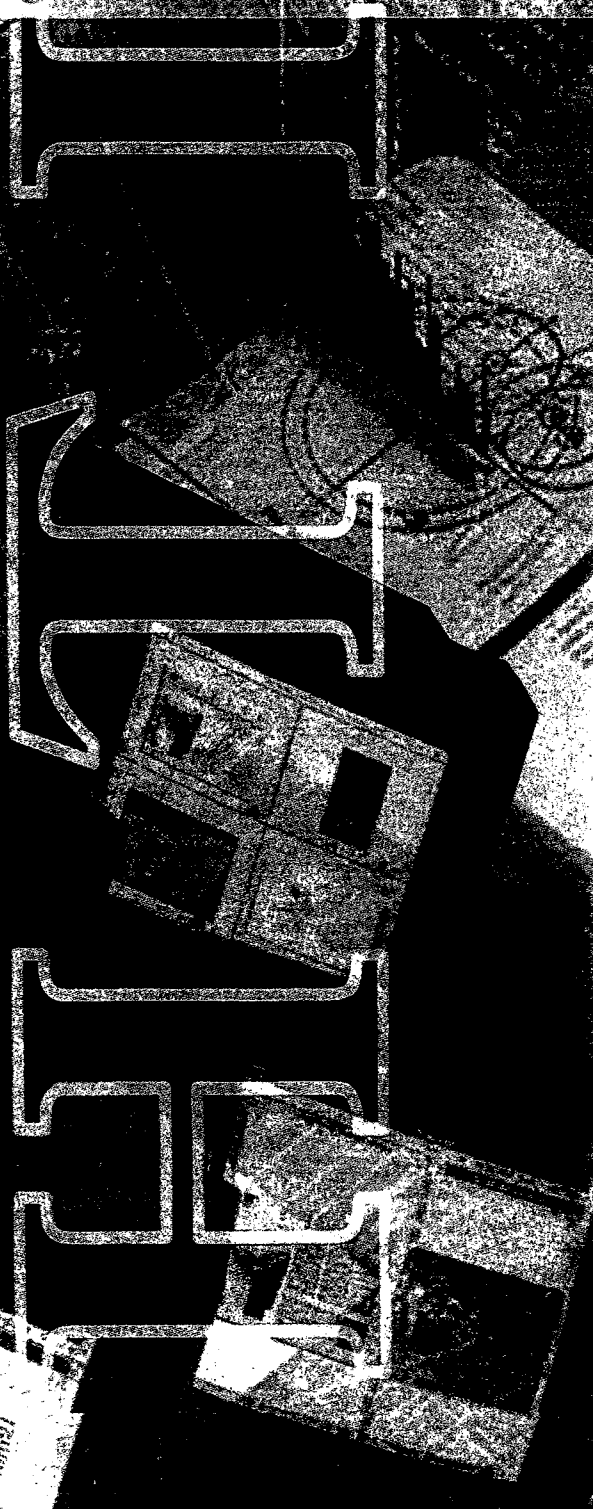


науковий журнал

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНА  
ІНФОРМАЦІЯ**

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL  
INFORMATION**

**1(67)'2016**



## ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЛІНЕАРИЗАЦІЇ НЕЛІНІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК



О.Й. Рішан,  
канд. техн. наук,  
В.С. Денисенко

**Постановка проблеми.** При перетворенні аналогових сигналів первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) у цифровий код, з подальшою їх обробкою у мікропроцесорних контролерах комп'ютерно-інтегрованих систем керування технологічними процесами, доцільно в якості проміжного перетворювача використовувати конденсаторний перетворювач напруги у частоту, побудований за схемою транзисторного RC-генератора [2]. Такий генератор забезпечує пропорційне перетворення аналогового вихідного сигналу ПВП по напрузі у частоту його релаксації по трьом незалежним каналам: зміни швидкості заряду ємностей RC-генератора за рахунок зміни їх струму заряду по емітерним і базовим ланцюгам стабілізаторів струму та регулювання рівня заряду ємностей по напрузі [1]. Водночас генератор забезпечує глибоке регулювання частоти його релаксації по цим каналам аналоговими вихідними сигналами від операційних підсилювачів,

які обробляють сигнали ПВП до їх перетворення в частоту, оскільки живлення самого RC-генератора здійснюється напругою живлення операційних підсилювачів.

У разі одночасного використання перших двох каналів регулювання частоти RC-генератора за рахунок зміни струму заряду його ємностей по емітерним і базовим ланцюгам стабілізаторів струму можна здійснювати алгебраїчне додавання двох сигналів по цим входам за основним рівнянням його перетворення у вигляді:

$$F(h) = F_0 + a * [\pm f(h) \mp \varphi(h)], \quad (1)$$

де  $F(h)$  – частота імпульсів на виході генератора;  $F_0$  – початкова частота релаксації RC-генератора;  $a$  – коефіцієнт перетворення RC-генератора;  $f(h)$  – сигнал ПВП, який підлягає перетворенню у частоту імпульсів;  $\varphi(h)$  – сигнал коригування характеристики перетворення ПВП для зменшення її нелінійності;  $h$  – фізичний параметр, який перетворюється у частотний сигнал.

Залежність (1) дає можливість реалізувати спосіб лінеаризації і побудувати на основі RC-генератора пристрій для лінеаризації аналогового сигналу ПВП із гармонічною характеристикою перетворення (ХП).

**Мета дослідження** – створити спосіб і пристрій для лінеаризації, здатний лінеаризувати нелінійні аналогові сигнали ПВП із гармонічною ХП різних знаків зміни чутливості в діапазоні вимірювання від 0 до  $\pi/2$  радіан у частоту імпульсів на його виході, з одночасним ростом загальної чутливості та відповідно точності перетворення.

**Виклад основного матеріалу.** Основні графічні залежності етапів розробленого способу лінеаризації вихідних сигналів ПВП із гармонічною ХП приведені на рис. 1 та 2.

Суть способу ґрунтується на прямо пропорційному перетворенні гармонічного вхідного аналогового сигналу ПВП виду  $f(h)$  (синусоїдального – рис. 1 або косинусоїдального – рис. 2) у частоту релаксації RC-генератора по каналу зміни швидкості заряду ємностей за рахунок зміни їх струму заряду по емітерним ланцюгам стабілізаторів струму та одночасному виробленні по діапазону вимірювання сигналу коригування виду  $\varphi(h) = \sqrt{1 - f^2(h)}$ , який подається у канал керування базовими ланцюгами стабілізаторів струму заряду ємностей.

Але при цьому отриманий коригувальний сигнал  $\varphi(h)$  необхідно спочатку змістити у координатах частотного перетворення на  $-1$ , який по модулю дорівнює сумі квадратів гармонічного сигналу, що лінеаризується, та сигналу коригування  $\varphi(h)$ , щоб коригувальний сигнал у точці початку діапазону, як і вхідний  $f(h)$ , теж дорівнював нулю, тобто отримати залежність  $-1 + \varphi(h)$  від  $f(h)$  (рис. 1 та 2).

Для подальшого алгебраїчного додавання вхідного сигналу  $f(h)$  із отриманою зміщеною характеристикою  $-1 + \varphi(h)$  останню необхідно інвертувати (залежність  $1 - \varphi(h)$  на рис. 1 та 2).

Результатом алгебраїчного додавання вхідного сигналу  $f(h)$  та сигналу  $1 - \varphi(h)$  є лінеаризована ХП ПВП по залежності  $1 + f(h) - \varphi(h)$  на рис. 1 та 2.

Розрахунок вихідної лінеаризованої ХП ПВП по залежності  $1 + f(h) - \varphi(h)$  з дворазовим

зростанням чутливості та значень похибок нелінійності в діапазоні від 0 до  $\pi/2$  радіан приведені у таблиці.

Принципова блок-схема розробленого дослідженого пристрою, що реалізує ретрансмітований спосіб лінеаризації, приведено на рис. 3.

На рис. 3 позначені: підсилювальні елементи 2 та 3 RC-генератора 1, що інвертують його фазу; накопичувальні конденсатори 4 та 5; елементи 6 та 7, що задають струм ряду конденсаторів; фіксуючі діоди 8 та 9 на вхід пристрою 10; регульоване джерело опорної напруги; блок 12 піднесення сигналу в квадратичний ступінь; операційний підсилювач 13; блок 14 добування квадратних кореня; регульоване джерело 16 опорної напруги та операційний підсилювач 17 частотний вихід 17 пристрою; 18 джерело опорної напруги на фіксуючі діоди.

Пристрій працює таким чином. Задає початкове значення напруги на фіксуючі діоди 8 та 9 від регульованого джерела 11 опорної напруги, від значення якої лежить початкова частота  $F_0$  релаксації RC-генератора 1. Під дією аналогового сигналу  $f(h)$ , що надходить через вхід у канал зміни швидкості заряду ємностей RC-генератора 1, відбувається зростання частоти його релаксації за рахунок зміни ємності заряду по емітерним ланцюгам стабілізаторів струму на величину  $\Delta F$  (зростання відносного сигналу від 0 до 1,0) по відношенню до початкової частоти релаксації  $F_0$ . Тоді частотний сигнал повторює по величині вхідний гармонічний сигнал в межах від 0 до  $\pi/2$  радіан.

Одночасно вхідний сигнал  $f(h)$  (синусоїдальний або косинусоїдальний) надходить на вхід блоку 12 піднесення сигналу у квадратичний ступінь, на виході якого отримується сигнал  $f^2(h)$ . За рахунок вихідного сигналу блоку 12 та регульованого джерела 11 опорної напруги, що знаходяться на вхід операційного підсилювача 13, на виході останнього

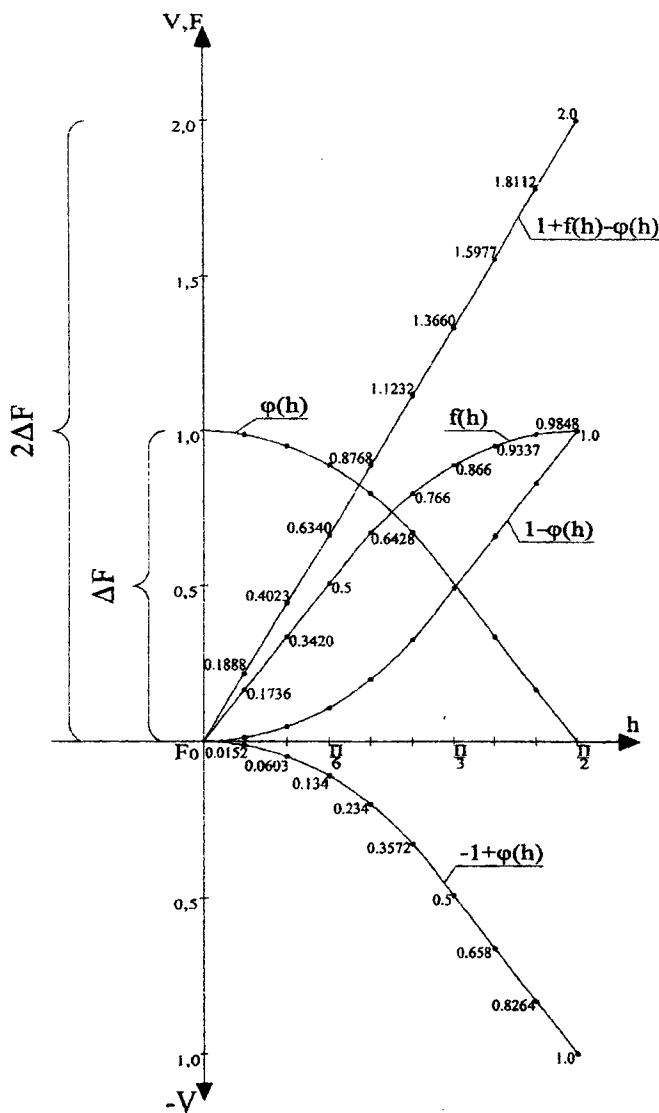


Рис. 1. Перетворення гармонічного вхідного аналогового сигналу ПВП синусоїдального виду  $f(h)$

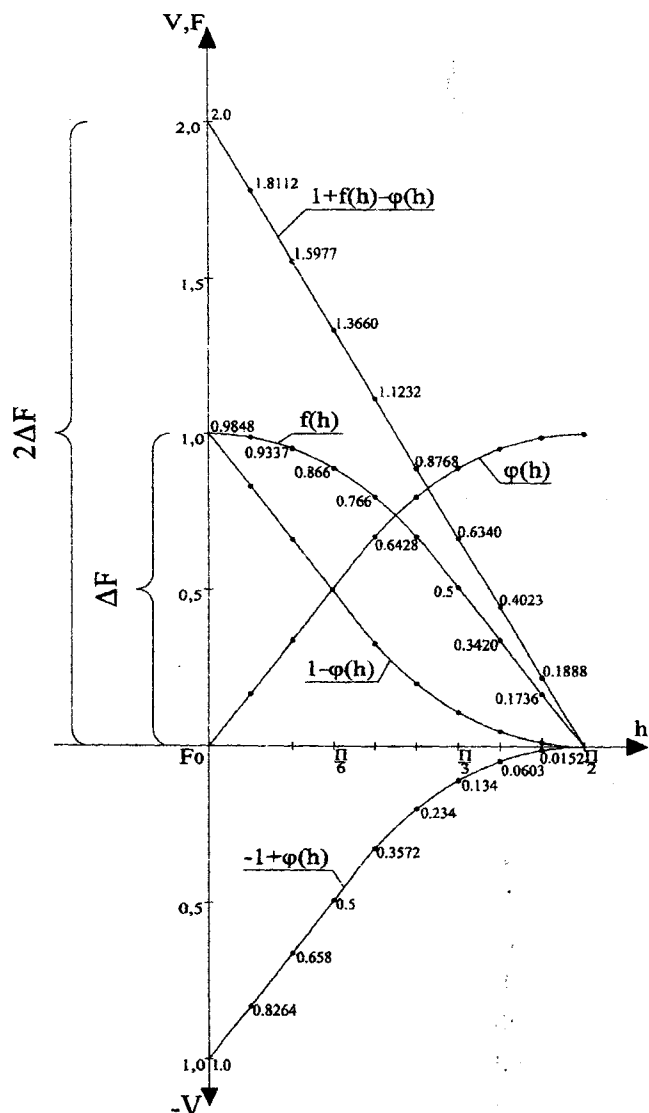


Рис. 2. Перетворення гармонічного вхідного аналогового сигналу ПВП косинусоїдального виду  $f(h)$

Розрахунок вихідної лінеаризованої ХП ПВП

параметр	0	$\pi/20$	$\pi/10$	$3\pi/20$	$\pi/5$	$\pi/4$	$3\pi/10$	$7\pi/20$	$2\pi/5$	$9\pi/20$	$\pi/2$
основні залежності											
Лінеаризація сигналу											
$\sin=f(h)$	0	0,1564	0,3090	0,4540	0,5878	0,7071	0,8090	0,8910	0,9511	0,9877	1,0
$1+f(h)-\phi(h)$	0	0,1687	0,3579	0,563	0,7788	1,0	1,2212	1,437	1,6421	1,8313	2,0
Ідеальна ХП	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Нелінійність, %	0	1,565	2,10	1,85	1,06	0	1,06	1,85	2,10	1,565	0
Лінеаризація сигналу											
$\cos=f(h)$	1,0	0,9877	0,9511	0,8090	0,8090	0,7071	0,5878	0,4540	0,3090	0,1564	0
$1+f(h)-\phi(h)$	2,0	1,8313	1,6421	1,437	1,2212	1,0	0,7788	0,563	0,3579	0,1687	0
Ідеальна ХП	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0
Нелінійність, %	0	1,565	2,10	1,85	1,06	0	1,06	1,85	2,10	1,565	0

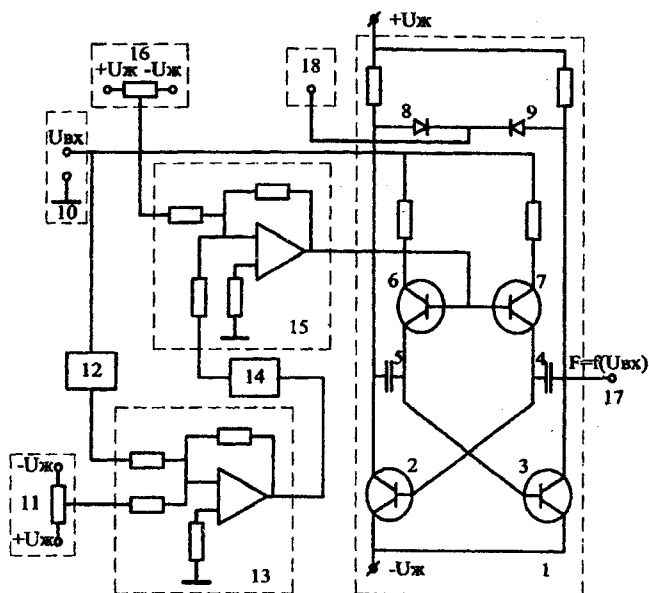


Рис. 3. Принципова блок-схема пристрою для лінеаризації

отримується сигнал по залежності  $1-f^2(h)$  і який, після проходження через блок 14 добування квадратного кореня, перетворюється у сигнал коригування виду  $\varphi(h) = \sqrt{1-f^2(h)}$  (косинусоїди або синусоїди відповідно).

За рахунок вихідного сигналу через блок добування квадратного кореня 14 та регульованого джерела 16 опорної напруги, що надходять на вхід операційного підсилювача 15, на виході останнього отримується зміщений  $\varphi(h) = -1$  (рис. 1 та 2) та інвертований сигнал коригування  $1-\varphi(h)$ , який надходить в базові ланцюги стабілізаторів струму регулювання частоти RC-генератора. Необхідність наявності сигналу  $\varphi(h) = -1$  замість  $1-\varphi(h)$  пояснюється особливістю керування частотою RC-генератора по базовим ланцюгам, оскільки тільки зниження потенціалу в цих ланцюгах по відношенню до середньої точки живлення операційних підсилювачів приводить до збільшення різниці потенціалів між емітерами та базами елементів 6 та 7, що веде до зростання струму зарядів накопичувальних конденсаторів 4 та 5 генератора і зростання його частоти релаксації. Останній канал регулювання забезпечує в додаток до каналу регулювання частоти релаксації генератора по емітерним ланцюгам стабілізаторів

струму ще й дворазове зростання частоти на виході генератора на величину  $2\Delta F$  по відношенню до початкової частоти релаксації  $F_0$  або зростання відносного сигналу від 0 до 2,0 (рис. 1).

Результуюча частота генератора відповідає залежності  $1+f(h)-\varphi(h)$ . Лінеаризація по останній залежності суттєво спрощується (виключається необхідність використання блоку піднесення сигналу у квадратичний ступінь і блоку добування квадратного кореня), якщо в ПВП, вихідний сигнал якого лінеаризується, є можливість одночасно з вхідним сигналом  $f(h)$  отримати сигнал коригування  $\varphi(h)$ , наприклад, через розміщення у ПВП додаткового перетворювача, зміщеного у просторі по відношенню до вимірювального перетворювача на  $\pi/2$  радіан [3; 4].

#### Висновки

Експериментальні дослідження пристрою в складі ультразвукового рівнеміра, ПВП якого реалізує інтерференційний метод вимірювання на стоячій хвилі і який застосований для вимірювання рівня рідин у повітрі в резервуарі, показали, що розглянутий пристрій дозволяє знизити похибку нелінійності ХП такого ПВП до 0,21% в діапазоні вимірювання від 0 до  $\pi/2$  радіан.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Первинні вимірювальні перетворювачі з частотною лінеаризацією характеристик перетворення / О.Й. Рішан : Materialy X mezinarodni vedecko-practicka konference «Vedecky prumisl evropskeho kontinentu». – Прага, 2014. – С. 102–104.
2. Універсальний функціональний перетворювач для лінеаризації характеристик перетворення первинних вимірювальних перетворювачів / О.Й. Рішан, О.О. Пономаренко, Ю.Д. Захарчук // Науково-технічна інформація. – 2014. – № 3. – С. 54–56.
3. Дослідження основних параметрів ультразвукових інтерференційних рівнемірів на стоячій хвилі / О.Й. Рішан, Ю.М. Бородкіна // Науково-технічна інформація. – 2012. – № 1. – С. 56–59.
4. Способи зниження методичної похибки нелінійності ультразвукових інтерференційних методів контролю рівня рідин / О.Й. Рішан, В.О. Христенко // Науково-технічна інформація. – 2011. – № 4. – С. 54–56.