

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ АМПЛІТУДИ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ

Запропоновано класифікацію засобів вимірювання амплітуди змінної напруги. Проаналізовано галузі, в яких можуть бути використані перетворювачі амплітуди. Проаналізовано швидкоплинні процеси, для дослідження яких можуть бути використані запропоновані перетворювачі. Розглянуто характеристики сучасної елементної бази, що є основою для побудови таких перетворювачів. Запропонована узагальнена структурна модель вимірювання амплітуди періодичного сигналу, наведений опис принципу її роботи.

The classification of measuring the amplitude of alternating voltage. Analysis of the field, which can be used converters amplitude. Analysis of transient processes, for research that could benefit from the proposed converters. We consider the characteristics of modern element base, which is the basis for the construction of such transformers. The proposed generalized structural model of measuring the amplitude of the periodic signal is given a description of the principle of its work

Ключові слова: вимірювання, амплітуда, періодичний сигнал, швидкоплинний процес.

Вступ

Третє тисячоліття світове співтовариство зустрівало в умовах глобалізації міжнародної торгівлі, історія розвитку та майбутнє якої органічно пов'язані із забезпеченням єдності та достовірності вимірювань.

В наш складний час, коли Україна прагне бути повноправною європейською країною, прагне інтеграції у міжнародне співтовариство неабиякої важливості набуває проблема забезпечення споживачів якісними і недорогими засобами вимірювання, конкурентоспроможними серед світових вимірювачів.

Системи вимірювання різноманітних параметрів та технічних характеристик радіотехнічних засобів завжди займали провідні позиції в науці та техніці. Без точного визначення відповідних значень неможлива побудова сучасних якісних систем радіозв'язку, радіолокації, навігаційних наземних та супутникових систем.

Україна має значні досягнення в галузі метрології та радіовимірювань. Так в практиці електрорадіовимірювань вимірювання напруги є поширеною операцією. При цьому визначається різниця потенціалів чи падіння напруги на ділянці електричного кола (на її елементі). Метою вимірювання постійної напруги є визначення її значення і знака полярності. При вимірюванні змінної напруги може бути визначений будь-який її параметр (амплітудне, середнє, середньоквадратичне, середньовипрямлене значення чи розмах сигналу).

Зусилля видатних науковців спрямовані на покращення метрологічних та технічних показників існуючих засобів вимірювання, зокрема на розроблення нових методів корекції характеристики перетворення вимірювального каналу, що є їх головною складовою.

Відповідно вдосконалення відомих методів для створення нових перетворювачів високочастотних періодичних сигналів в код є перспективною задачею на сьогоднішньому етапі розвитку вимірювальної техніки.

Постановка завдання

Теоретичні засади задач промислової томографії вказують на доцільність вимірювання амплітуди високочастотних періодичних сигналів, а не його середньоквадратичного чи середньовипрямленого значення. Оскільки від амплітуди відбитого сигналу залежить поточний образ просторового розподілу фізичних величин. Відслідковування зміни розмірів якого є актуальною задачею в атомній енергетиці, зокрема контроль ланцюгової реакції в атомному реакторі; в хімічній промисловості, зокрема контроль ланцюгової реакції крекінга, горіння, полімеризації і ряду інших реакцій в теплоенергетиці, зокрема контроль процесу кавітації в теплогенераторі, що дозволить здійснити об'єктивне керування протіканням технологічних процесів в промислових об'єктах, забезпечуючи технічну, економічну чи екологічну ефективність.

Проте аналіз вітчизняної та іноземної науково-технічної літератури і патентний пошук показав, що на сьогодні ці задачі вирішуються шляхом перетворення змінної напруги в, на перший погляд, еквівалентний параметр постійної напруги чи теплової енергії. Використання перетворювачів на основі амплітудного детектора призводить до зменшення чутливості, появи похибки перетворення, що відповідно призводить до спотворення результатів вимірювання. При цьому вимірювальний канал потребує стабілізації характеристики перетворення на що спрямовані зусилля науковців.

Існуючі засоби, які безпосередньо вимірюють амплітуду періодичних сигналів, перетворюють її в двійковий код та працюють лише на низьких частотах (сигма-дельта аналого-цифровий перетворювач) або мають низьку розрядність (паралельний АЦП) та відсутність синхронізації з вхідним сигналом, що в першому випадку унеможливує їх використання під час даних досліджень, а в другому призводить до збільшення похибки і часу обробки результатів вимірювання та відповідно зменшення чутливості приймача.

Отже, розроблення нових методів та високорозрядних засобів перетворення амплітуди високочастотних періодичних сигналів в двійковий код з високою швидкістю для розв'язання задач промислової томографії, під час вимірювань амплітудно-частотних характеристик, вимірювань амплітуди

генераторів сигналів є актуальним в науковому відношенні і корисним в практичному застосуванні.

Результати дослідження

Одним із найпоширеніших у природі і техніці є синусоїдний періодичний сигнал, миттєве значення напруги якого задається рівнянням [2]:

$$U(t) = U_m \sin(\omega t + j_0), \quad (1)$$

де U_m – амплітуда сигналу;

$\omega t + j_0 = j$ – повна фаза сигналу;

ω – колова частота;

j_0 – початкова фаза сигналу.

Відомо, що одним з інформативних параметрів синусоїдного сигналу, як видно з формули (1) є його амплітудне значення. Крім того радіотехнічна література, теорія сигналів оперують зокрема поняттям

амплітуда, через яке визначають середнє значення сигналу $U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt$, середньовипрямлене

$U_{cp.v.} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt$, середньоквадратичне $U_{скк} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt}$; його енергію $W = \int_{-\infty}^{\infty} U^2(t) dt$ та

потужність $P = \frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt$.

Амплітудне значення (амплітуда) U_m змінних електричних сигналів визначають як максимальне за період T значення від $|U_{ex}(t)|$, тобто:

$$U_m = \max |U_{ex}(t)|, \quad t_i \leq t \leq (t_i + T). \quad (2)$$

Крім того розрізняють амплітудні значення за позитивний U_m^+ і негативний U_m^- півперіоди електричного сигналу, а також розмах сигналу $U_{mm} = U_m^+ + U_m^-$.

У практиці вимірювань проблема визначення амплітудного значення змінних високочастотних сигналів полягає в знаходженні єдиного максимального значення вершини періодичного сигналу з найменшою кількістю етапів його перетворення (рис. 1).

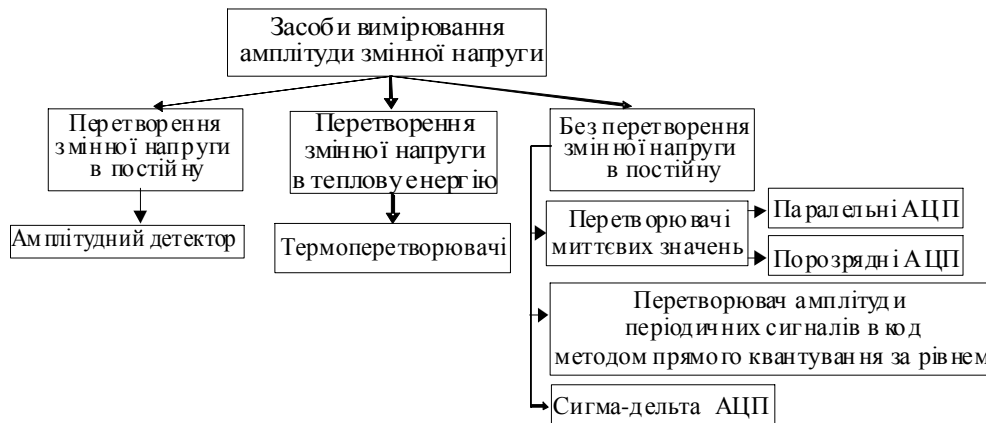


Рис. 1. Класифікація засобів вимірювання амплітуди змінної напруги

Амплітуда є важливим інформативним параметром для задач томографії. В ультразвуковій дефектоскопії за величиною амплітуди відбитого сигналу можна визначити розміри дефектів, а отже й своєчасно на них відреагувати. В радіогеодезії від амплітуди відбитого сигналу залежить площа об'єкту спостереження для оцінки об'єму корисних копалин. В медичній томографії (УЗД, МРТ) від величини амплітуди відбитого сигналу залежать розміри об'єктів спостереження, що дозволяє їх своєчасно виявити. В промисловій томографії від амплітуди відбитого сигналу залежать параметри образів просторового розподілу фізичних величин. При цьому корисна інформація міститься лише в молодших розрядах результатів первинних вимірювань, в діапазоні від декількох одиниць до (в найкращому випадку) декількох десятків відсотків результату. Завдяки цьому відбувається еквівалентне підсилення впливу похибок використовуваних вимірюваних засобів відносно інформативної частини результатів. Тому вимірювальні засоби повинні мати високу точність, чутливість та завадостійкість.

Від точності та швидкості вимірювання амплітуди відбитого сигналу залежить вимірювальна

інформація про просторовий розподіл величини в промисловому об'єкті, що впливає на своєчасне керування цим об'єктом і є однією з основних задач томографічних вимірювань [3].

Всі перераховані процеси можна вважати стаціонарними та відрізняються діапазоном частот зонduючого сигналу. Крім того існують швидкоплинні процеси, в яких час зміни розмірів об'єктів спостереження може становити від 10^{-3} с до 10^{-8} с (табл. 1). Тоді тривалість зонduючого сигналу є необмеженою у часі, амплітуда відбитого сигналу збільшуватиметься, а вплив зовнішніх шумів практично відсутній, оскільки процеси кавітації та ланцюгової реакції протікають в замкненому середовищі.

Таблиця 1

Області вимірювання швидкоплинних процесів

Область вимірювання	Процес, що залежить від амплітуди	Тривалість, с
Теплоенергетика, транспортування рідин, ехолокація	кавітація	$10^{-6} - 10^{-3}$
Атомна енергетика	Ланцюгова реакція ділення атомних ядер	$10^{-8} - 10^{-4}$
Хімічна промисловість	Крекінг Горіння Полімеризація	$10^{-5} - 10^{-3}$

У вимірювальних приладах деякі системи в якості перетворювачів амплітуди використовують амплітудний детектор, який випрямляє досліджувану змінну напругу, що призводить до впливу похибки перетворення на результат вимірювання та до зменшення чутливості засобу вимірювання; або термоперетворювач, який характеризується тепловою інерцією, що збільшує час вимірювання; або низькорозрядний аналого-цифровий перетворювач, який не синхронізований зі вхідним сигналом і здійснює миттєві вибірки значень амплітуди сигналу, що потребує накопичення певної кількості вибірок і подальшої їх обробки, а це призводить до збільшення часу вимірювання.

Однак існують високорозрядні сигма-дельта АЦП, які синхронізуються вхідним періодичним сигналом, здійснюють перетворення його амплітудного значення в цифровий код. Але суттєвим недоліком таких перетворювачів є те, що їх можливо використовувати лише на низьких частотах (десятки КГц) [1].

Швидкий розвиток та вдосконалення елементної бази, зокрема пристроїв порівняння (компараторів), дає можливість розробити та дослідити якісно нові перетворювачі амплітуди періодичних сигналів в цифровий код на основі удосконалених методів прямого квантування за рівнем та послідовного наближення.

Характеристики сучасних компараторів, які можливо використати для вимірювання амплітуди високочастотного періодичного сигналу наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики сучасних компараторів

Марка у виробника	Виробник	Частотний діапазон, ГГц	Час затримки, нс	Коеф. підсилення, дБ	Діапазон вхідних напруг, В
25706CP	Inphi	25	0,1	-	-
ADCMP573	AD	8	0,15	54	від -1,2 до +1,2
LT1720	LT	0,2	4,5	-	від -0,1 до ($U_{жс} - 1,2$)
HMC676LC3C	Hittite	10	0,1	45	від -2 до +2

Крім того є всі умови для створення високочастотних перетворювачів. Так вже сьогодні корпорація Hittite Microwave випускає подільники частоти на 8 марки HMC363, які працюють в діапазоні частот до 11 ГГц. А корпорація Inphi випускає подільники на 8 марки 25673DV, які можуть працювати в діапазоні частот до 25 ГГц. Поява високоінтегрованих і високошвидкісних програмованих логічних інтегральних схем корпорації Altera, які мають вбудовану мову опису цифрових засобів AHDL, дозволяє реалізовувати будь-які алгоритми в середині кристалу. Що також сприяє створенню нових цифрових перетворювачів [4].

Перетворювач амплітуди періодичних сигналів може бути реалізований за узагальненою структурною моделлю вимірювання амплітуди періодичного сигналу (рис. 2). Дана модель складається з пристрою порівняння ПП, що визначає різницеве значення напруги вхідного сигналу синусоїдної форми U_x та напруги, встановленої керуючою мірою U_c ; з вимірювальних перетворювачів, що відповідно підсилює сигнал П1, формує прямокутні імпульси П2; з пристрою керування мірою, що визначає рівень напруги на вході керуючої міри М; з пристрою реєстрації ПР, що відображає результат вимірювання амплітуди вхідного сигналу у вигляді числового значення.

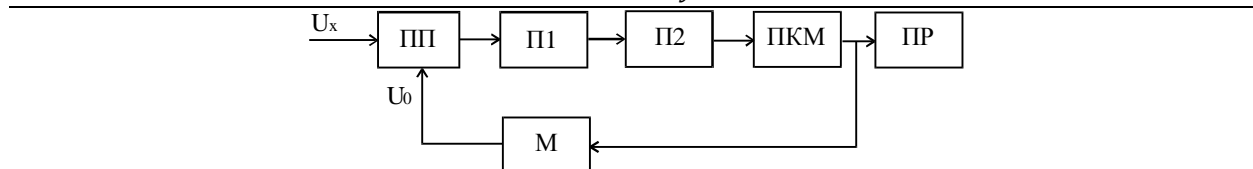


Рис. 2. Узагальнена структурна модель вимірювання амплітуди періодичного сигналу

Принцип роботи узагальненої структурної моделі полягає в наступному.

Напруга періодичного сигналу за допомогою пристрою порівняння порівнюється з сумарним значенням напруги, яка надходить до нього з виходу керуючої міри. ПП видає різницю напруг, яка потім підсилюється на рівні додатної (від'ємної) півхвилі періоду періодичного сигналу вимірювальним перетворювачем П1, рівень сигналу на його виході обмежується напругою живлення. Далі підсилена значення напруги за допомогою П2 перетворюється в послідовність прямокутних імпульсів, кількість яких підраховує ПКМ до моменту встановлення амплітудного значення напруги вхідного періодичного сигналу. Двійковий код з виходу пристрою керування мірою за допомогою керуючої міри перетворюється в значення постійної напруги, яка в свою чергу надходить до ПП. При встановленні на виході М напруги, що відповідає або перевищує амплітудне значення напруги вимірюваного періодичного сигналу, на виході пристрою порівняння і вимірювального перетворювача П1 буде відсутня змінна складова. Тому ПКМ припинить лічбу та процес вимірювання закінчиться. Двійковий код з виходу ПКМ надійде до пристрою реєстрації.

Висновки

Запропоновані методи перетворення амплітуди періодичних сигналів можна віднести до методів вимірювання без перетворення змінної напруги в постійну. Дані методи вимірювання амплітуди можуть бути реалізовані в томографії, ультразвуковій дефектоскопії, радіогеодезії. Крім того перетворювачі амплітуди періодичних сигналів можуть бути застосовані під час дослідження таких швидкоплинних процесів як: ланцюгова реакція, кавітація, крекінг, горіння, полімеризація. Для реалізації пристроїв порівняння може бути використана елементна база відомих фірм як Inphi, Analog Devices, Linear Tehnology, Hittite. Цифрова частина може бути виконана на високошвидкісних програмованих логічних інтегральних схемах фірми Altera. Запропонована узагальнена структурна модель вимірювання амплітуди періодичного сигналу може бути використана для реалізації перетворювачів амплітуди.

Література

1. Гельман М.М. Аналого-цифрові перетворювачі для інформаційно-вимірювальних систем / Гельман М.М. – М.: Видавництво стандартів, 2009. – 317с.
2. Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники: Учеб. пособие для студентов вузов спец. «Конструирование и производство радиоаппаратуры». Каяцкас А.А. – М.: Высш. шк., 1988. – 464с.
3. Електричні вимірювання. Підручник для студентів. Основи метрології і вимірювальна техніка. Том 2 [Дорожовець М., Б.Стадник В.Мотало та ін.] Видавництво НУ “Львівська політехніка”, Львів, 2005. – 654 с.
4. Троцишин І. В. Розробка та дослідження прямого методу квантування за рівнем для вимірювання амплітуди електричних сигналів / І. В. Троцишин, В. С. Петрушак, О. М. Петрушак // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2006. – № 68. – С. 189-192.

Надійшла 23.11.2011 р.
Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.