§ 20. АКТИВНИЙ, ЄМНІСНИЙ ТА ІНДУКТИВНИЙ ОПОРИ В КОЛІ ЗМІННОГО СТРУМУ

Миттєві значення напруги та сили змінного струму безперервно змінюються — періодично перетворюються на нуль, періодично досягають максимуму. Чому ж тоді ми кажемо, наприклад: «Сила струму в спіралі електричної лампи 0,27 А», «Напруга на нагрівальному елементі праски 220 В»? З'ясуємо, про які значення напруги та сили змінного струму йдеться.

1 Який опір називають активним

Вивчаючи постійний струм, ви дізналися, що всі провідники (за винятком надпровідників) *мають електричний опір*. Провідники чинять опір і змінному струмові, однак, на відміну від кіл постійного струму, в колах змінного струму існують різні види опорів, які можна поділити на дві групи — *активні опори* і *реактивні опори*.

Елемент електричного кола має **активний опір** R, якщо під час проходження в цьому елементі струму частина електричної енергії витрачається на нагрівання: $Q = I^2Rt$.

Будь-який елемент електричного кола як постійного, так і змінного струму (з'єднувальні проводи, нагрівальні елементи, обмотки двигунів, генераторів тощо) має активний опір (ми називаємо його просто опір).

Нехай електричне коло (рис. 20.1, *а*) складається зі з'єднувальних проводів; навантаження з малою індуктивністю і значним активним опором R; джерела змінного струму, напруга на виході якого змінюється за гармонічним законом:

$$u(t) = U_{\max} \sin \omega t .$$

Згідно із законом Ома сила струму в колі теж змінюється гармонічно:

$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = \frac{U_{\max} \sin \omega t}{R} = I_{\max} \sin \omega t , \text{ де } I_{\max} = \frac{U_{\max}}{R} .$$

В елементах електричного кола, що мають тільки активний опір, коливання сили струму і напруги збігаються за фазою (рис. 20.1, *б*).

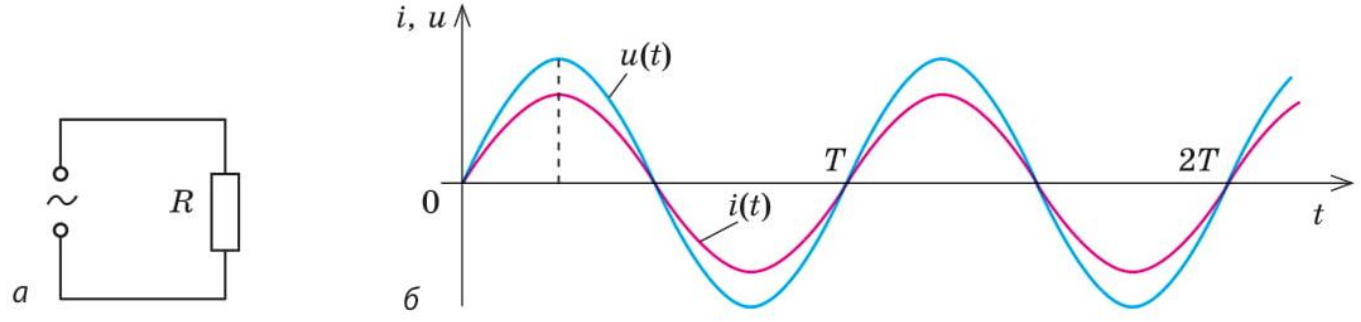


Рис. 20.1. Активний опір у колі змінного струму: *а* — електрична схема кола; *б* — графіки залежностей від часу сили струму $i(t)$ і напруги $u(t)$. Сила струму і напруга одночасно досягають максимальних значень і одночасно стають рівними нулю

2 Як визначити діючі значення сили струму і напруги

Оцінювати дію змінного струму за миттєвим значенням сили струму незручно — це значення безперервно змінюється. Не можна для цього використати й середнє значення, оскільки середнє за період значення сили струму дорівнює нулю (див. рис. 20.1, *б*). Дію змінного струму прийнято оцінювати за *діючим (ефективним) значенням сили струму*.

Припустимо, що ми маємо дві однакові лампи опором R кожна. Одну з ламп приєднали до джерела постійного струму, другу — до джерела змінного струму (рис. 20.2). Пересуваючи повзунок реостата, слід домогтися, щоб яскравість світіння обох ламп була однаковою. Це означає, що *середнє значення потужності змінного струму дорівнює потужності постійного струму*: $p_{\text{сер}} = P$.

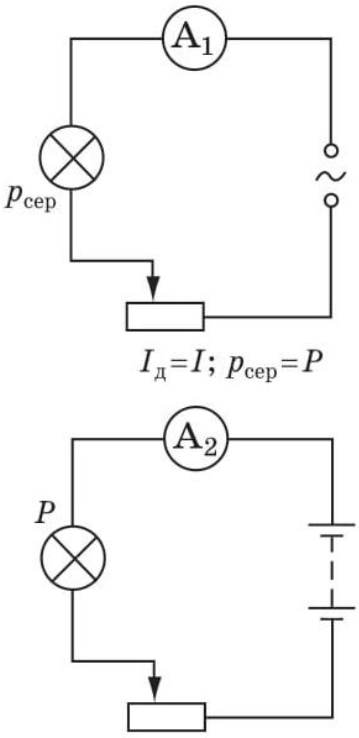


Рис. 20.2. До введення поняття «діюче значення сили струму»

Діюче значення сили змінного струму $I_д$ дорівнює силі такого постійного струму I, за якого в тому самому активному опорі виділяється потужність P, що дорівнює середній потужності $p_{\text{сер}}$ змінного струму: якщо $I_д = I$, то $p_{\text{сер}} = P$.

Потужність постійного струму, яку споживає лампа активним опором R, можна обчислити за формулою: $P = I^2R$.

Знайдемо середнє значення потужності змінного струму. На нескінченно малому інтервалі часу силу струму можна вважати незмінною, тому миттєву потужність також можна обчислити за формулою: $p = i^2R$, де $i = I_{\max} \sin \omega t$ — миттєве значення сили струму. Звідси:

$$p = I_{\max}^2 R \sin^2 \omega t = I_{\max}^2 R \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} = \frac{I_{\max}^2 R}{2} - \frac{I_{\max}^2 R}{2} \cos 2\omega t.$$

Із графіка залежності миттєвої потужності змінного струму від часу (рис. 20.3) бачимо, що середнє за період значення потужності дорівнює:

$$p_{\text{сер}} = \frac{I_{\max}^2 R}{2}.$$

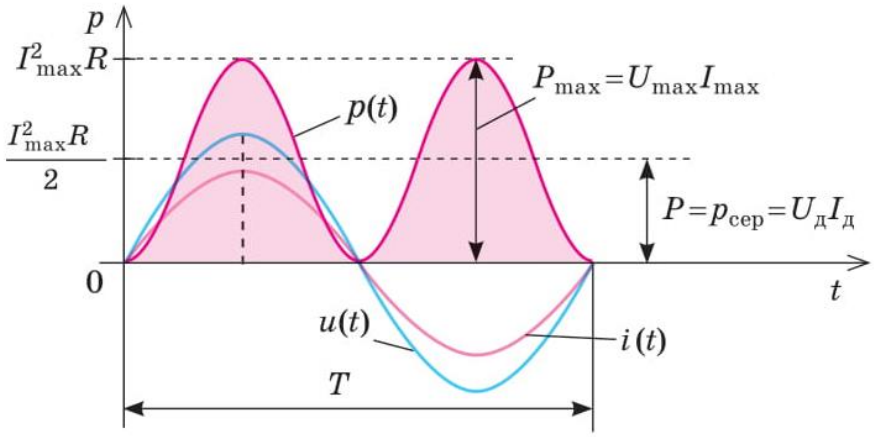


Рис. 20.3. Активний опір у колі змінного струму: графік $p(t)$ — графік залежності потужності (активної) від часу

Зверніть увагу!

■ Якщо коло змінного струму містить тільки активний опір або якщо реактивний опір кола дорівнює нулю, то кількість теплоти Q, що виділяється під час проходження струму, роботу A і потужність P змінного струму розраховують за відповідними формулами для постійного струму:

$$Q = I_д^2 R t\,,\quad A = U_д I_д t\,,$$

$$P = U_д I_д\,,$$

де $I_д$ і $U_д$ — діючі значення сили струму і напруги.

■ Якщо реактивний опір кола не дорівнює нулю, то сила струму і напруга не збігаються за фазою (мають певний зсув фаз φ). У такому випадку роботу і потужність змінного струму визначають за формулами:

$$A = U_д I_д t \cos\varphi\,;$$

$$P = U_д I_д \cos\varphi\,,$$

де $\cos\varphi = R/Z$ — коефіцієнт потужності, R і Z — активний і повний опори кола відповідно.

Оскільки $P = p_{сер}$, маємо: $I^2 R = \dfrac{I_{max}^2 R}{2}$.

Звідси *діюче значення сили змінного струму* дорівнює:

$$I_д = I = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}.$$

Аналогічно *діюче значення змінної напруги* дорівнює:

$$U_д = U = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}.$$

На практиці для характеристики параметрів змінного струму використовують саме діючі значення сили струму і напруги. Наприклад, коли кажуть, що напруга в мережі змінного струму становить 220 В, а сила струму в колі — 25 А, це означає, що діюче значення напруги в мережі — 220 В, а діюче значення сили струму — 25 А. Амперметри і вольтметри змінного струму вимірюють саме діючі значення сили струму і напруги.

3 Реактивний опір у колі змінного струму

Конденсатор і котушка індуктивності, введені в коло змінного струму, чинять додатковий опір струмові. Цей опір називають *реактивним*, оскільки на його долання не витрачається енергія джерела живлення. Чверть періоду котушка або конденсатор забирають енергію від джерела, наступну чверть періоду вони повертають енергію джерелу.

Види реактивного опору

Індуктивний опір провідника X_L — фізична величина, яка характеризує опір провідника електричному струмові, викликаний дією ЕРС самоіндукції:

$$X_L = \omega L\,,$$

де ω — циклічна частота змінного струму; L — індуктивність провідника.

Ємнісний опір X_C — фізична величина, яка характеризує здатність конденсатора протидіяти змінному струмові:

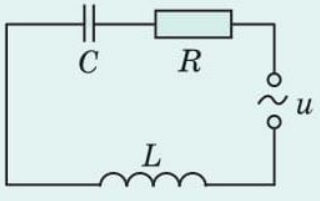
$$X_C = \frac{1}{\omega C}\,,$$

де ω — циклічна частота змінного струму; C — ємність конденсатора.

Повний опір кола, яке містить активний, індуктивний і ємнісний опори, обчислюють за формулою:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}\,.$$

Різницю $\omega L - \dfrac{1}{\omega C}$ називають **реактивним опором**.



Підбиваємо підсумки

- Елемент електричного кола має активний опір R, якщо під час проходження в цьому елементі електричного струму частина електричної енергії витрачається на нагрівання: $Q = I^2Rt$.
- Якщо електричне коло має тільки активний опір R, а напруга на виході джерела струму змінюється за гармонічним законом $u = U_{max}\sin\omega t$, то сила струму в колі теж змінюється за гармонічним законом: $i = I_{max}\sin\omega t$, де $I_{max} = \frac{U_{max}}{R}$. При цьому коливання сили струму і напруги збігаються за фазою.
- Оцінювати дію змінного струму прийнято за діючими (ефективними) значеннями сили струму і напруги: $I_д = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$; $U_д = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$.

Контрольні запитання

1. Які основні види опорів існують у колах змінного струму? Наведіть їх означення. **2.** Як пов'язані сила струму і напруга в колі з активним опором? **3.** Що називають діючим значенням сили струму? **4.** Як розрахувати діючі значення сили струму й напруги? **5.** Наведіть формулу для розрахунку індуктивного опору. Від яких чинників він залежить? **6.** Дайте означення ємнісного опору. Від яких чинників він залежить? **7.** Чому дорівнює повний опір кола?

Вправа № 20

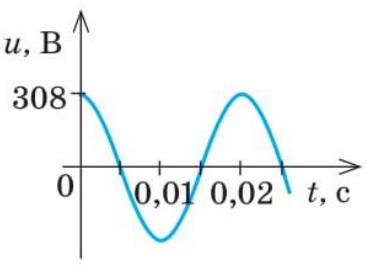
1. В освітлювальному колі змінного струму застосовують напругу 220 В.
а) Яким є показ вольтметра, приєднаного до цього кола?
б) Якого максимального значення сягає напруга в колі?

2. Котушка індуктивністю 20 мГн увімкнена в коло змінного струму частотою 50 Гц. Визначте індуктивний опір котушки.

3. На ділянці кола з активним опором 900 Ом сила струму змінюється за законом $i = 0{,}5\sin 100\pi t$ (А). Визначте: а) діючі значення сили струму й напруги; б) потужність, яка виділяється на ділянці; в) напругу, на яку має бути розрахована ізоляція проводів. Запишіть рівняння залежності $u(t)$.

4. Конденсатор ємністю 1 мкФ увімкнений в коло змінного струму із частотою 50 Гц. Визначте силу струму на ділянці кола з конденсатором, якщо опір підвідних проводів цієї ділянки становить 5 Ом, а напруга на ділянці — 12 В.

5. На рисунку наведено графік залежності напруги в мережі від часу. За який час закипить вода в чайнику, що містить 1,5 л води, якщо опір нагрівального елемента чайника 20 Ом, ККД чайника 72 %, початкова температура води 20 °С, питома теплоємність води 4200 Дж/кг·°С?



6. Як відомо, конденсатор являє собою два провідники, розділені шаром діелектрика. Саме тому конденсатор, увімкнений у коло постійного струму, фактично розриває коло і струму в колі немає. Дізнайтеся, чому ж тоді ми розглядаємо змінний струм у колі з конденсатором.