

ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ

к.ф.-м.н., ст. викл.

Пилипенко О.В.

Постійний і змінний струм

- Будь-який з цих струмів створюється електромагнітним полем, що змушує рухатися вільні електрони в металах або інших провідниках. Але при постійному вони весь час летять в одну сторону, а змінний струм смикає їх туди-сюди.
- **Постійний струм**, джерелами якого, як правило, є акумулятори, гальванічні елементи (електричні батарейки різних видів), сонячні батареї, термопари. Він знаходить широке застосування в бортових мережах автомобільного та повітряного транспорту, електронних схемах комп'ютерів, систем автоматики, радіо і телеапаратури. Постійним струмом запитані контактні мережі залізниць, він забезпечує роботу енергетичних установок ряду кораблів і суден.
- **Змінний струм**. Більше 90% всієї електроенергії, яка генерується для потреб людства, виробляється генераторами змінного струму. Настільки широке поширення пояснюється тим, що змінний струм, на відміну від постійного, має здатність передаватися на великі відстані, а трансформаторні підстанції змінювати величини його напруги до необхідних значень, без відчутних втрат.

Потужність в електричному полі постійного струму можна подати як:

$$P = UI; P = I^2R; \text{ або } P = \frac{U^2}{R},$$

де I – струм в колі; U – спад напруги на опорі R .

Активна потужність в однофазному електричному колі змінного струму визначається як середнє значення потужності за період T :

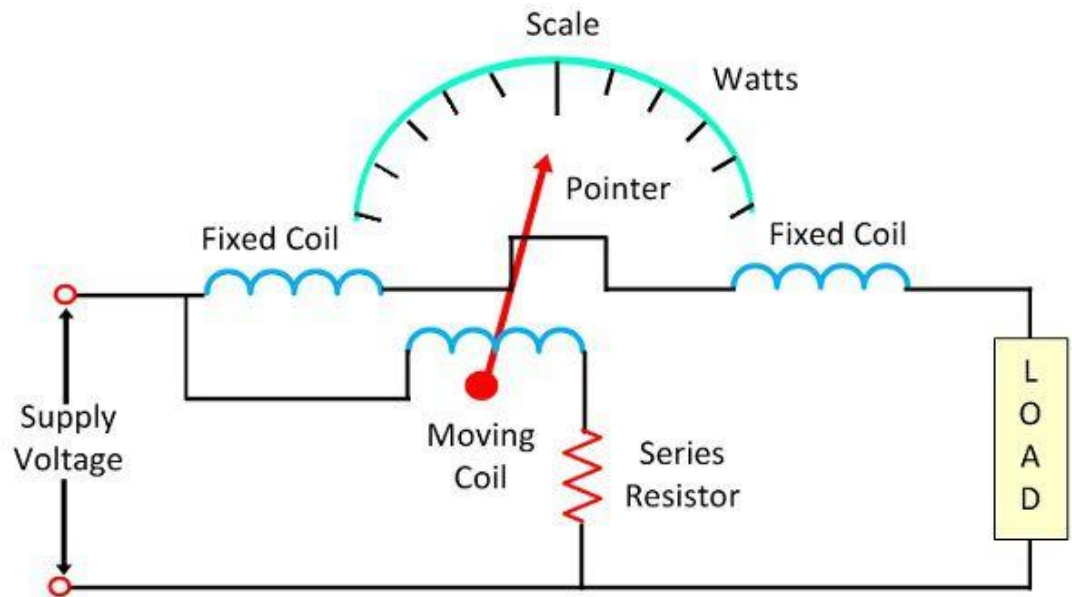
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt,$$

де u , i та p – відповідно, миттєві значення напруги, струму та потужності.

У випадку, коли струм та напруга є синусними функціями часу, активна потужність визначається як

$$P = UI \cos \varphi.$$

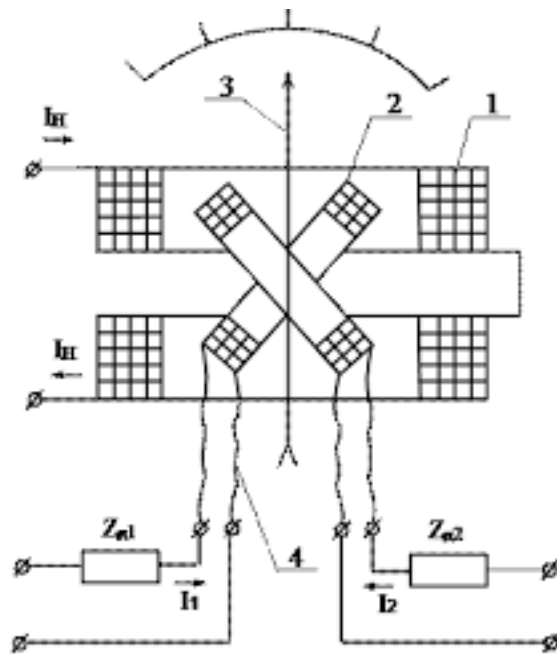
Множник $\cos \varphi$ називають коефіцієнтом потужності, а добуток $UI = S$ – повною потужністю (при чисто активному навантаженні, тобто при $\cos \varphi = 1$).



Electrodynamic Wattmeter

Circuit Globe

- Електродинамометр Wattmeter має дві котушки; нерухомої і рухомої котушки. Фіксована котушка з'єднується послідовно з контуром, в якому вимірюється споживання енергії. Напряга живлення відноситься до рухомої котушки. Резистор керує струмом по рухомій котушці і з'єднаний з ним послідовно. Показчик фіксується на рухомій котушці, яка розміщена між нерухомими котушками. Струм і напруга нерухомої і рухомої котушки генерують два магнітні поля. А взаємодія цих двох магнітних полів відхиляє показчик інструменту. Відхилення показчика прямо пропорційно потужності, що протікають через неї.



- *Феродинамічний ватметр* (як і електродинамічний) складається з двох котушок: нерухомої і рухомої. Нерухома котушка феродинамічного ватметра, на відміну від електродинамічного, наноситься на феромагнітний магніто-провід. Таким чином, створюється радіальне магнітне поле в зазорі, в якому розміщено рухому котушку. Рушійний момент створюється взаємодією магнітних полів рухомої і нерухомої котушок.
- У феродинамічному ватметрі, порівняно з електродинамічним, значно більший обертальний момент і значно менший вплив зовнішніх магнітних полів. Поряд з цим, феродинамічний ватметр має більшу похибку від нелінійності і більші втрати енергії.

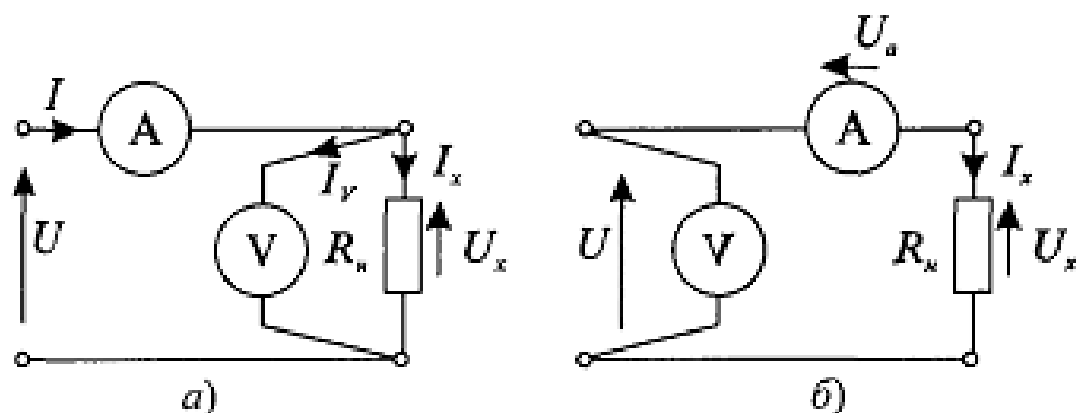


Рис. 12.1. Схеми вимірювання потужності в колах постійного струму за допомогою амперметра і вольтметра

Потужність в колі постійного струму можна також визначити опосередковано, вимірюючи струм та напругу (рис. 12.1):

$$P = U \times I,$$

де U та I – покази вольтметра і амперметра, відповідно.

Для схеми (рис. 12.1,а) маємо: $U = U_x$

$$I = I_x + I_V, \text{ звідки } P_1 = U \times (I_x + I_V) = P_X + P_V,$$

де $P_X = U \times I_x$ – значення вимірюваної потужності, $P_V = U \times I_V$ – потужність, яку споживає вольтметр.

Відповідно для схеми (рис. 12.1,б) маємо:

$$I = I_x, U = U_x + U_a,$$

звідки

$$P_2 = I \times (U_x + U_a) = P_X + P_a$$

Вимірювання активної та реактивної потужності в мережах трифазного змінного струму

Будь-яка трифазна чотирипровідна мережа може розглядатись як поєднання трьох однофазних мереж зі спільним (нульовим) проводом. Вимірювання активної потужності такої мережі може здійснюватись вимірюванням активної потужності кожної з фаз щодо нульового проводу за допомогою трьох однофазних ватметрів.

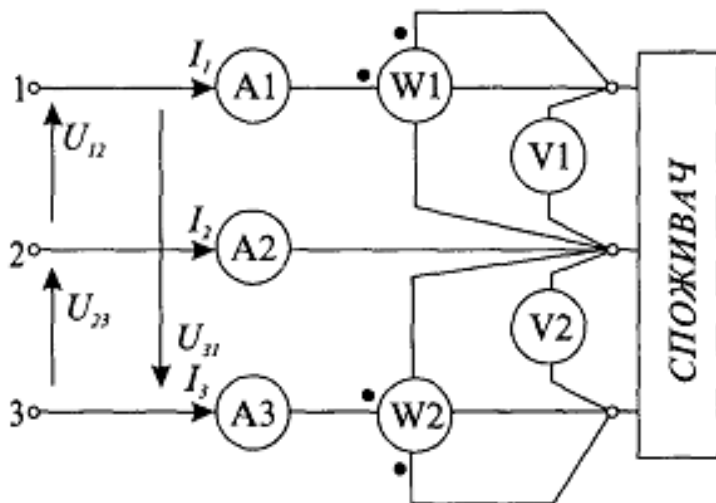


Рис. 12.4. Схема вимірювання активної потужності трифазного споживача

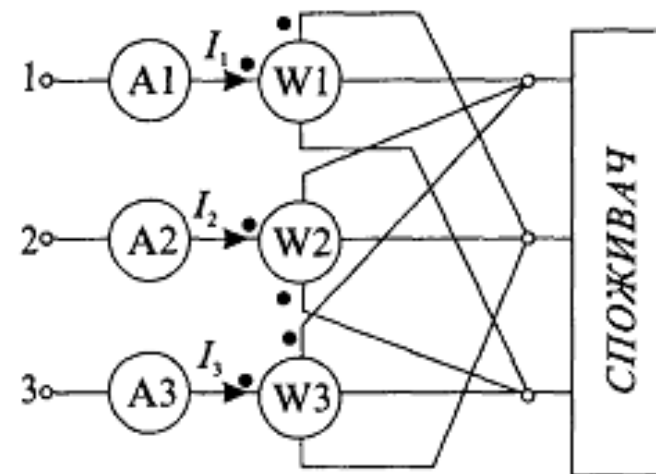


Рис. 12.5. Схема вимірювань реактивної потужності трифазного споживача

Вимірювання енергії

Для вимірювань та обліку енергії постійного струму застосовують електродинамічні та феродинамічні лічильники електричної енергії. Вони будуються на базі вимірювачів активної потужності з подальшим інтегруванням їх вихідного сигналу за

виразом $W = \int_{t_1}^{t_2} P dt$ (тут $t_2 - t_1$ – інтервал часу, протягом якого вимірюється енергія). В

окремих випадках, коли основним показником технологічного процесу є кількість спожитих ампер-годин або вольт-годин (в гальванічних ваннах під час зарядження акумуляторів і т.д.) застосовують лічильники ампер-годин або вольт-годин.

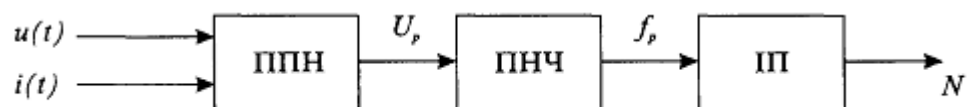


Рис. 12.7. Структурна схема електронного лічильника електричної енергії

Лічильник виконується на базі первинного перетворювача потужності ППН в напругу $U_p = k_p P$. А оскільки одним з найзручніших варіантів інтегрування напруги є її проміжне перетворення в частоту, в схемі передбачений перетворювач напруги в частоту ПНЧ і подальше інтегрування частоти f_p (підрахунок імпульсів) за допомогою інтегрувального пристрою ІП. Вихідний код N і буде пропорційний спожитій енергії за відповідний проміжок часу. Здебільшого як інтегрувальний пристрій використовують мікропроцесор.

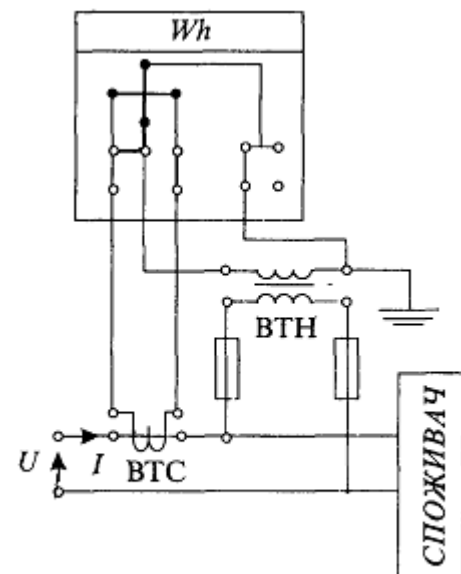


Рис. 12.6. Схема ввімкнення однофазного лічильника

Вимірювання показників якості електроенергії в електричних мережах

- Розрізняють основні і додаткові показники якості електроенергії. До
- основних показників якості електроенергії, що визначає властивості
- електричної енергії, які характеризують її якість, відносяться:
 - 1) відхилення напруги (δU , %); 15
 - 2) розмах зміни напруги (δU_t , %);
 - 3) доза коливань напруги (ψ , %);
 - 4) коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги ($k_{нсU}$, %);
 - 5) коефіцієнт n-й гармонійної складової напруги непарного (парного) порядку ($k_U(n)$, %);
 - 6) коефіцієнт зворотної послідовності напруги (k_{2U} , %);
 - 7) коефіцієнт нульової послідовності напруг (k_{0U} , %);
 - 8) тривалість провалу напруги ($\Delta t_{пр}$, с);
 - 9) імпульсна напруга ($U_{імп}$, кВ);
 - 10) відхилення частоти (Δf , Гц).
- Додаткові показники якості електроенергії, що представляють собою
- форми записи основних показників якості електроенергії та
- використовувані в інших нормативно-технічних документах:
 - 1) коефіцієнт амплітудної модуляції напруги ($k_{мод}$);
 - 2) коефіцієнт небалансу міжфазних напруг ($k_{неб.м}$);
 - 3) коефіцієнт небалансу фазних напруг ($k_{неб.ф}$).

Вимірювання частоти

Широкий діапазон частот електричних сигналів від часток герца до десятків гігагерц, різні вимоги до точності їх вимірювання зумовили велику різноманітність методів вимірювання частоти.

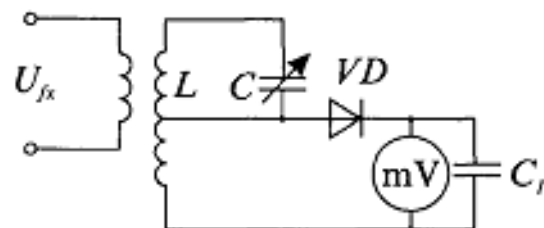


Рис. 12.14. Схема резонансного частотоміра

Найвищу точність вимірювання в діапазоні від часток герца до сотень мегагерц забезпечують цифрові частотоміри. Залежно від способу утворення інтервалу усереднення (часу) розрізняють частотоміри прямої лічби та обчислювальні.