

¹ старший викладач кафедри фізики ДВНЗ «ДДПУ»² студент 4 курсу фізико-математичного факультету ДВНЗ «ДДПУ»

e-mail: sypchuk_egor@ukr.net

СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ СТРУМОМ І НАПРУГОЮ НА РЕАКТИВНОМУ НАВАНТАЖЕННІ У КОЛІ ЗМІННОГО СТРУМУ

Стаття присвячена дослідженню актуальності демонстрації фазових співвідношень між струмом і напругою під час ємнісного та індуктивного навантаження при вивченні змінного струму у курсі фізики середніх учбових закладів. Розглянуто можливості визначення та демонстрації фазових співвідношень. Запропонована схема заміщення генератора змінного струму, яка містить найпростіші фізичні прилади та дає змогу наочно показати результати демонстрації.

Ключові слова: змінний струм, ємнісний опір, індуктивний опір, активний опір, генератор, осцилограф, зсув фаз.

Вступ

Фізика, як навчальний предмет посідає одне із провідних місць у вирішенні комплексних завдань навчання та сприяє формуванню у молоді сучасних наукових уявлень про навколишній світ, формує і розвиває науковий стиль мислення, суттєво поліпшує практичну спрямованість навчання. Тема «Основи електродинаміки» займає важливе місце в курсі фізики. Від рівня засвоєння теми залежить її подальше розуміння при подальшому вивченні, в 10 або 11 класі, в залежності від вибору профілю вивчення матеріалу.

Аналізуючи підручники та посібники і наявність обладнання кабінетів фізики з теми «Змінний електричний струм» для закладів середньої освіти можна зауважити, що навчання може бути удосконалене. При вивченні змінного струму у колі з активним та реактивним опорами традиційно застосовують двопробеневий осцилограф.

Основна частина

На рис. 1 (нижче), складовими якого, крім генератора змінного струму (на виході якого напруга U змінюється за законом:

$$U = U_0 \sin \omega t,$$

де U_0 — амплітуда, ω — циклічна частота, t — час), є послідовно з'єднані резистор R (активний опір), індуктивність L та ємність C , маємо:

$$V \neq V_R + V_L + V_C,$$

де V_R, V_L, V_C — спади напруги на резисторі R , котушці індуктивності L , ємності C відповідно (активним опором обмотки електричної котушки знехтувано $R_K = 0$).

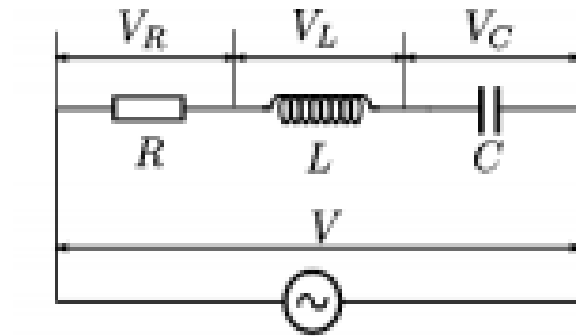


Рис. 1: Електричне коло змінного струму

На ньому аналізують електричне коло в якому до послідовно з'єднаних резистора R , котушки індуктивності L і конденсатора C підключено генератор змінного струму. Зміни струму в колі відбуваються за законом:

$$I = I_0 \sin \omega t,$$

де I_0 — амплітуда коливань струму, ω — циклічна частота. Напругу U_R на елементах такого кола зі струмом I у ньому та зарядом q на ємності C пов'язує:

- на резисторі R закон Ома $U = I \cdot R$;
- на індуктивності L співвідношення

$$U_L = L \frac{dl}{dt},$$

де $\frac{dl}{dt}$ — зміна струму на ній;

- на ємності C співвідношення $U = \frac{q}{C}$.

Відповідно до цього

миттєве значення напруги U_R на резисторі співпадає за фазою зі струмом

$$U_R = I_0 R \sin \omega t,$$

на індуктивності фаза напруги випереджуватиме фазу струму на $\frac{\pi}{2}$:

$$U = \frac{1}{C} \int I_0 \sin \omega t dt$$

або

$$U_C = \frac{1}{\omega C} I_0 \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

Результуючу напругу U , яка дорівнює сумі спадів напруг

$$U = U_R + U_L + U_C$$

або

$$U = RI_0 \sin \omega t + \omega LI_0 \left(\sin \omega t + \frac{\pi}{2} \right) + \frac{1}{\omega C} I_0 \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

можна додати графічно, як це показано на рис. 2.

Звідси випливає вираз, який називають законом Ома для кола змінного струму:

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}} = \frac{U_0}{Z}, \quad I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2}},$$

де $X_C = \frac{1}{\omega C}$ — ємнісний опір, $X_L = \omega L$ — індуктивний опір.

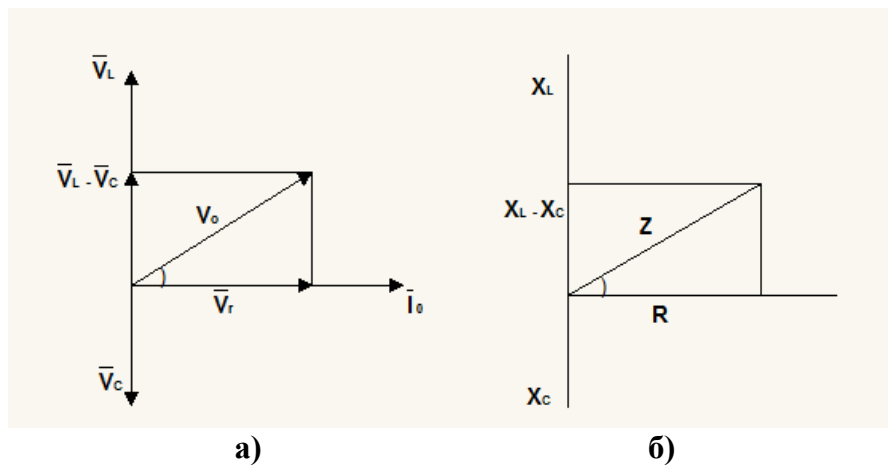


Рис. 2: Співвідношення між фазовим кутом φ :

- а) струмом I_0 , напругами U_0 , напругами на елементах кола U_{0R} , U_{0L} , U_{0C} та результуючою U_0 ;
- б) активним опором R , реактивними опором X_L і X_C та імпедансом Z .

Вказані співвідношення можна бачити на рис. 2. Для демонстрації фазових співвідношень між струмом і напругою традиційно використовують двопробеневий осцилограф. Першим променем керує напруга активного навантаження (співпадає зі струмом), другим променем керує напруга одного з реактивних опорів. Метою нашої роботи є демонстрація зсуву фаз між струмом і напругою на активному та реактивному опорах без двопробеневого осцилографа та доповнення навчального матеріалу. Замінімо його двома демонстраційними мікроамперметрами.

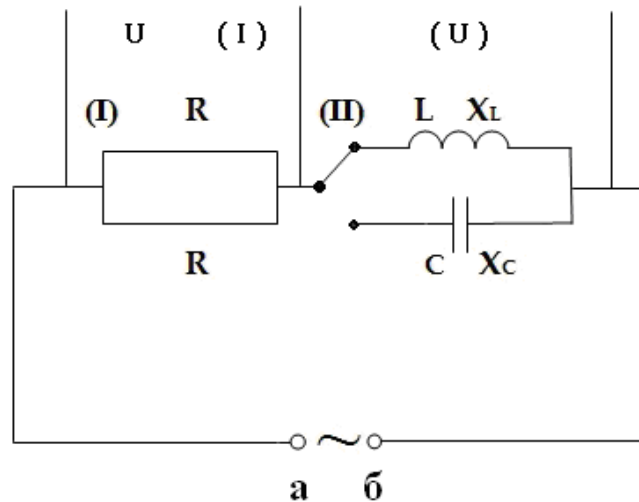


Рис. 3: Принципова схема установки: - генератор змінного струму; R – резистор; L – котушка індуктивності; C – ємність

Джерело змінного струму з частотою 50 Гц заміняємо новим генератором низької частоти (такою, при якій інертність стрілок не буде проявлятися). Генератором є потенціометр з додатковими контактами від середини обмотки. При цьому на крайні клеми подається постійний струм, а на вхід системи подається напруга знята з повзунка реостата та середньої точки. В залежності від положення повзунка на вхід нашого електричного ланцюга буде подаватися різний за напрямом струм. А в залежності від частоти зсувів повзунка відносно середньої точки, буде змінюватися полярність.

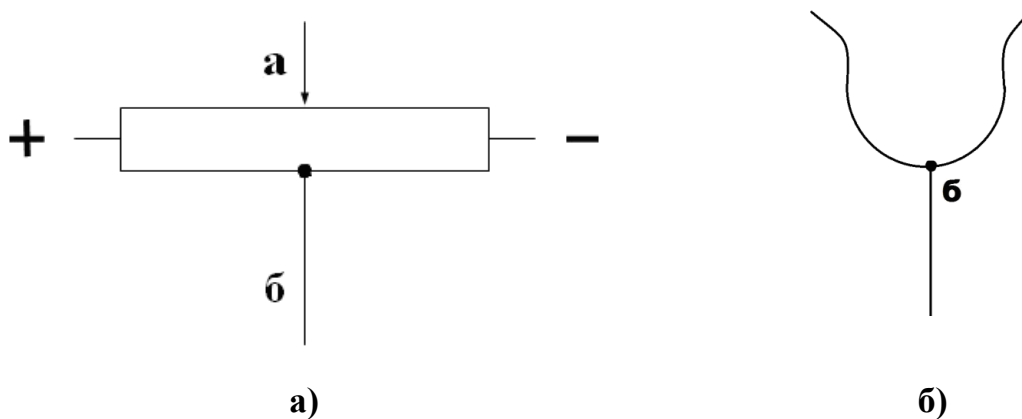


Рис. 4: а, б. Додатковий вихід з обмоток потенціометра

На перший мікроамперметр подається напруга з активного опору (він демонструватиме зміну струму). На другий мікроамперметр подаємо напругу з реактивного опору (він демонструватиме зміну напруги).

Миттєве значення напруги U_L на індуктивності L (рис. 5), випереджує струм I за фазою на $\frac{\pi}{2}$.

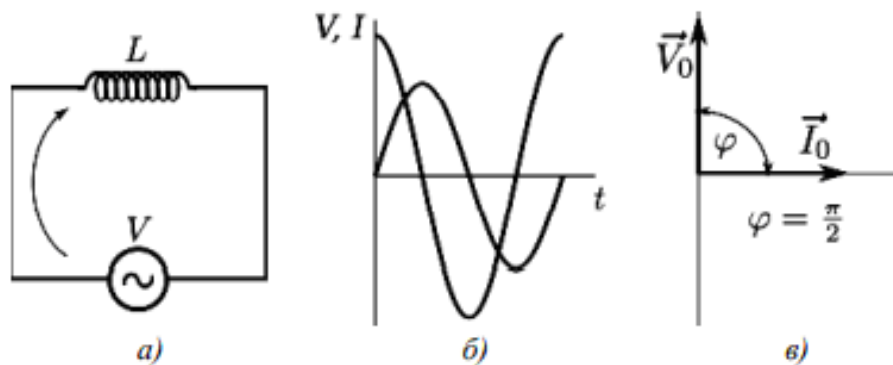


Рис. 5:

- а) генератор змінного струму приєднано до індуктивності;
- б) графіки струму I напруги в індуктивності;
- в) векторне подання коливань струму та напруги.

Стрілка, яка показує струм буде відставати від стрілки, яка демонструє напругу на індуктивності. Тоді як на ємності, (рис. 6), навпаки, миттєве значення напруги U_C на ємності C відстає від струму I за фазою на $\frac{\pi}{2}$.

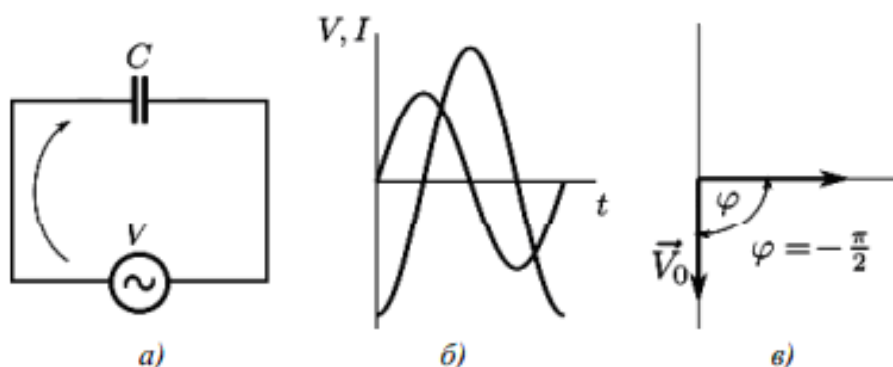


Рис. 6:

- а) генератор змінного струму приєднано до конденсатора;
- б) графіки струму і напруги в конденсаторі;
- в) векторне подання коливань струму та напруги

Стрілка, яка показує струм випереджає стрілку, яка керується напругою на ємнісному навантаженні. (Прилади встановлені один за одним і шкали віддалені). Вчителям фізики можна запропонувати цю роботу, або її варіант, в якому мікроамперметри замінюються ліхтариками, а генератор низьких частот на шкільний генератор ГНЧШ.

Висновки

Тема «Змінний струм» і методика викладання сприяє поглибленню знань учнів з цієї важливої теми, формуванню навичок практичного застосування даної теми.

Дана робота може бути застосована при викладанні фізики в закладах середньої освіти, зокрема при демонстраціях особливостей змінного струму у ланцюгах з активним та реактивним навантаженнями (у школах майже відсутні двопробеневі осцилографи). Матеріал цієї теми сприяє активізації пізнавальної і розумової діяльності учнів, підвищує їхній інтерес і успішність у навчанні, сприяє свідомому вибору майбутньої професії.

Література

1. Бар'яхтяр В.Г., Довгий С.О., Божинова Ф.Я. Фізика 8 клас Підручник. В.Г. Бар'яхтяр, С.О. Довгий, Ф.Я. Божинова. — вид. «Ранок», 2016. — 240 с.
2. Коршак Є. В. Фізика, 8 кл : підручник [для загальноосвітніх навчальних закладів] / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко — [2-ге видання, перероб. та доп.]. — К.: Генеза, 2008. — 208 с.
3. Ландсберг Г.С. (Ред.). Елементарний підручник фізики. Том 2. Електрика і магнетизм, навч. посібник. — М.: ФІЗМАТЛІТ, 1985. — 486 с.
4. МОН України. — Нова українська школа: [Електрон. ресурс]. — Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/tag/novaukrainska-shkola>
5. Орищин Ю.М. Теорія і практика вдосконалення курсу загальної фізики засобами сучасного навчального експерименту : автореф. дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.02 / Ю.М. Орищин. — К., 2006. — 40 с.

Beloshapka O., Syrchuk Ye.

Donbas State Pedagogical University, Slovians'k, Ukraine.

Relationship between the current and stress on reactive loading in the variable current

The article is devoted to the study of the relevance of the demonstration of phase correlations between current and voltage during the new and inductive loading in the school course. The possibilities of definition of phase relations with the help of various devices that are in the property of secondary education are considered. The actual scheme of replacement of an alternating current generator, which contains the simplest physical devices and allows to visualize the results of the demonstration, is proposed.

Keywords: *alternating current, amperage resistance, inductive resistance, active resistance, generator, oscilloscope, phase shift.*