

Міністерство освіти та науки України  
Національна металургійна академія України

Теорія та методика  
навчання математики,  
фізики, інформатики

*Збірник наукових праць  
Випуск V*

Том 2

Кривий Ріг  
Видавничий відділ НМетАУ  
2005

## ВИВЧЕННЯ ФАЗОВИХ СПІВВІДНОШЕНЬ В КОЛАХ ЗМІННОГО СТРУМУ

В.П. Ржепецький<sup>1</sup>, О.І. Сурмило<sup>2</sup>

<sup>1</sup> м. Кривий Ріг, Криворізький державний педагогічний університет

<sup>2</sup> м. Кривий Ріг, Криворізький обласний ліцей-інтернат для сільської молоді

Засвоєння значної кількості понять шкільного курсу фізики неможливе без використання демонстраційного експерименту. До таких понять належить і поняття фази коливань, з яким учні зустрічаються під час вивчення розділу “Колівання і хвилі” в 11 класі.

Вперше це поняття з’являється при вивченні механічних коливань. Аналізуючи формулу гармонічного коливного руху матеріальної точки  $x=A \cos(\omega t + \varphi_0)$ , ми даємо таке визначення фази: вираз, що стоїть в дужках під знаком косинуса, називається фазою коливань. Далі уточнюємо, що фаза визначає положення коливної точки в певний момент часу, і що важливим елементом при порівнянні двох коливань є різниця їх фаз. З допомогою двох математичних маятників рівної довжини легко показати коливання з однаковими фазами, з протилежними фазами, з різницею фаз, рівною  $\pi/2$ .

Але при вивченні електромагнітних коливань аналогічні демонстрації виконати значно складніше. Більшість авторів [1, 2] орієнтуються на використання осцилографів, доповнених комутаторами, та на використання спеціально виготовлених технічних засобів [3]. Такий підхід вимагає, крім наявності необхідного обладнання, ще й високої кваліфікації виконавця. Окрім того, підготовка демонстрацій потребує значних затрат часу.

На наш погляд, забезпечити демонстраційну підтримку теми можна, використавши для демонстрацій генератор низькочастотних коливань, що генерує коливання з частотами  $0,5 \div 1$  Гц. Для цього можна використати будь – який промисловий генератор, що містить вказаний діапазон частот (наприклад, ГЗ-118), або скористатись саморобним приладом – генератором повільних коливань (ГПК). Схема такого генератора (рис. 1) була запропонована ще в 70-х роках Є.В. Коршаком [4]. Генератор простий у виготовленні і ефективний у використанні. В установку входять деталі, які є практично в кожній школі:  $L$  – дросельна котушка на замкнутому осерді від шкільного універсального трансформатора (котушка коливального контуру);  $C$  – електролітичний конденсатор ємністю 2000 мкФ з робочою напругою 12 В і більше (конденсатор коливального контуру); низькочастотний транзистор середньої потужності (типу П 201А); резистор  $R$  опором

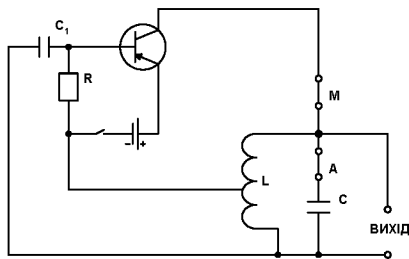


Рис. 1

$3 \div 10$  кОм. Зворотній зв'язок здійснюється через конденсатор  $C_1$  ємністю  $500 \div 1000$  мкФ. Клеми А та М використовуються для вмикання амперметра під час вивчення роботи власне генератора. Живлення генератора здійснюється від нестабілізованого випрямляча, що забезпечує напругу  $5 \div 9$  В. Для зручності користування генератор змонтований на панелі, яка кріпиться безпосередньо на дросельну котушку. Монтажна схема відповідає принциповій, що полегшує розуміння учнями принципу роботи генератора.

Спостерігають за роботою генератора, приєднавши до його виходу демонстраційний вольтметр з додатковим опором на 5 В і шкалою гальванометра. Перед початком демонстрацій стрілку вольтметра коректором встановлюють на нульову поділку шкали. В нижче описаних демонстраціях використовується і демонстраційний амперметр теж зі шкалою гальванометра і саморобним шунтом. За коливаннями стрілок приладів зручніше спостерігати, коли відхилення стрілок однакові. Використання стандартного набору шунтів і додаткових опорів не задовольняло цю умову, а використання реостатів робило демонстраційну установку невиправдано громіздкою і незручною в користуванні. В ході відпрацювання демонстрацій було знайдено вдаль, на наш погляд, рішення цієї проблеми. Ми пропонуємо виготовити зі змінних резисторів шунти до амперметра і додаткові опори до вольтметра, які мають стандартні кріплення. З їх допомогою можна плавно і в широких межах змінювати чутливість приладів і забезпечувати швидку і зручну настройку демонстраційної установки. В схемі на рис. 2:  $R$  – резистор з опором  $400 \div 600$  Ом,  $R_\delta$  – змінний резистор від 3 до 10 кОм,  $R_{ш}$  – змінний резистор на 100 Ом.

З допомогою ГПК можна виконати цілий ряд демонстрацій, які ілюструють фазові співвідношення в колах змінного струму.

### Співпадання фаз між струмом і напругою в колі з активним опором

Складемо електричне коло за схемою (рис. 2). Схему зображаємо на дошці і пояснюємо учням призначення окремих її елементів. Відрегулювавши відхилення стрілок, звертаємо увагу, що стрілки обох вимірювальних приладів коливаються синхронно, а це свідчить про відсутність зсуву фаз між напругою і силою струму в колі змінного струму з активним опором.

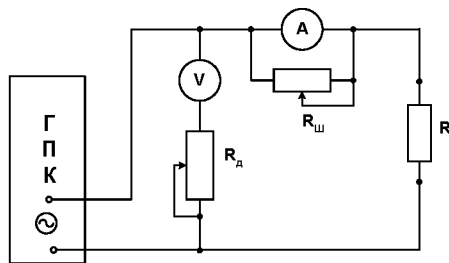


Рис. 2.

### Демонстрація зсуву фаз в колі з конденсатором

Замінімо в попередній схемі резистор на конденсатор ємністю 500 мкФ

(рис. 3). Регулюємо відхилення стрілок приладів і спостерігаємо, що в колі з ємністю коливання сили струму і напруги не співпадають за фазою. Оцінку різниці фаз виконуємо слідуючим чином. В моменти, коли стрілка вольтметра перебуває в положенні максимального відхилення, подаємо звуковий сигнал (з допомогою найпростішого звукового генератора або просто постукуванням). Учнів просимо в цей час спостерігати за коливанням стрілки амперметра. Добре видно, що в момент подачі сигналу стрілка амперметра перебуває поблизу нульової поділки. Отже, в колі з ємнісним опором різниця фаз між струмом і напругою дорівнює  $\pi/2$ . Пояснюємо, що в колі з конденсатором струм випереджає напругу на  $\pi/2$ .

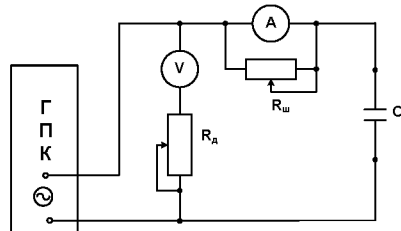


Рис. 3.

### Демонстрація зсуву фаз в колі з котушкою

Замінімо тепер конденсатор дросельною котушкою на замкненому осерді від універсального трансформатора (рис. 4). Підбираємо чутливість амперметра та вольтметра і бачимо, що в колі з індуктивністю коливання сили струму відстають за фазою від напруги теж приблизно на  $\pi/2$ .

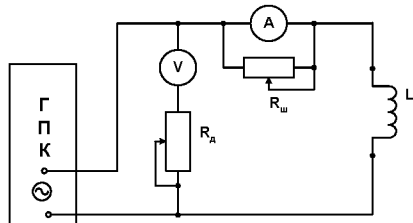


Рис. 4.

Закінчити цю серію дослідів можна демонстрацією співвідношення між фазами коливань напруги на конденсаторі і на котушці в колі з послідовним з'єднанням ємності та індуктивності (рис. 5). Для цього треба використати ще один демонстраційний вольтметр зі змінним резистором в якості додаткового опору. Коливання стрілок приладів свідчать про те, що фази коливань напруги на конденсаторі і котушці протилежні, тобто зсув фаз дорівнює  $\pi$ .

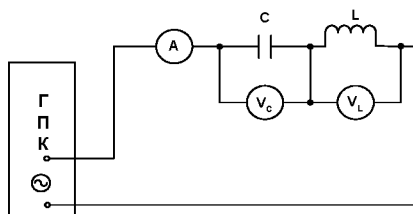


Рис. 5.

Після описаних демонстрацій учні краще розуміють закон Ома для кола змінного струму та явища резонансу.

При вивченні закону Ома доцільно спочатку вивчити коло, що складається з активного опору і конденсатора (рис. 6). Як джерело змінного струму можна використати мережу кабінету напругою 42 В, або з допомогою автотрансформатора знизити напругу побутової мережі до 50 В. В якості

резистора зручно використати лампочку розжарення на 36÷42 В; світіння лампочки свідчатиме про наявність струму в колі. Конденсатор  $C$  – це батарея конденсаторів на 58 мкФ. Ємність батареї слід вибрати такою, щоб розжарення лампочки було неповним.

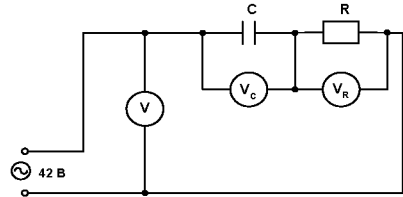


Рис. 6.

Вимірювати напругу необхідно електронним вольтметром з великим входним опором, наприклад, мультіметром типу DT830. Вимірявши напруги  $U$ ,  $U_R$  та  $U_C$ , вказуємо, що в колі змінного струму  $U \neq U_R + U_C$ . Використавши векторну діаграму напруг, переконуємо в справедливості рівності  $U^2 = U_R^2 + U_C^2$ . Аналогічний дослід з активним опором і котушкою менш переконливий, оскільки сама котушка має активний опір, сумірний з опором  $R$ .

Резонанс напруг демонструємо з допомогою установки, схема якої зображена на рис. 7. При використанні стандартного магазину конденсаторів індуктивність котушки повинна бути рівною  $\approx 0,5$  Гн. Таку індуктивність має котушка на 220 В від розбірного трансформатора, якщо осердя в неї вставити так, щоб воно не було замкнуте. Резонанс має місце при значенні ємності  $20 \div 30$  мкФ, про що свідчить яскраве свічення лампочки. Для одержання кількісних результатів слід, як і в попередньому досліді, використовувати електронний вольтметр.

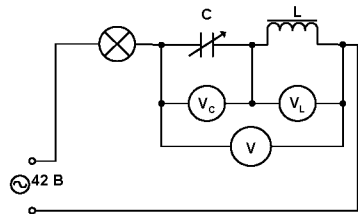


Рис. 7.

#### Література:

1. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе: пособие для учителей / Под ред. А.А. Покровского. – 3-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1979. – Ч. 2. Колебания и волны. Оптика. Физика атома.
2. Калаптурівський В., Скриль С. Новий демонстраційний експеримент для вивчення кіл змінного струму // Фізика та астрономія в шк. – 1999. – №3. – С. 42 – 44.
3. Молотков Н.Я. Изучение колебаний на основе современного эксперимента: Пособие для учителей. – Киев: Рад. шк., 1988.
4. Коршак Є.В. і ін. Повільні електричні коливання // Радянська школа. – 1969. – №12.