МГУА. Моделирование-2012 / *В.В. Бегун, В.В. Литвинов* : Матер. конф. – К. : ІПМЕ ім. Г.Е. Пухова, 2012. – С. 92–96.

6. *Гречанінов В.Ф.* Інформаційні технології аналізу стану техногенної безпеки та планування протидії надзвичайним ситуаціям: дис. … канд. техн. наук : 05.13.06 / *В.Ф. Гречанінов.* – К., 2014. – С. 20.

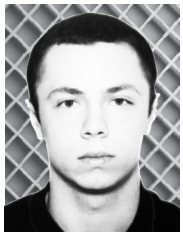
7. Закон України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності». – № 877-V. – 5.04.2007 р.

8. *Бегун В.В.* Мониторинг риска объектов повышенной опасности на основе предварительного моделирования / *В.В. Бегун* : Зб. наук. праць «Моделювання та інформаційні технології» Міжнар. наукового семінару «Моделювання-2010». – К. : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова, 2010. – Т.1. – С. 152–163.

9. *Гречанінов В.Ф.* Актуальні проблеми моделювання ризиків і загроз критичних інфраструктур. / *В.Ф. Гречанінов, В.В. Бєгун, В.П. Клименко, О.П. Яцук* // Науковий вісник Укр.НДІПБ. – 2015. – № 1. – С. 125–134.

УДК 681. 335 (088.8)

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 використовування 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:

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

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 похибки нелінійності в діапазоні від 0 до $\pi/2$ радіан приведені у таблиці.

Принципова блок-схема розробленого та дослідженого пристрою, що реалізує розглянутий спосіб лінеаризації, приведена 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 заряду конденсаторів; фіксуючі діоди **8** та **9**; вхід пристрою **10**; регульоване джерело **11** опорної напруги; блок **12** піднесення сигналу в квадратичний ступінь; операційний підсилювач **13**; блок **14** добування квадратного кореня; регульоване джерело **16** опорної напруги та операційний підсилювач **15**; частотний вихід **17** пристрою; **18** джерело опорної напруги на фіксуючі діоди.

Пристрій працює таким чином. Задають початкове значення напруги на фіксуючі діоди **8** та **9** від регульованого джерела **11** опорної напруги, від значення якої залежить початкова частота F_0 релаксації **RC**-генератора **1**. Під дією аналогового сигналу $f(h)$, що надходить через вхід **10** 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 ΔF (зростання відносного сигналу від 0 до 1,0) по відношенню до початкової частоти релаксації F_0. При цьому частотний сигнал повторює по виду 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 находять на вхід операційного підсилювача **13**, на виході останнього

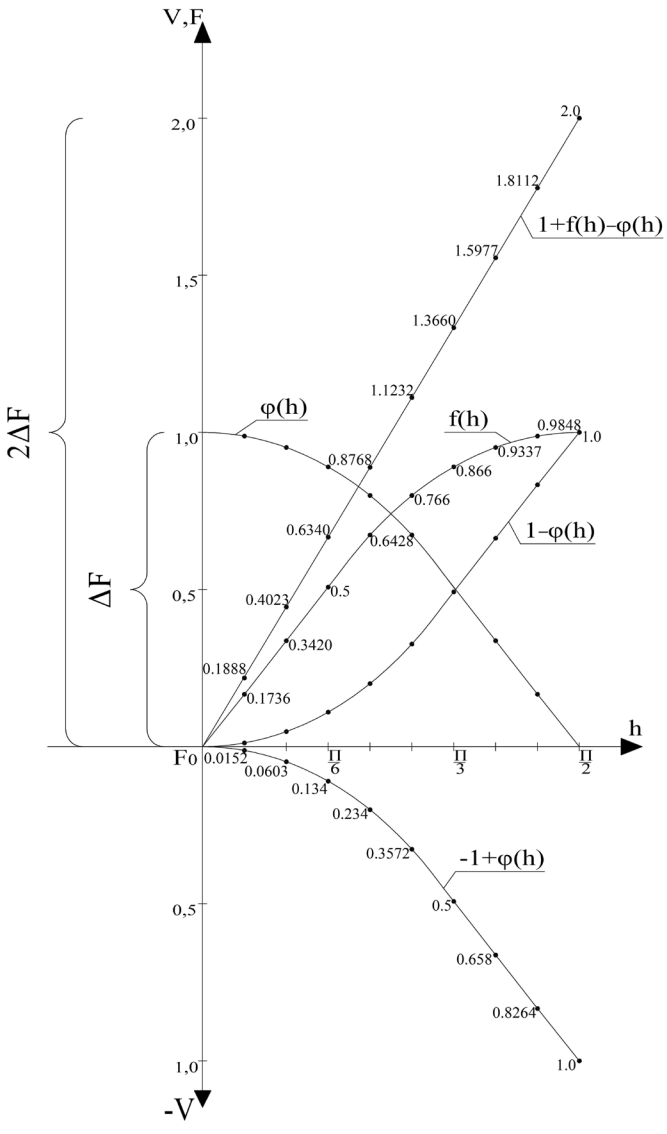


Рис. 1. Перетворення гармонічного вхідного аналогового сигналу ПВП синусоїдального виду f(h)

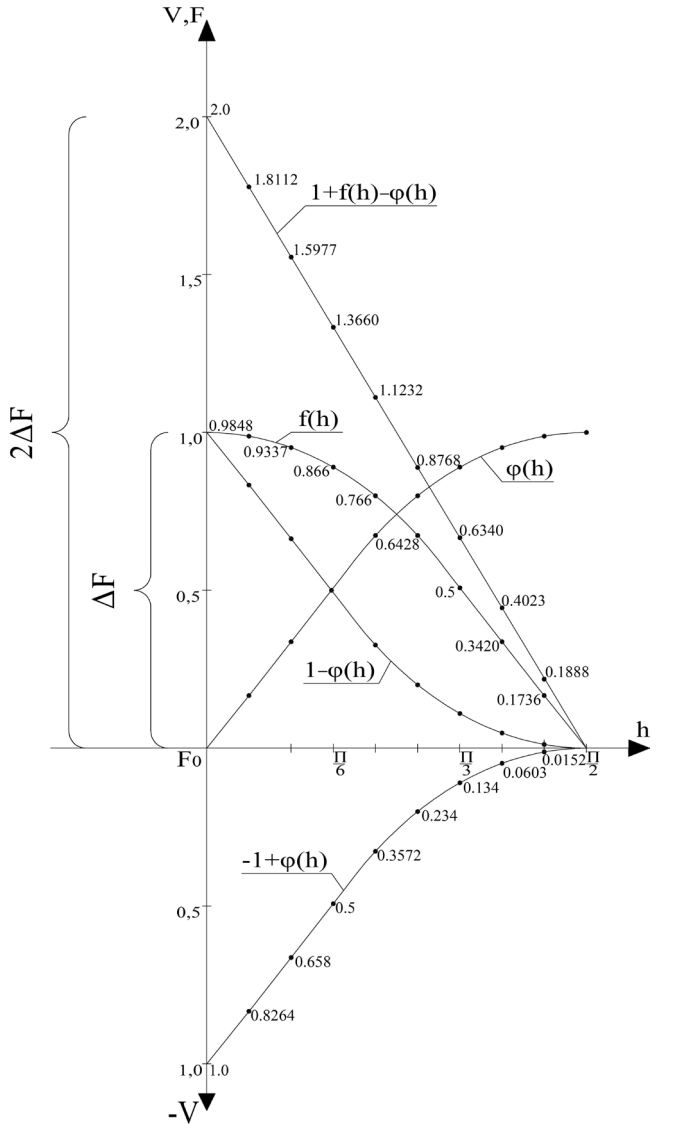


Рис. 2. Перетворення гармонічного вхідного аналогового сигналу ПВП косинусоїдального виду f(h)

Розрахунок вихідної лінеаризованої ХП ПВП

параметр / основні залежності	0	П/20	П/10	3П/20	П/5	П/4	3П/10	7П/20	2П/5	9П/20	П/2
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)-ϕ(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)-ϕ(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

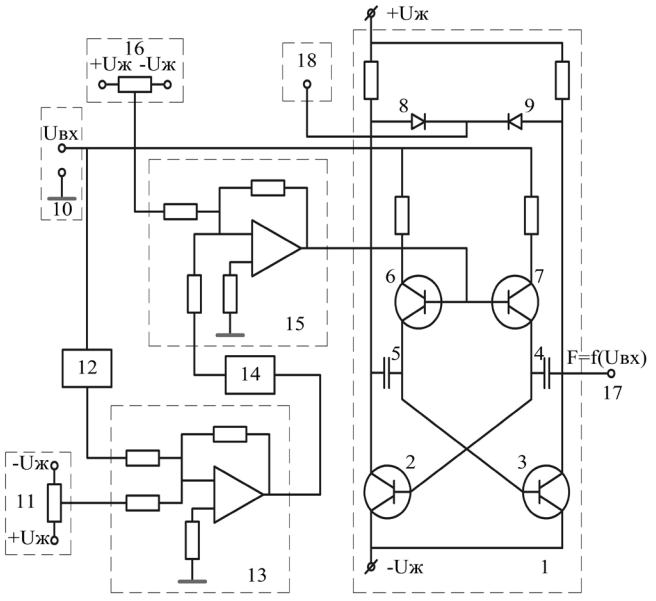


Рис. 3. Принципова блок-схема пристрою для лінеаризації

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.