

## ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОЗМІННИХ ШВИДКОСТЕЙ В ТРУБОПРОВОДАХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМИ ВИТРАТОМІРАМИ

© Гнатів Р. М., Босак М. П., 2015

Описано конструкцію і принципи роботи електромагнітного витратоміра, призначеного для вимірювання швидкозмінних швидкостей нестационарного потоку рідини. Підбором однорідного магнітного поля і точкових електродів у датчиках витрати забезпечена незалежність показів від епюри швидкостей. Застосовано комплексний підхід під час вимірювання середніх нестационарних швидкостей за допомогою електромагнітного методу. Наведено повний опис електромагнітного витратоміра із збільшеною частотою живлення перетворювача. Описано витратомір “Момент-3” для вимірювання нестационарних середніх швидкостей в перерізі труби. Витратомір має невелику інерційність і високу динамічну точність. Експериментальні дані показали, що похибка динамічного калібрування електромагнітного витратоміра не перевищує 1%. Для перевірки динамічної похибки витратомірів використано гідрометрологічний метод, згідно з яким миттєва витрата визначається інтеграцією миттєвої епюри швидкостей. Обробляли сигнали, отримані від швидкодіючих витратомірів, зважаючи на великий обсяг інформації, із застосуванням програмного забезпечення. З цією метою до описаних витратомірів була під’єднана розроблена система, яка здатна працювати зі швидкістю 1000 циклів вимірювань у секунду по каналу (кількість яких може сягати шести).

**Ключові слова:** неусталений, нестационарний, електромагнітні витратоміри, вимірювання швидкостей.

This paper describes the design and principles of operation of electromagnetic flow meter designed to measure rapidly varying velocity of unsteady fluid flow. The selection of a homogeneous magnetic field and point electrodes in the flow sensors ensured the independence of the testimony from the plot of velocity. Applies a comprehensive approach to the measurement of non-stationary medium speed with an electromagnetic method. The full description of the electromagnetic flowmeter with an increased frequency of the power converter. This paper describes the flow “Moment 3” to measure the transient average velocity in the pipe section. Flow has a small inertia and high dynamic accuracy. Experimental data have shown that the error of dynamic calibration of electromagnetic flow does not exceed 1%. To check the dynamic error of flow meters used dermatology method, according to which the instantaneous flow rate is determined by integration of the instantaneous plots of velocities. Processing signals obtained from the high-speed flow meters, despite a large amount of information was carried out using the software. With this purpose in described flowmeter was connected to a developed system that can operate at a speed of 1000 measurements per second over a channel (up to six).

**Key words:** unstable, unsteady, electromagnetic flowmeter, velocity measurement.

### Постановка проблеми

Сьогодні відомо низку технологічних систем і енергетичних пристроїв, що застосовують в авіації, металургії, енергетиці та хімічній технології, де визначальними є нестационарні режими.

Знання законів перебігу та зміни цих режимів, а також вміння надійно розрахувати супутні з цими нестационарними процесами явища, необхідні і під час проектування, і для розроблення нових

високоеконімічних систем. Тому проведення досліджень нестационарної течії і розроблення методики розрахунку спричиняють надзвичайно актуальну для інженерної практики задачу. При цьому однією з важливих фізичних характеристик потоку є швидкозмінна швидкість течії рідини.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

До приладів, що дають змогу вимірювати нестационарні потоки, висувають вимоги малої інерційності і високої динамічної точності. Ці параметри виражаються через частотні характеристики, які визначають максимальну частоту коливань потоку, що вимірюється без істотних амплітудних і фазових відхилень.

Розроблення електромагнітних витратомірів для вимірювання нестационарних течій рідини в трубах пов'язане із значними труднощами. Покращення динамічних якостей витратомірів вимагає підвищення частоти збудження датчика витратоміра, яке становить серйозні технічні проблеми. Це стосується не тільки живлення датчика, але й детектування сигналу в умовах збільшення квадратурної перешкоди, яка зростає з частотою в квадраті. Необхідне також розроблення методів динамічного тарування витратомірів, які відповідають сучасним вимогам гідромеханіки. Відомо, що електромагнітний витратомір з точковими електродами не чутливий до спотворень епюри розподілу поздовжніх швидкостей, якщо вони є симетричними відносно осі. Однак несиметричні викривлення можуть значною мірою збільшити похибки вимірювання витрати залежно від конструкції датчика [1, 2]. Тому необхідно уточнити режими течії рідини, за яких можливе збільшення похибки.

### Мета і задачі досліджень

Удосконалити методи вимірювання гідродинамічних характеристик неусталених потоків рідини.

### Результати досліджень

На рис. 1 наведена блок-схема приладу “Момент-3” з несучою частотою 500 Гц. Така частота вибрана з метою забезпечення заданої швидкодії витратоміра (0–150 Гц). Хоча індукційні перешкоди, що спричиняють нестабільність нуля датчика, в першому наближенні пропорційні до частоти збудження [3], нам вдалося створити датчик із задовільною стабільністю нуля. На рис. 2 наведені діаграми основних величин того ж витратоміра.

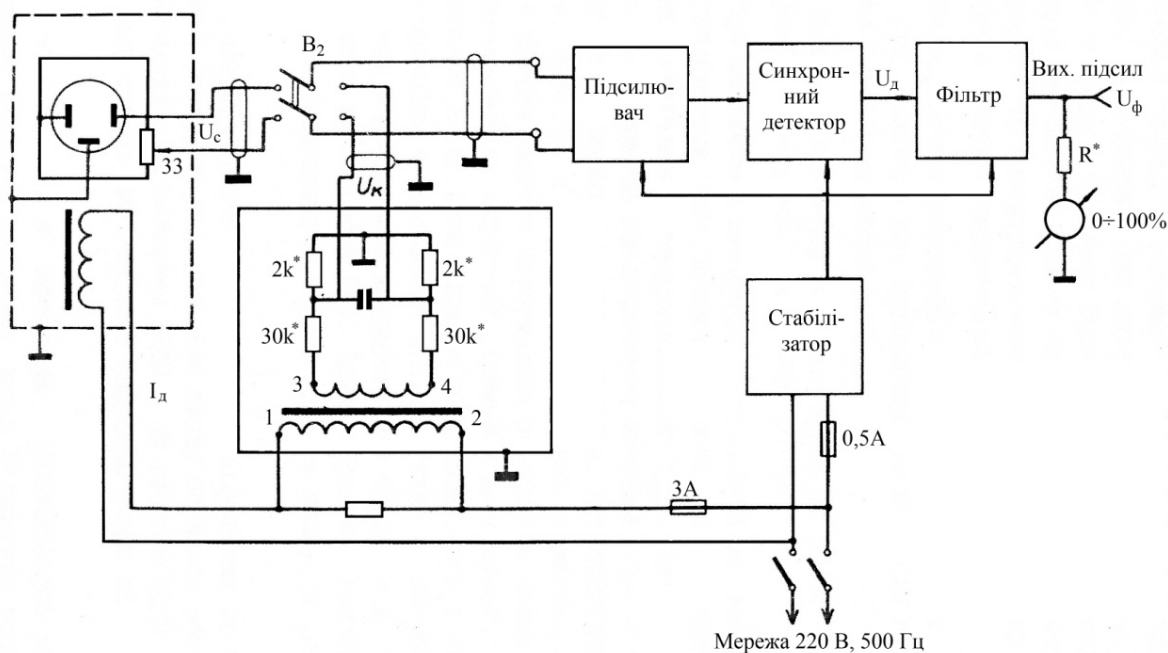


Рис. 1. Блок-схема електромагнітного витратоміра “Момент-3”

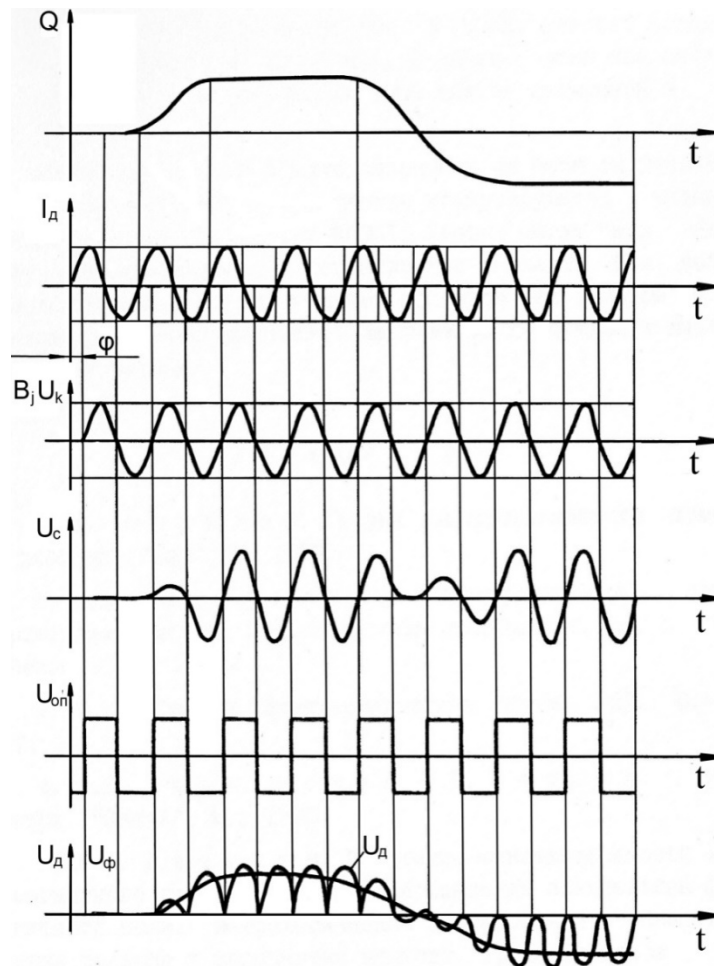


Рис. 2. Діаграма основних параметрів витратоміра “Момент 3”:  $Q$  – дійсна витрата;  $I_d$  – струм збудження датчика;  $B$  – магнітна індукція в трубі датчика;  $U_c$  – напруга корисного сигналу;  $U_{оп}$  – опорна напруга синхронного детектора;  $U_c$  – вихідна напруга синхронного детектора;  $U_{\phi}$  – вихідна напруга фільтра;  $U_k$  – калібрувальний сигнал витратоміра

Витратомір “Момент-3” працює у такий спосіб. Напругою живлення створюється струм збудження ( $I_d$ ) в обмотках датчика. Цим струмом своєю чергою створюється магнітна індукція ( $B$ ) в трубі датчика. Вона має запізнювання в фазі ( $\phi$ ) відносно струму збудження. Зазначене запізнювання зумовлено екранізуючою дією металеві труби (сталь X18H10T) датчика, яка враховується комплексним коефіцієнтом ослаблення труби. У використаному датчику  $\phi \approx 30^\circ$ . Сигнал витрати ( $U_c$ ) у фазі магнітною індукцією  $B$ , а амплітуда і полярність  $U_c$  визначаються витратою  $Q$ . Після посилення сигнал витрати надходить на вхід синхронного детектора. У ньому сигнал витрати множиться на опорний сигнал  $U_{оп}$  і на вході синхронного детектора отримуємо випрямлену напругу сигналу  $U_d$ . Вона після проходження вихідного фільтра має форму ( $U_{\phi}$ ), близьку до форми дійсної витрати  $Q$ .

Фільтр призначений для приглушення несучої частоти (тобто частоти збудження) і узгодження виходу приладу з навантаженням. Для кращого збігу форми вихідної напруги фільтра  $U_{\phi}$  з формою кривої дійсної витрати  $Q$  і для забезпечення задовільних динамічних характеристик приладу загалом необхідно, щоб фільтр не мав значних амплітудних та фазових спотворень на всьому частотному діапазоні вимірювання. Вимогам добре відповідають фільтри, розраховані на основі полінома Баттерворта [4]. В описаному витратомірі застосований фільтр, який має рівномірну амплітудно-частотну і лінійну фазо-частотну характеристики.

Калібрувальна напруга  $U_k$ , пропорційна до струму датчика, призначена для періодичного контролю та коригування чутливості приладу. Точність вимірювання нестационарної швидкості приладом “Момент-3” –  $\pm 2\%$ .

У разі подальшого підвищення швидкодії електромагнітного витратоміру типу " Момент– 3 ", основними похибками є похибки індукованого типу. За підвищення частоти збудження зростають вихрові струми в металевих конструктивних елементах датчика. Це призводить до збільшення величини  $\phi$  і ослаблення магнітної індукції [3]. Збільшуються вихрові струми у вимірюваній рідині, що призводить до збільшення дрейфу нуля витратоміра [5–6]. Отже, підвищення швидкодії витратомірів такого типу не є перспективним.

Для перевірки динамічної похибки витратомірів використано гідрометрологічний метод, згідно з яким миттєва витрата визначається інтеграцією миттєвої епюри швидкостей. При цьому епюра швидкостей визначається приладом, характеристики якого відповідають необхідним вимогам за точністю вимірювання, за стабільністю та повторюваністю показів. Нині відповідного приладу для одночасного вимірювання епюр швидкостей не існує, тому в умовах нестационарності потоку застосовують метод осереднення за ансамблем реалізацій з подальшим інтегруванням по всьому перерізі труби. Для кожного моменту часу  $t_0$  нестационарного процесу оцінкою математичного очікування є величина, що дорівнює

$$\mu_x(t_0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t_0), \quad (1)$$

де  $N$  – кількість дослідів в ансамблі,  $x_i(t_0)$  – миттєве значення випадкової функції у момент часу  $t_0$ .

Оцінкою пульсації в момент  $t_0$  є середньоквадратичне відхилення

$$s_x = \sigma_x(t_0) = \left[ \left( \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2(t_0)}{N} - \mu_x^2(t_0) \right) \frac{N}{N-1} \right]^{1/2}. \quad (2)$$

Наведені оцінки залежатимуть від кількості дослідів  $N$ . Тому під час оброблення дослідних даних обчислюються довірчі межі з довірчою ймовірністю  $(1-\alpha) \times 100\%$  для математичного очікування і дисперсії згідно з роботами Бендата і Пірсола [7].

Для визначення локальних швидкостей використана термоанемометрична апаратура фірми "DISA" 55M01 разом з конічними датчиками 55R42. Термоанемометричний метод дає змогу вимірювати локальну швидкість у широкому діапазоні з точністю не менше ніж 1 %.

### Висновки

Застосовано комплексний підхід до проблеми вимірювання середніх нестационарних швидкостей за допомогою електромагнітного методу. У статті описаний витратомір "Момент-3" для вимірювання нестационарних середніх швидкостей в перерізі труби і методи для перевірки динамічної похибки. Витратомір має невелику інерційність і високу динамічну точність. Точність вимірювання нестационарної швидкості  $\pm 2\%$ .

1. Reinhold I. Velocity profile influence on electromagnetic flowmeter accuracy/ I. Reinhold // Proc. FLOMEKO. – 1978. – Netherland. – P. 181–185. 2. Al-Khazraji Y.A. Comparison of the effect of a distorted profile on electromagnetic, ultrasonic and differential pressure flowmeters/ Y.A. Al-Khazraji, R.H. Al-Rabeh, R.C. Baker, J. Hemp // Proc. FLOMEKO, 1978, Netherland. – P. 215–222. 3. Большаков В. Б., Косач Н. И., Марфенко И. В., Панфилов О Ф. Электромагнитный метод измерения скорости жидкостных потоков // Український метрологічний журнал. – 1997. – № 4. – С.43–46. 4. Знаменский А. Е. Активные фильтры/ А. Е. Знаменский, П. Н. Теплюк. – М.: Связь–1970. – 440 с. 5. Росманн М. П. Повышение чувствительности электромагнитного расходомера путем применения специальной формы магнитного поля / М. П. Росманн// Метрологические исследования в области измерения расхода и количества веществ. Труды Всесоюзной конференции. – Казань; М., 1971. – С. 197. 6. Кулаков М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств/ М. В. Кулаков. – М.: Машиностроение. – 1983. – 424 с. 7. Бендате Дж. Измерение и анализ случайных процессов/ Дж. Бендате, А. Пирсол. – М.: Мир, 1974. – 464 с.