Лекция 5. Однофазный переменный ток

5.1. Получение переменного тока

Переменный ток — ток, периодически изменяющийся по величине и направлению. Получается с помощью генератора, в котором рамка вращается в магнитном поле. По закону Фарадея в рамке наводится ЭДС, изменяющаяся по синусоидальному закону.

$$e(t) = E_m \times \sin(\omega t), \text{ где } E_m \text{ — амплитуда, } \omega \text{ — угловая частота [рад/с]}$$

Частота f — число периодов в секунду. В России — 50 Гц. Угловая частота: $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 314$ рад/с. Период $T = 1/f = 0{,}02$ с.

5.2. Мгновенные, амплитудные и действующие значения

- Мгновенное значение — значение в данный момент времени: i(t), u(t), e(t).
- Амплитудное (максимальное) — I_m, U_m, E_m.
- Действующее (эффективное) — такое значение постоянного тока, которое за то же время выделяет в проводнике столько же тепла:

$$I = I_m / \sqrt{2} \approx 0{,}707 \times I_m; \quad U = U_m / \sqrt{2}$$

⚠ 220 В в розетке — это действующее значение. Амплитудное: $U_m = 220 \times \sqrt{2} \approx 311$ В. Все приборы (кроме импульсных) показывают действующие значения.

5.3. Цепь с активным сопротивлением

Активное сопротивление R — сопротивление, на котором электрическая энергия преобразуется в тепло (нагреватели, лампы накаливания). Ток и напряжение совпадают по фазе.

$$I = U / R; \quad P = U \times I = I^2 \times R \text{ (активная мощность, Вт)}$$

Векторная диаграмма: векторы тока и напряжения направлены в одну сторону (угол $\varphi = 0$).

5.4. Цепь с индуктивностью

Идеальная катушка индуктивности L не имеет активного сопротивления. Ток отстаёт от напряжения на 90° ($\pi/2$). Индуктивное сопротивление:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \quad [\text{Ом}]$$

На индуктивности не расходуется активная мощность — энергия запасается в магнитном поле и возвращается в сеть. Реактивная (индуктивная) мощность:

$$Q_L = U \times I = I^2 \times X_L \quad [\text{вар}]$$

5.5. Цепь с ёмкостью

Конденсатор C пропускает переменный ток (заряжается и разряжается). Ток опережает напряжение на 90°. Ёмкостное сопротивление:

$$X_C = 1 / (\omega C) = 1 / (2\pi f C) \quad [\text{Ом}]$$

Реактивная (ёмкостная) мощность:

$$Q_C = U \times I = I^2 \times X_C \quad [\text{вар}]$$

5.6. Неразветвлённая цепь R, L, C

Полное сопротивление (импеданс) цепи:

$$Z = \sqrt{(R^2 + (X_L - X_C)^2)} \quad [Ом]$$

Угол сдвига фаз между током и напряжением:

$$\varphi = arctg((X_L - X_C) / R)$$

Полная мощность:

$$S = U \times I = \sqrt{(P^2 + Q^2)} \quad [ВА]$$

Активная мощность:

$$P = U \times I \times \cos \varphi \quad [Вт]$$

Реактивная мощность:

$$Q = U \times I \times \sin \varphi \quad [вар]$$

5.7. Коэффициент мощности (cos φ)

cos φ — отношение активной мощности к полной. Чем ближе к 1, тем эффективнее используется электроэнергия. При cos φ < 1 часть мощности — реактивная, «бесполезно» загружает сеть.

- cos φ = 1 — чисто активная нагрузка (нагреватель)
- cos φ < 1 — есть реактивная составляющая (двигатель, трансформатор на холостом ходу)
- Повышение cos φ: установка конденсаторных батарей параллельно индуктивной нагрузке

5.8. Резонанс в цепи переменного тока

Резонанс напряжений (при последовательном соединении) наступает, когда X_L = X_C. При этом Z = R (минимально), ток максимален, напряжения на L и C могут превышать напряжение сети в Q раз (добротность).

Резонанс токов (при параллельном соединении) — ток в неразветвлённой части минимален, токи в ветвях L и C могут превышать общий ток.

5.9. Практика электромонтёра

- Напряжение 220 В — действующее, амплитудное ≈ 311 В. Изоляция должна выдерживать амплитудное.
- Компенсация реактивной мощности конденсаторами — стандарт на предприятиях с большим числом двигателей.
- Резонанс может вызвать перенапряжения — это учитывают при проектировании.
- Частота 50 Гц — стандарт сети России. Отклонение частоты говорит о нарушении баланса генерации и потребления.