I \leftrightarrow \Phi$$

$$E \leftrightarrow F_M$$

$$U \leftrightarrow U_M$$

- Аналогией электрического сопротивления является магнитное сопротивление

$$R_M = \frac{l_{ab}}{\mu_a S}$$

← длина участка

- $[R_M]$ - 1/Гн (1/Генри)

← площадь поперечного сечения участка

§5.2. Основные характеристики ферромагнитных материалов

- По магнитным свойствам все вещества можно разделить на несколько групп – диамагнитные, парамагнитные, ферромагнитные. Они отличаются величиной относительной магнитной проницаемости.
- У диамагнитных материалов $\mu \approx 1$ ($\mu < 1$). Это, например, вода, стекло, медь.
- Для парамагнитных материалов $\mu \approx 1$ ($\mu > 1$). Это воздух, алюминий, платина.
- Для ферромагнитных материалов $\mu \gg 1$ ($10^4 - 10^6$). Это железо, стали.