

Ответы на вопросы по электротехнике (1-й семестр)

1. Электрический ток: определение, формула

Электрический ток — это направленное движение заряженных частиц (например, электронов в металлах или ионов в электролитах) под действием электрического поля. Ток возникает, когда на заряженные частицы действует сила, создаваемая разностью потенциалов (напряжением). Электрический ток измеряется в амперах (А).

Основная формула для силы тока:

$$I = \frac{q}{t},$$

где I — сила тока (А), q — заряд, прошедший через поперечное сечение проводника (Кл), t — время (с).

Для проводников с постоянным сечением ток можно выразить через плотность тока:

$$I = j \cdot S,$$

где j — плотность тока (А/м²), S — площадь поперечного сечения проводника (м²).

Электрический ток может быть постоянным (не меняющим направления) или переменным (меняющим направление и/или величину со временем). Ток играет ключевую роль в электротехнике, обеспечивая передачу энергии в электрических цепях.

2. Постоянный ток: определение, применение

Постоянный ток (DC) — это электрический ток, который не изменяет своего направления и величины во времени. Его график представляет собой прямую линию, параллельную оси времени. Постоянный ток возникает, например, в цепях с источниками питания, такими как батареи или гальванические элементы.

Применение постоянного тока:

- Электроника: питание микросхем, процессоров, светодиодов.
- Электротранспорт: электромобили, трамваи, метро.
- Гальваника: нанесение металлических покрытий (например, хромирование).
- Зарядка аккумуляторов: в телефонах, ноутбуках, электромобилях.

Преимущества постоянного тока включают стабильность напряжения и отсутствие реактивных потерь, что делает его предпочтительным для низковольтных устройств. Однако для передачи энергии на большие расстояния чаще используется переменный ток из-за возможности трансформации напряжения.

3. Законы Ома (для участка цепи, для замкнутой цепи)

Закон Ома описывает связь между током, напряжением и сопротивлением в электрической цепи.

Для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R},$$

где I — сила тока (А), U — напряжение на участке цепи (В), R — сопротивление участка (Ом). Эта формула справедлива для линейных элементов, где сопротивление не зависит от тока или напряжения.

Для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

где \mathcal{E} — электродвижущая сила (ЭДС) источника (В), R — сопротивление внешней цепи (Ом), r — внутреннее сопротивление источника (Ом). Эта формула учитывает, что часть ЭДС расходуется на преодоление внутреннего сопротивления источника.

Законы Ома являются основой для анализа электрических цепей. Они позволяют рассчитывать параметры цепи, проектировать схемы и предсказывать поведение тока.

4. Законы Кирхгофа

Законы Кирхгофа используются для анализа сложных электрических цепей с несколькими ветвями.

Первый закон Кирхгофа (закон узлов): Сумма токов, втекающих в узел, равна сумме токов, вытекающих из него:

$$\sum I_{\text{вх}} = \sum I_{\text{вых}}.$$

Это следует из закона сохранения заряда: заряд не накапливается в узле.

Второй закон Кирхгофа (закон контуров): Алгебраическая сумма падений напряжений в замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре:

$$\sum U = \sum \mathcal{E}.$$

Падение напряжения рассчитывается как $U = IR$, а знак зависит от направления обхода контура.

Эти законы позволяют составлять системы уравнений для расчета токов и напряжений в разветвленных цепях, например, в электронных схемах или энергосистемах.

5. Электрическая емкость и конденсаторы

Электрическая емкость — это способность проводника или системы проводников накапливать электрический заряд. Емкость измеряется в фарадах (Ф):

$$C = \frac{Q}{U},$$

где C — емкость (Ф), Q — заряд (Кл), U — напряжение (В).

Конденсатор — устройство, состоящее из двух проводящих пластин, разделенных диэлектриком, для накопления заряда. При подключении к источнику напряжения одна пластина заряжается положительно, другая — отрицательно.

Заряд и разряд конденсатора: При подключении к источнику конденсатор заряжается, накапливая энергию в электрическом поле. При отключении или замыкании цепи конденсатор разряжается, отдавая энергию. Процессы описываются экспоненциальными зависимостями.

Виды соединений конденсаторов:

- **Параллельное:** $C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + \dots$ Напряжение одинаково, заряды складываются.
- **Последовательное:** $\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$ Заряд одинаков, напряжения складываются.

Конденсаторы применяются в фильтрах, источниках питания, колебательных контурах.

6. Диэлектрики

Диэлектрики — материалы, плохо проводящие электрический ток из-за отсутствия свободных зарядов (например, стекло, керамика, воздух). Они используются в конденсаторах для увеличения емкости за счет диэлектрической проницаемости ϵ .

Электрическая прочность: Это максимальная напряженность электрического поля, которую диэлектрик выдерживает без пробоя (измеряется в В/м). При превышении этого значения происходит пробой.

Тепловой пробой: Возникает из-за нагрева диэлектрика под действием тока утечки, что снижает его сопротивление и приводит к разрушению.

Электрический пробой: Происходит, когда напряженность поля превышает электрическую прочность, вызывая лавинное образование зарядов и разрушение материала.

Диэлектрики важны для изоляции проводов, повышения емкости конденсаторов и защиты оборудования.

7. Закон полного тока

Закон полного тока гласит, что полный ток, протекающий через замкнутую поверхность, окружающую проводник, равен алгебраической сумме токов проводимости и токов смещения внутри этой поверхности. Для магнитного поля это означает, что магнитодвижущая сила вдоль замкнутого контура пропорциональна полному току.

Формула:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I,$$

где \vec{H} — напряженность магнитного поля, $d\vec{l}$ — элемент контура, $\sum I$ — сумма токов, пронизывающих поверхность.

Направление магнитного поля определяется правилом буравчика: если вращать буравчик в направлении тока, то направление его поступательного движения совпадает с направлением линий магнитного поля. Этот закон применяется для расчета магнитных полей в трансформаторах, электромагнитах и катушках.

8. Закон Ома для магнитной цепи

Закон Ома для магнитной цепи аналогичен закону Ома для электрической цепи и описывает связь между магнитным потоком, магнитодвижущей силой (МДС) и магнитным сопротивлением:

$$\Phi = \frac{F}{R_m},$$

где Φ — магнитный поток (Вб), F — магнитодвижущая сила (А), R_m — магнитное сопротивление (А/Вб).

Магнитодвижущая сила определяется как:

$$F = N \cdot I,$$

где N — число витков катушки, I — сила тока (А).

Магнитное сопротивление:

$$R_m = \frac{l}{\mu S},$$

где l — длина магнитной цепи (м), μ — магнитная проницаемость материала, S — площадь поперечного сечения (м²).

Закон используется для проектирования магнитных цепей в трансформаторах, электродвигателях и реле.

9. Механические силы в магнитном поле

В магнитном поле на проводник с током или магнит действуют механические силы, обусловленные взаимодействием магнитных полей. Основная формула для силы, действующей на проводник с током:

$$F = I \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

где F — сила (Н), I — ток (А), l — длина проводника (м), B — магнитная индукция (Тл), α — угол между проводником и линиями поля.

Направление силы определяется правилом левой руки: если пальцы указывают в направлении тока, а магнитные линии входят в ладонь, то большой палец покажет направление силы.

Эти силы используются в электродвигателях (вращение ротора), громкоговорителях (вибрация мембраны) и измерительных приборах (отклонение стрелки).

10. Электромагнитная индукция

Электромагнитная индукция — явление возникновения ЭДС в проводнике при изменении магнитного потока через него. Открыто Майклом Фараде-ем. Основной закон:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt},$$

где \mathcal{E} — индукционная ЭДС (В), Φ — магнитный поток (Вб), t — время (с). Знак минус отражает закон Ленца: индукционный ток противодействует изменению магнитного потока.

Магнитный поток:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha,$$

где B — магнитная индукция, S — площадь контура, α — угол между нор-малью к контуру и линиями поля.

Применение: генераторы, трансформаторы, индукционные датчики.

11. Индуктивность: определение, формула

Индуктивность — это способность катушки или проводника создавать маг-нитный поток при протекании тока, вызывая самоиндукцию. Единица из-мерения — генри (Гн).

Формула:

$$L = \frac{\Phi}{I},$$

где L — индуктивность (Гн), Φ — магнитный поток (Вб), I — ток (А).

ЭДС самоиндукции:

$$\mathcal{E}_L = -L \frac{dI}{dt}.$$

Заряд и разряд катушки: При включении тока катушка накапливает энер-гию в магнитном поле, ток нарастает экспоненциально. При отключении ток спадает, выделяя энергию. Катушки применяются в фильтрах, транс-форматорах, электромагнитах.

12. Взаимная индукция и индуктивность

Взаимная индукция — явление возникновения ЭДС в одной катушке при изменении тока в другой, расположенной рядом. Коэффициент взаимной индукции M определяется как:

$$M = \frac{\Phi_{12}}{I_1},$$

где Φ_{12} — магнитный поток через вторую катушку, созданный током I_1 в первой.

ЭДС взаимной индукции:

$$\mathcal{E}_2 = -M \frac{dI_1}{dt}.$$

Взаимная индукция лежит в основе работы трансформаторов, где энергия передается от первичной обмотки ко вторичной. Коэффициент M зависит от числа витков, магнитной проницаемости и геометрии катушек.

13. Переменный ток: определение, формула, способы получения

Переменный ток (АС) — это ток, изменяющий направление и/или величину со временем, чаще всего синусоидально:

$$I = I_m \sin(\omega t + \varphi),$$

где I_m — амплитуда тока, ω — угловая частота, t — время, φ — начальная фаза.

Напряжение переменного тока:

$$U = U_m \sin(\omega t + \varphi).$$

Способы получения:

- Генераторы: вращение проводника в магнитном поле (электростанции).
- Инверторы: преобразование постоянного тока в переменный.
- Осцилляторы: электронные схемы для высокочастотного тока.

Переменный ток широко используется в энергетике из-за возможности трансформации напряжения, что минимизирует потери при передаче.

14. Закон Ома для цепей с активной нагрузкой

Для цепей переменного тока с активной нагрузкой (например, резистором) закон Ома записывается как:

$$I = \frac{U}{R},$$

где I — действующее значение тока (А), U — действующее значение напряжения (В), R — активное сопротивление (Ом).

Векторное изображение: Ток и напряжение в активной нагрузке совпадают по фазе, поэтому их векторы на комплексной плоскости направлены одинаково. Полное сопротивление:

$$Z = R.$$

Мощность в активной нагрузке:

$$P = U \cdot I = I^2 R.$$

Активная нагрузка преобразует электрическую энергию в тепло или свет (лампы, нагреватели).

15. Закон Ома для цепей с индуктивной нагрузкой

Для цепей с индуктивной нагрузкой (катушкой) ток отстает от напряжения на угол $\pi/2$. Полное сопротивление:

$$Z = j \cdot X_L,$$

где $X_L = \omega L$ — индуктивное сопротивление (Ом), ω — угловая частота, L — индуктивность (Гн), j — мнимая единица.

Закон Ома:

$$I = \frac{U}{jX_L}.$$

Векторное изображение: Вектор напряжения опережает вектор тока на 90° . Мощность в индуктивной нагрузке реактивная, не выполняет полезной работы, а запасается в магнитном поле.

Применение: электродвигатели, трансформаторы.

16. Закон Ома для цепей с емкостной нагрузкой

Для цепей с емкостной нагрузкой (конденсатором) ток опережает напряжение на угол $\pi/2$. Полное сопротивление:

$$Z = -j \cdot X_C,$$

где $X_C = \frac{1}{\omega C}$ — емкостное сопротивление (Ом), C — емкость (Ф).

Закон Ома:

$$I = \frac{U}{-jX_C}.$$

Векторное изображение: Вектор тока опережает вектор напряжения на 90° . Мощность реактивная, запасается в электрическом поле конденсатора.

Применение: фильтры, коррекция коэффициента мощности.

17. Колебательный контур

Колебательный контур — это электрическая цепь, состоящая из катушки индуктивности L и конденсатора C , способная поддерживать незатухающие или затухающие колебания. Частота собственных колебаний:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Закон Ома для колебательного контура: При резонансе (когда $\omega L = \frac{1}{\omega C}$) полное сопротивление минимально и равно активному сопротивлению:

$$Z = R.$$

Энергия в контуре переходит между магнитным полем катушки и электрическим полем конденсатора. Применяется в радиоприемниках, передатчиках, фильтрах.

18. Активная, реактивная и полная мощности

Активная мощность:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi,$$

где P — активная мощность (Вт), $\cos \varphi$ — коэффициент мощности. Преобразуется в полезную работу (тепло, свет).

Реактивная мощность:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi,$$

где Q — реактивная мощность (вар). Запасается в индуктивных или емкостных элементах, не выполняет работы.

Полная мощность:

$$S = U \cdot I,$$

где S — полная мощность (ВА). Связь:

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

Эти параметры важны для расчета энергопотребления и проектирования энергосистем.

19. Треугольники активных и реактивных токов, треугольник проводимостей

Треугольник токов: Полный ток в цепи переменного тока раскладывается на активную ($I_a = I \cos \varphi$) и реактивную ($I_r = I \sin \varphi$) составляющие. Геометрически:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}.$$

Треугольник проводимостей: Полная проводимость Y цепи состоит из активной (G) и реактивной (B) проводимостей:

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2},$$

где $G = \frac{R}{R^2 + X^2}$, $B = \frac{-X}{R^2 + X^2}$, X — реактивное сопротивление.

Эти треугольники используются для анализа цепей переменного тока.

20. Резонанс токов

Резонанс токов (параллельный резонанс) возникает в параллельной цепи с индуктивностью и емкостью, когда реактивные сопротивления компенсируют друг друга:

$$X_L = X_C, \quad \omega L = \frac{1}{\omega C}.$$

Частота резонанса:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

При резонансе полный ток минимален, а сопротивление цепи максимально. Применяется в фильтрах и радиотехнике для выделения сигналов определенной частоты.

21. Резонанс напряжений

Резонанс напряжений (последовательный резонанс) происходит в последовательной цепи, когда:

$$X_L = X_C, \quad \omega L = \frac{1}{\omega C}.$$

Частота резонанса та же:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

При резонансе полное сопротивление минимально ($Z = R$), а ток и напряжения на элементах максимальны. Используется в радиоприемниках и усилителях.

22. Коэффициент мощности

Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) — это отношение активной мощности к полной мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}.$$

Он показывает, какая часть полной мощности используется для полезной работы. Значения от 0 до 1. Низкий $\cos \varphi$ увеличивает потери в сети, поэтому применяют коррекцию (например, подключением конденсаторов). Используется для оптимизации энергосистем.