

УДК 621.317.7 - 620.179

ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ ВИМІРЮВАЧ АМПЛІТУД СИСТЕМИ ОБСТЕЖЕННЯ КОРОЗІЙНОГО СТАНУ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ З ГРАДІЄНТНИМИ ВИМІРЮВАННЯМИ

© Бучма І.М., Калинюк Ю.П., 2000

ДУ "Львівська політехніка", кафедра "Автоматика і телемеханіка"

Розглядається диференціальний вимірювач амплітуд (ДВА) синфазних сигналів в діапазоні 5-30mV частотою 100Гц. ДВА характеризується низьким відносним порогом чутливості (не більш ніж $1 \cdot 10^{-4}$), низьким дрейфом нуля, високою лінійністю характеристики вхід-вихід та малим впливом нелінійних спотворень.

The differential measurer of amplitudes (DMA) of low signals in diapason 5-30mV and frequency 100Gz are examined. DVA have a low relative threshold of sensitivity (no more 10^{-4}), a low drift of zero, a high linearity input-output characteristic and a low influence nonlinear distortion.

Контроль корозійного стану магістральних нафтопроводів, а особливо газопроводів, є економічним завданням державної ваги, бо дозволяє попередити можливі вибухонебезпечні аварійні ситуації з великими людськими жертвами та матеріальними збитками.

Одним з методів контролю за корозійним станом магістральних трубопроводів є вимірювання втратних струмів на ділянці трубопроводу до 10 м при протіканні по них струму електрохімічного захисту [3]. Це дає можливість судити про стан ізоляційного покриття трубопроводу та процеси корозії. На практиці перевага віддається безконтактним методам вимірювання втратних струмів. Таким є індуктивний метод. При цьому проводяться градієнтні вимірювання напруженості магнітного поля за допомогою двох ідентичних магнітоприймальних систем, які являють собою пристрій для градієнтних вимірювань (ПГРВ). У ФМІ НАН України розроблено градієнтметр, а у ДУ "Львівська політехніка" – диференціальний амплітудний вимірювач (ДАВ) сигналів цього градієнтметра.

У даній статті розглядаються особливості структури такого ДАВ, його робота, параметри та характеристики.

Щодо градієнтметра, то він складається з чотирьох ідентичних магнітоприймачів, які попарно розташовані на двох ідентичних вертикальних стійках на відстані a один від одного. Стійки встановлюють над віссю трубопроводу на відстані до 10м так, щоб магнітоприймачі були розташовані у вертикальній площині, яка проходить через вісь трубопроводу, а напрям приймання магнітоприймачів є перпендикулярний до осі трубопроводу [3]. Для цього стійки обладнані механічними засобами орієнтації (переміщення) магнітоприймачів. Внутрішній опір магнітоприймачів становить 15 кОм.

Найважливішими вимогами до ДАВ є мінімальний поріг чутливості, відносно значення якого повинно бути не гірше ніж $1 \cdot 10^{-4}$, та лінійність характеристики перетворення. Такий низький поріг чутливості ДАВ можна забезпечити, використовуючи метод періодичного порівняння.

Основне призначення ДАВ – порівняння амплітуд синфазних перших гармонік змінних періодичних сигналів низьких рівнів (5 - 30) мВ частотою 100 Гц, з якими маємо справу при вимірюванні напруженості магнітного поля магістральних нафто- чи газопроводів. Поле створюється струмом електрохімічного трубопроводу. Струм являє собою півхвилі випрямленої синусоїди частотою 50 Гц. Низький рівень вхідних сигналів та високий коефіцієнт гармонік (більше ніж 20 %) зумовили необхідність попереднього (до комутації) підсилення порівнюваних сигналів у вузькій смузі частот.

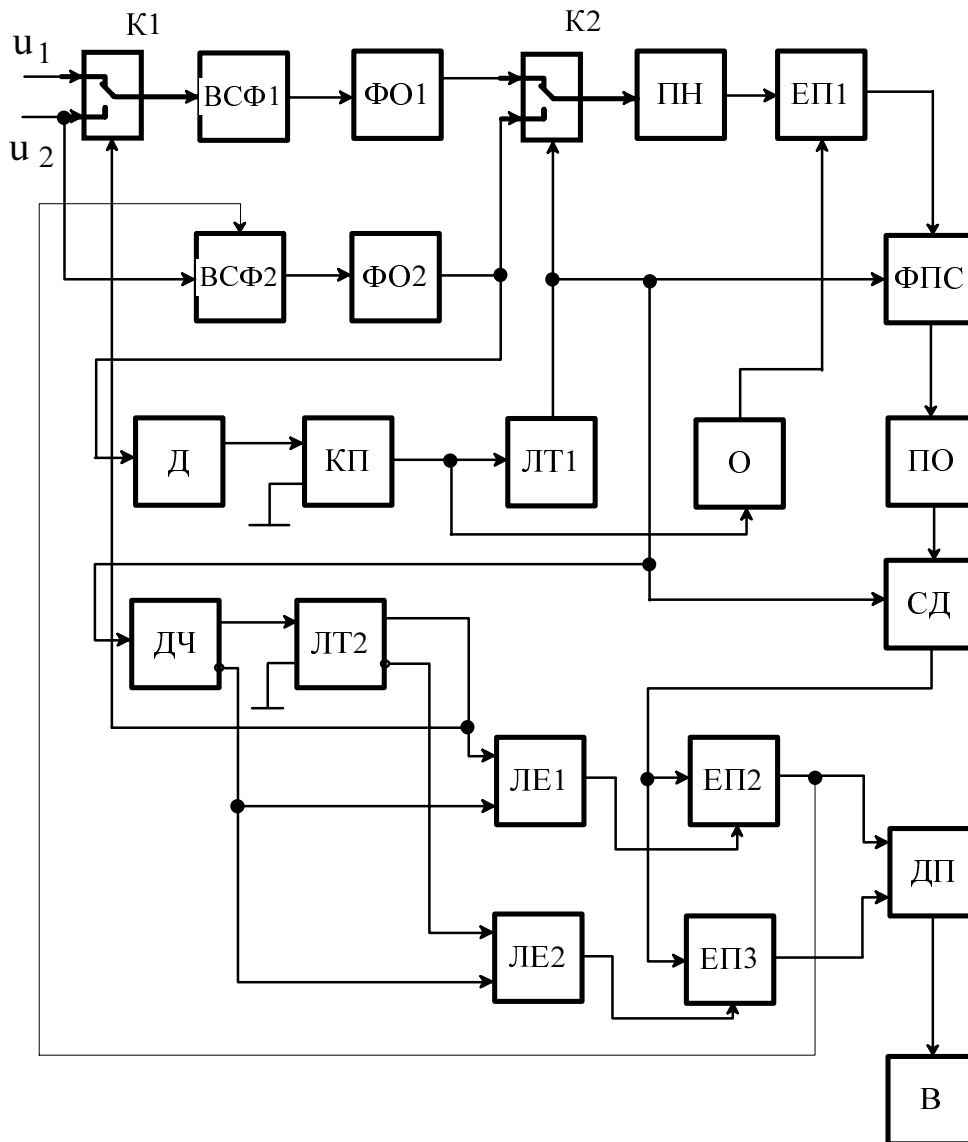


Рис.1. Структурна схема диференціального вимірювача амплітуд з адитивною корекцією похибок

Наявність попередніх фільтрів є причиною адитивної похибки за рахунок неідентичності коефіцієнтів передачі фільтрів. Похибка може сягати 1 % [4]. Це спричиняє необхідність використання автоматичної корекції адитивної похибки. Тому диференціальний амплітудний вимірювач (ДАВ) виконаний за схемою з автоматичною корекцією адитивної похибки [1] (рис.1).

Структурна схема (рис.1) складається з комутаторів K_1 та K_2 , вузькосмугових фільтрів $ВСФ_1$ та $ВСФ_2$, фазообертачів $ФО_1$ та $ФО_2$, підсилювача несучої частоти ПН, елементів пам'яті $ЕП_1, ЕП_2$ та $ЕП_3$, фільтра прямокутного сигналу ФПС, підсилювача обвідної ПО, синхронного детектора СД, диференціального підсилювача ДП, диференціатора Д, компаратора КП, лічильних тригерів $ЛТ_1$ та $ЛТ_2$, вимірювача постійної напруги В, дільника частоти ДЧ, логічних елементів І $ЛЕ_1$ і $ЛЕ_2$.

Розглянемо роботу ДАВ за структурною схемою.

У перший півперіод керуючого сигналу з виходу другого лічильного тригера $ЛТ_2$ вихід першого комутатора K_1 (порівнюваний сигнал u_2) підключається до свого другого (нижнього на рис.1) входу. Тоді порівнюваний сигнал u_2 подається через вузькосмуговий фільтр $ВСФ_1$ та фазообертач $ФО_1$, а також через вузькосмуговий фільтр $ВСФ_2$ та фазообертач $ФО_2$ на обидва входи комутатора K_2 . Вихід комутатора K_2 , що керується сигналами з виходу першого лічильного тригера $ЛТ_1$, підключений до входу підсилювача ПН сигналу несучої частоти.

Комутація сигналів, що подаються на входи комутатора K_2 , здійснюється в моменти їх додатних максимумів, тому що в ці моменти сигнал на виході диференціатора Д переходить через нульовий рівень, а це викликає стрибок напруги на виході компаратора КП. По передньому фронту вихідного імпульсу компаратора КП спрацьовує лічильний тригер $ЛТ_1$. Тим самим фронтом запускається одновібратор О, імпульси з виходу якого надходять на керуючий вхід першого елемента пам'яті $ЕП_1$.

Отже, елемент пам'яті $ЕП_1$ в перший півперіод напруги комутації, що керує роботою комутатора K_2 , запам'ятовує напругу, пропорційну до амплітуди сигналу на першому вході комутатора K_2 , а в другий півперіод – напругу, пропорційну до амплітуди сигналу на другому вході комутатора K_2 . Тому вихідний сигнал елемента пам'яті $ЕП_1$ являє собою напругу постійного струму, значення якої відрізняються в різні півперіоди комутації на величину, що пропорційна до різниці амплітуд вхідних напруг комутатора K_2 .

У разі рівності модулів коефіцієнтів передачі вузькосмугових фільтрів $ВСФ_1$ та $ВСФ_2$, фазообертачів $ФО_1$ та $ФО_2$, а також коефіцієнтів передачі каналів комутатора K_2 амплітудна модуляція вихідного сигналу комутатора K_2 відсутня, і амплітуда виділеної на виході фільтра прямокутного сигналу ФПС обвідна, а, відповідно, і сигнал, що запам'ятовується другим елементом пам'яті $ЕП_2$, дорівнює нулю. Якщо модулі коефіцієнтів передачі фільтрів $ВСФ_1$ та $ВСФ_2$, фазообертачів $ФО_1$ та $ФО_2$ або коефіцієнтів передачі каналів комутатора K_2 неоднакові, сигнал на виході комутатора K_2 буде промодульований по амплітуді. Обвідна, що виділяється на виході ФПС, підсилюється підсилювачем обвідної частоти ПО, детектується синхронним детектором СД, що працює синхронно з комутатором K_2 , і у вигляді постійної складової надходить на елемент пам'яті $ЕП_2$, де і запам'ятовується.

Напруга, що запам'яталася елементом пам'яті $ЕП_2$, пропорційна до абсолютної адитивної похибки від нерівності модулів коефіцієнтів передачі фільтрів $ВСФ_1$ та $ВСФ_2$,

фазообертачів ΦO_1 та ΦO_2 і коефіцієнтів передачі каналів комутатора K_2 , надходить на перший вхід диференціального підсилювача ДП.

У другому півперіоді керуючого сигналу з виходу другого лічильного тригера ЛТ₂ вихід комутатора K_1 під'єднується до свого першого (верхнього на рис.1) входу. При цьому синфазні сигнали, що надходять на входи комутатора K_2 , періодично, в моменти їх додатних максимумів, підключаються комутатором K_2 через підсилювач ПН до входу елемента пам'яті ЕП₁, який по чергово запам'ятовує амплітудні значення.

Вихідний сигнал елемента пам'яті ЕП₁ у вигляді напруги постійного струму, значення якої відрізняються в різні півперіоди комутації на величину, пропорційну до різниці амплітуд порівнюваних напруг та неіdentичності коефіцієнтів передачі фільтрів ВСФ₁ та ВСФ₂, фазообертачів ΦO_1 та ΦO_2 , каналів комутатора K_2 , виділяється за допомогою фільтра прямокутного сигналу ФПС, що працює синхронно з комутатором K_2 , підсилюється підсилювачем ПО обвідної частоти, випрямляється синхронним детектором СД, що також працює синхронно з комутатором K_2 , і запам'ятовується елементом пам'яті ЕП₃. З виходу елемента пам'яті ЕП₃ напруга подається на другий вхід диференціального підсилювача ДП.

Вимірювальний прилад В, що підключений до виходу диференціального підсилювача ДП, вимірює різницю напруг на виходах елементів пам'яті ЕП₂ та ЕП₃, тобто його покази пропорційні до різниці амплітуд вхідних сигналів. При цьому зменшення адитивної складової похибки обернено пропорційне до відносного значення похибки зберігання $\delta_{зб}$ елемента пам'яті ЕП₂. Але натомість з'являється мультиплікативна похибка δ_m , тобто $\delta_m = \delta_{зб}$, яка дорівнює відносній похибці зберігання $\delta_{зб}$.

У разі значної неіdentичності параметрів схеми попереднього перетворення обмежується динамічний діапазон вимірюваних різниць амплітуд. Для його збільшення необхідно вирівнювати коефіцієнти передачі вузлів схеми попереднього перетворення. У [2] для реалізації цього нами запропоновано виконати фільтр ВСФ₂ з регульованим коефіцієнтом передачі, а його керований вхід підключити (може, і через підсилювач) до виходу другого елемента пам'яті ЕП₂. Цей зв'язок на рис.1 показаний пунктиром.

Макет ДАВ був реалізований на операційних підсилювачах К140УД12 і цифрових схемах серії К564. Вузкосмугові фільтри ВСФ₁ і ВСФ₂ були виконані за схемою універсального фільтра Чебишова 2-го порядку з добротністю $Q=20$ і коефіцієнтом підсилення $K_u=10$. Методика розрахунку таких фільтрів викладена в [5].

Разом з ФМІ НАН України були проведені лабораторні випробування самого макетного зразка ДАВ за такою методикою.

Вихідний вимірювальний пристрій ДАВ градуювали так: один вхід ДАВ з'єднували з виходом звукового генератора (ЗГ) синусоїдної напруги частотою 100 Гц, з якого знімали сигнал рівня 30 мВ. До виходу генератора підключали резистивний дільник напруги $R_1=10$ Ом і $R_2=10$ кОм. При цьому один вивід R_2 заземляли, а точку з'єднання резисторів R_1 і R_2 підключали до другого входу ДАВ. У такий спосіб реалізовувалася шкала 0,1%, тобто в положенні атенюатора 0,1% зміною підсилення в каналі обвідної досягали відхилення стрілки вихідного вимірювача ДАВ на всю шкалу.

При вимірюванні порогу чутливості обидва входи ДАВ підключали до виходу генератора, з якого знімався сигнал рівня від 5 до 30 мВ, і за максимальним відхиленням хаотичних коливань стрілки вихідного вимірювача, шкала якого мала п'ять великих поділок, визначали поріг чутливості.

Часовий дрейф нуля ДАВ досліджували також при подачі сигналу з виходу генератора напругою від 5 до 30 мВ на обидва входи ДАВ. При цьому часовий дрейф визначали за повільним зміщенням стрілки вихідного вимірювача ДАВ від нульової позначки.

$$\delta U_{\text{вих}} = f(U_1)$$

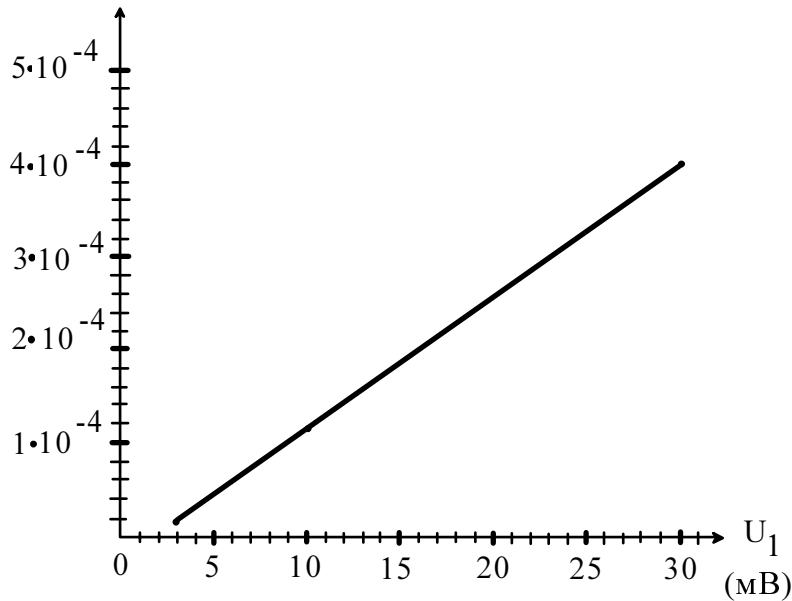


Рис.2. Характеристика вхід-вихід ДВА

За допомогою кілець Гельмгольца створювалось рівномірне магнітне поле частотою 100Гц, в якому розташовувалися магнітоприймачі градієнтметра. Вихідні сигнали магнітоприймачів, рівень яких становив 30мВ, подавалися на входи ДАВ. Оскільки неідентичність вихідних напруг магнітоприймачів дорівнювала близько 10%, то для симетрування вихідних сигналів магнітоприймачів використовувався резистивний дільник напруги, що складався із послідовно включених змінного резистора $R_1=1\text{кОм}$ і постійного - $R_2=10\text{кОм}$. Такі дільники включалися паралельно з магнітоприймачами. Вихідні сигнали магнітоприймачів вдавалося вирівнювати з точністю, що визначалася порогом чутливості ДАВ, тобто $5 \cdot 10^{-4}$.

У результаті проведених лабораторних досліджень параметрів і характеристик ДАВ встановлено, що при рівні вхідних сигналів 30 мВ відносний поріг чутливості його становить $\delta_{\text{пор}} \approx 5 \cdot 10^{-5}$, часовий дрейф нуля практично відсутній, характеристика вхід-вихід – лінійна (рис.2), а сам ДАВ придатний для проведення польових випробувань на трасі реального магістрального газопроводу.

Польові випробування макета ДАВ разом з макетом градієнтметра були проведені на магістральному газопроводі Угерсько-Львів на відстані 0,5 км від станції

Лінійність характеристики ДАВ перевіряли в режимі вимірювання різниці амплітуд вхідних сигналів, досліджуючи залежність показів ДАВ при постійній відносній різниці амплітуд вхідних сигналів, що визначали за формулою

$$\delta U = \frac{U_1 - U_2}{U_1 + U_2} = \text{const},$$

від рівня вихідного сигналу генератора U_1 .

Лабораторні дослідження роботи ДАВ разом з градієнтметром проводили за такою методикою.

електрохімзахисту (ЕХЗ) біля села Деревач на дослідному стенді, обладнаному ФМІ НАН України.

Витікання (втрата) струму створювалося за допомогою спеціально виконаних заземлювачів.

Схема польових вимірювань наведена на рис.3. Сійки градієнтометра 1 і 2 з приймальними магнітоприймачами відповідно 3,5 та 4,6 встановлювали у вертикальній площині, що проходила через вісь газопроводу по обидва боки від місця витікання струму з газопроводу. Рівні сигналів магнітоприймачів 3,4,5,6, а також різниці їх амплітуд почергово вимірювали ДАВ. Струм витікання підраховували за методикою [3].

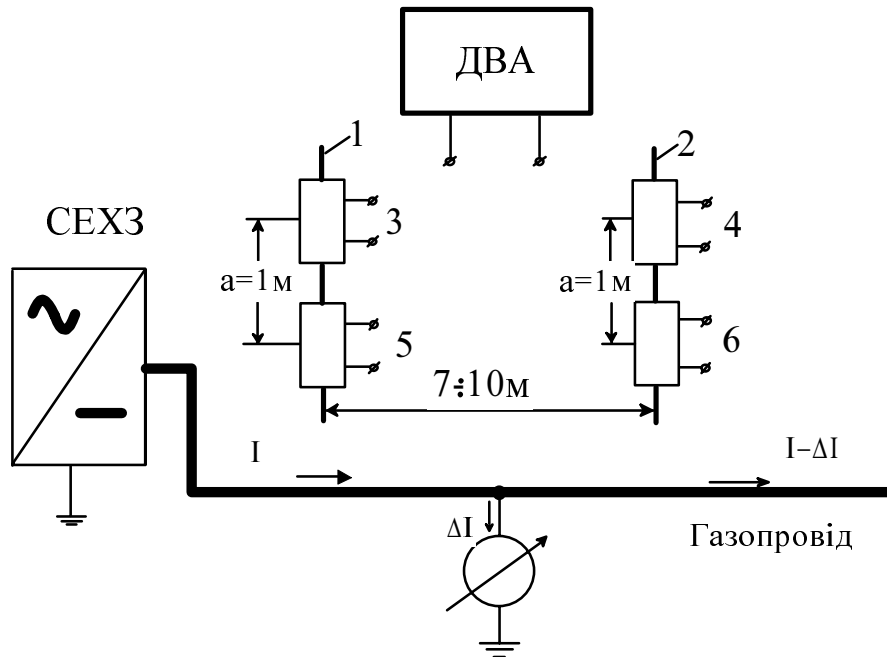


Рис.3. Схема проведення польових випробувань ДВА на трасі реального газопроводу

За результатами випробувань можна зробити висновок, що запропонований макет ДАВ за пороговою чутливістю, дрейфом нуля, лінійністю характеристики вхід-вихід поставлені вимоги задовольнив.

1. А.с. 1402952 ССРСР, МКІ G 01 R 19/10. Устройство для сравнения амплитуд двух периодических сигналов / И.М.Бучма, Ю.П.Кальнюк (ССРСР). Опубл.15.06.88. // Бюл. изобрет. 1988, № 22. 2. А.с. 1597750 ССРСР, МКІ G 01 R 19/10. Устройство для сравнения амплитуд первых гармоник двух периодических сигналов / И.М.Бучма, Ю.П.Кальнюк (ССРСР).-№4349023/24-21 // Бюл. изобрет. 1990. № 37. 3. Дикмарова Л.П., Мизюк Л.Я. Анализ работы устройства для градиентных измерений тока утечки подземных трубопроводов // Отбор и обработка информации. 1993. Вып.9. С.63-70. 4. Скрипник Ю.А. Способы построения высокостабильных фазочувствительных дифференциальных индикаторов // Приборостроение. 1961. № 10. С.1-5. 5. Фолкенбери Л. Применение операционных усилителей и линейные ИС. М., 1985.