

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРОБОСКОПІЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ

Розглядаються структури сучасних стробоскопічних перетворювачів частоти, їх еквівалентна схема. Розглядається схема високошвидкісного стробуючого модуля фірми "Picosecond Pulse Labs" зі смугою пропускання до 25 ГГц, стробоскопічний АЦП.

The structures of modern stroboscopic transformers of frequency are examined, their equivalent chart. The Picosecond Pulse Labs Model 7040 sampler module has 25 GHz minimum bandwidth and samples at rates up to 10 Msample/s sampling rate, stroboscopic ADC

Ключові слова: фазовий детектор, стробоскопічний перетворювач частоти, дискретна система.

Вступ

Нові методи побудови фазовимірювальної апаратури знаходять широке застосування в радіотехнічних системах, створюють передумови для їх вдосконалення. В той же час розвиток радіотехнічних систем приводить до необхідності створення більш довершеної вимірювальної апаратури і метрологічної бази. Все це вимагає випереджаючого розвитку фазовимірювальної техніки, постійного оновлення парку фазовимірювальних і створення спеціалізованих приладів [1].

Найбільше поширення фазові методи знайшли у радіонавігаційній техніці для виявлення і визначення місцезнаходження об'єктів, вимірювання відстані, кутів. Сучасні радіотехнічні системи працюють в широкому діапазоні частот від 3 кГц до 300 ГГц. Фазові детектори розраховують на роботу у більш вузькому діапазоні. При цьому значними стають похибки вимірювання навколо верхньої межі робочого діапазону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасний фазовий детектор містить перетворювач аналогового сигналу в цифровий код з подальшою цифровою обробкою вимірювальної інформації. Узагальнена класифікація фазових детекторів виділяє пристрої без перетворення частоти і з перетворенням частоти [2].

Побудова фазових детекторів без перетворення частоти за методом перетворення фазового зсуву в інтервал часу включає аналогову частину на сучасних підсилювачах, компараторах, тригерах з максимальною робочою частотою до 1000 МГц. Для зменшення похибки за рахунок впливу фазових характеристик підсилювачів-обмежувачів, верхня гранична частота елементної бази повинна бути в 50 разів вище верхньої робочої частоти, що складає в цьому випадку 20 МГц. Такий робочий діапазон виявляється недостатнім для багатьох застосувань фазової дальнометрії, радіонавігації.

Застосування фазових детекторів з перетворенням частоти дозволяє збільшити робочі частоти до декількох гігагерц. Одним з перспективних методів перетворення частоти є стробоскопічне перетворення частоти. Подібний метод використовується у стробоскопічних осцилографах. Змішувачі і модулятори є важливою складовою частиною при побудові радіочастотних систем зв'язку. Для реалізації таких необхідних в системах зв'язку функцій як перетворення частоти, модуляція і демодуляція застосовується багато різних схем змішувачів, побудованих із застосуванням діодів, потужних ключових польових транзисторів з ізолюваним затвором, двозатворних польових транзисторів. Але у всіх цих схемах нелінійність напівпровідникових приладів, що використовуються, викликає спотворення при взаємодії в змішувачі двох або більше різних сигналів – так звані інтермодуляційні спотворення [2].

Модель кільцевого стробоскопічного перетворювача частоти

Структурна схема цифрового стробоскопічного перетворювача частоти представлена на рис. 1.

Цифровий зворотний зв'язок забезпечує лінеаризацію перетворення вхідного сигналу в стробоскопічному змішувачі. Цифровий зворотний зв'язок дозволяє виконувати програмну корекцію лінійності стробоскопічного перетворення.

Стробоскопічний перетворювач частоти дозволяє розширити частотний діапазон роботи фазових детекторів радіоелектронних систем. При цьому забезпечується зменшення похибок перетворення у порівнянні з класичними схемами на основі змішувачів частоти. Зменшується також зона невизначеності фазового детектора за рахунок вимірювання фазового зсуву на низькій проміжній частоті. Після стробоскопічного ключа сигнал стає дискретним, що полегшує його обробку за допомогою ЕОМ. Ефективність, швидкість і точність роботи такого перетворювача залежить від програмної обробки результатів вимірювання миттєвих значень сигналу.



Рис. 1. Структурна схема цифрового стробоскопічного перетворювача частоти

В основу аналізу схеми стробоскопічного перетворювача покладена безінерційна еквівалентна схема напівпровідникового діода, що враховує лише активний опір бази $p-n$ переходу [3].

Еквівалентна схема стробоскопічного перетворювача представлена на рис. 2.

На відміну від інших аналогічних схем, у даній замість дифузійної та бар'єрної ємності вводиться накопичувач заряду S . Накопичувач заряду відображає найбільш точно фізичний процес накопичення та розсмоктування неосновних носіїв заряду в базі діода.

Еквівалентна схема інерційного діода складається з безінерційного діода, включеного паралельно з накопичувачем позитивного заряду S опору бази діода R_δ , індуктивності діода (індуктивність контактної пружини) L_δ і ємності корпусу діода C_δ [3].

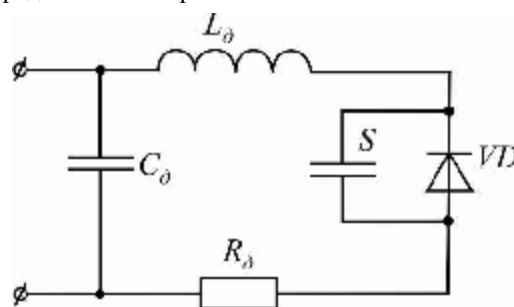


Рис. 2. Еквівалентна схема стробоскопічного перетворювача

Струм безінерційного діода i_p і накопичувача заряду i_k пов'язані співвідношенням: $i'_p = i_k / t_\delta$. Всі властивості накопичувача заряду S визначаються часом розсмоктування неосновних носіїв заряду t_δ – постійної часу діода.

Апроксимуємо вольт-амперну характеристику $p-n$ переходу діода в наступному вигляді:

$$i_\delta = i_{ze} \cdot (e^{Iu} - 1), \tag{1}$$

де i_{ze} – зворотний струм діода; I – показник експоненти, u – напруга на $p-n$ переході.

В якості стробоскопічного змішувача перспективно використовувати високошвидкісний стробуючий модуль фірми “Picosecond Pulse Labs” Model 7040 з смугою пропускання до 25 ГГц, структурна схема якого представлена на рис. 3.

Стробоскопічний компонент містить діодний змішувач, генератор строб-імпульсів, підсилювач. Діоди Шотки GaAs використовуються як для змішувача, так і у власній розробці компанії – нелінійній лінії передачі NLTL, яка забезпечує швидкий часовий перехід сигналу (строб-генератор).

Використання технології NLTL в генераторі строба дозволяє забезпечити апертуру, значно меншу ніж у генераторів строба на основі SRD, вживану в більшості комерційно доступних стробоскопічних осцилографів і векторних аналізаторів кола.

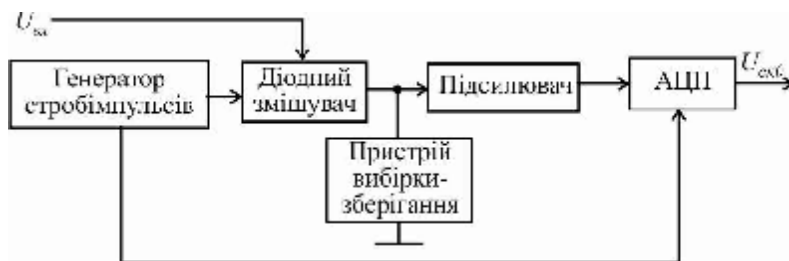


Рис. 3. Структурна схема високошвидкісного стробуючого модуля

Підсилювач заряду, застосований в даному модулі, обмежує швидкість проходження строб-імпульсів до 10 МГц, хоча модуль може працювати з швидкостями проходження імпульсів строба і до 10 ГГц. Діодний змішувач і лінія NLTL виготовлені з використанням тонкоплівкового напівпровідникового GaAs власної розробки і виробництва.

Компанія “Picosecond” виготовила і протестувала високошвидкісний стробоскопічний модуль еквівалентного часу, що включає змішувач, строб-генератор, підсилювач заряду ПЧ і схему компенсації перевантаження. Різні тести модулів були проведені як на вимірювальних системах власного виробництва, так і за допомогою «корзин» від комерційних стробоскопічних осцилографів. Зміряні характеристики модулів демонструють, що вони відмінно працюватимуть для побудови діаграм сигналів 40 Гб/с NRZ і RZ, так і для інших високошвидкісних широкосмугових електричних вимірювань. Сумарні характеристики модулів приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри стробоскопічного змішувача “Picosecond Pulse Labs”

Час наростання	3 пс
Смуга пропускання	До 25 ГГц
Лінійність	8% без корекції, 0,1% з корекцією
Власний шум	2,5 мВ
Частота проходження строб-імпульсів	до 10 МГц

Використовують також стробоскопічний аналого-цифровий перетворювач, структурна схема якого приведена на рис. 4.

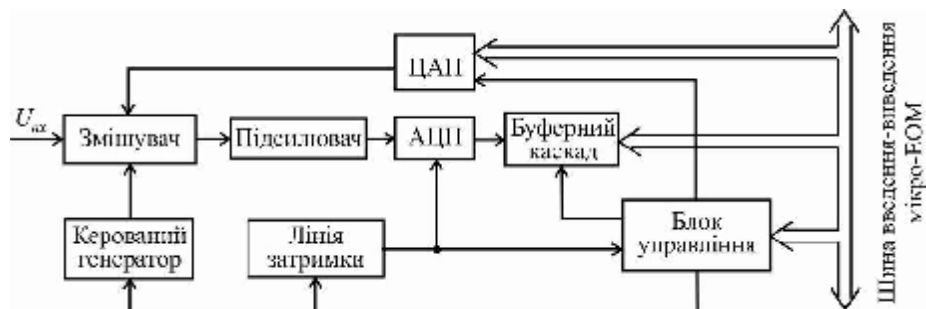


Рис. 4. Структурна схема стробоскопічного аналого-цифрового перетворювача

Стробоскопічний перетворювач забезпечує прочитування миттєвих значень вхідних сигналів і перетворення їх в цифровий код. З приходом на вхід пристрою сигналу запуску від блоку керування, генератор стробуючих імпульсів формує короткі імпульси, під дією яких короткочасно відкриваються швидкодіючі ключові схеми стробоскопічних змішувачів і на вхідних ємностях підсилювачів відбувається запам'ятовування миттєвих значень напруг досліджуваних сигналів. Підсилений сигнал з виходу стробоскопічного змішувача безпосередньо перетворюється в цифровий код за допомогою швидкодіючого паралельного аналого-цифрового перетворювача (АЦП) і через схему вихідного буферного каскаду поступає на мікро-ЕОМ. Елемент затримки сигналу запуску АЦП включений з метою усунення впливу перехідних процесів встановлення вихідних сигналів в стробоскопічному змішувачі [4].

У даному стробоскопічному АЦП використовується структура із зворотним зв'язком, що реалізує компенсаційний принцип вимірювання. Компенсуюча напруга подається на схему стробоскопічного змішувача з цифро-аналогового перетворювача (ЦАП). Сигнал на виході стробоскопічного змішувача пропорційний різниці вхідної і компенсуючої напруг. Зворотний зв'язок дозволяє істотно підвищити лінійність перетворення, понизити вимоги до розрядів АЦП. Досягається також висока точність відтворення сигналів, оскільки компенсуюча напруга в момент стробування практично дорівнює вхідній і схема змішувача не навантажує джерело вхідного сигналу.

Зворотний зв'язок в системі, що здійснюється через ЕОМ, дозволяє використовувати різні алгоритми статистичної обробки, проводити підстроювання контурного коефіцієнта передачі для отримання оптимальної перехідної характеристики.

Взаємодія стробоскопічного перетворювача з мікро-ЕОМ здійснюється за допомогою блоку керування, що забезпечує формування сигналів для організації програмного обміну і переривання програми.

Висновки

Отже стробоскопічний перетворювач частоти дозволяє розширити частотний діапазон роботи фазових детекторів радіоелектронних систем. При цьому забезпечується зменшення похибок перетворення у порівнянні з класичними схемами на основі змішувачів частоти. Зменшується також зона невизначеності фазового детектора за рахунок вимірювання фазового зсуву на низькій проміжній частоті. Після стробоскопічного ключа сигнал стає дискретним, що полегшує його обробку за допомогою ЕОМ. Ефективність, швидкість і точність роботи такого перетворювача залежить від програмної обробки результатів вимірювання миттєвих значень сигналу. Стробоскопічний перетворювач забезпечує прочитування миттєвих значень вхідних сигналів і перетворення їх в цифровий код. З приходом на вхід пристрою сигналу запуску від блоку керування, генератор стробуючих імпульсів формує короткі імпульси, під дією яких короткочасно відкриваються швидкодіючі ключові схеми стробоскопічних змішувачів і на вхідних ємностях підсилювачів відбувається запам'ятовування миттєвих значень напруг досліджуваних сигналів. Підсилений сигнал з виходу стробоскопічного змішувача безпосередньо перетворюється в цифровий код за допомогою швидкодіючого паралельного аналого-цифрового перетворювача (АЦП) і через схему вихідного буферного каскаду поступає на мікро-ЕОМ.

Література

1. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы / Пестряков В.Б. – М. : "Советское радио", 1968. – 468 с.
2. Чмых М.К. Цифровая фазометрия / Чмых М.К. – М. : Радио и связь, 1993. – 184 с.
3. Рубан В.П. Стробоскопический преобразователь видеоимпульсного георадара / В.П. Рубан, П.В. Холод // Радиопизика и радиоастрономия, 2002. – №12. – С. 67–72.
4. Гульчак Ю.П. Процесорні засоби вимірювання та аналізу часових параметрів сигналів : [монографія]. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 128 с.
5. Пятін І.С. Розширення частотного діапазону фазових детекторів радіоелектронних систем / І.С.

Надійшла 18.6.2012 р.
Рецензент: д.т.н. Шинкарук О.М.

УДК 621.396.96

Л.О. КОВТУН, В.Р. ЛЮБЧИК

Хмельницький національний університет

О.М. КИЛИМНИК

ДП "Подільський експертно-технічний центр", м. Хмельницький

ОГЛЯД МЕТОДІВ ПІДПОВЕРХНЕВОГО ЗОНДУВАННЯ

Проведено аналіз методів підповерхневого зондування та розглянута їх класифікація.

The analysis of methods geoelectromagnetic exploration and their classification have been proposed in the article.

Ключові слова: метод георозвідки, георадар, класифікація.

Вступ. Діагностика підземних комунікацій, ґрунтів під будівельні майданчики, дорожніх покриттів та злітно-посадкових смуг аеродромів, локальних неоднорідностей в ґрунті, мін, витоків з підземних сховищ палива, рівня ґрунтових вод, а також проведення геофізичних, археологічних та інших досліджень є задачею актуальною і досить важливою. Для розв'язання цих задач можуть застосовуватись георадари або, як їх іще називають, радари підповерхневого зондування. Слід зазначити, що особливістю георадарів є застосування надширококутних сигналів (відеоімпульсних, з дискретним переналаштуванням частоти), що розповсюджуються у середовищах з ярко вираженим затуханням та дисперсією [1].

На сьогодні не існує універсальної класифікації георадарів, що робить роботу дослідника складною та не дозволяє безпомилково обрати той чи інший метод для досліджень георадарів. Тому з'явилась необхідність у створенні класифікації, що і було поставлено за мету роботи.

Основна частина. Створення нових методів та засобів геодосліджень, розвиток вже існуючих методів та засобів неможливий без аналізу вже існуючих методів та засобів. На основі аналізу літературних джерел запропоновано класифікацію методів та засобів геодосліджень.

До класифікаційних ознак методів електророзвідки можна віднести наступні. За специфікою впливу на об'єкт дослідження, який обумовлює власне сам процес геодослідження та його особливості, за типом застосованих антен можна виділити:

- ґрунтові (контактні) антени, які безпосередньо контактують з поверхнею об'єкту досліджень;
- повітряні (рупорні) антени, які безпосередньо не стикаються з поверхнею об'єкту досліджень.

Недоліком перших георадарів є їх низька швидкість збору інформації. Тому для підвищення швидкості збору можуть бути застосовані повітряні антени. Проте вони дозволяють досліджувати ґрунти на значно меншій глибині.

За об'єктом дослідження методи георозвідки можуть бути поділені на наземні, свердловинні, аероелектророзвідні, морські, шахто-рудні (рис. 1).

Електророзвідка оснований на розділенні об'єктів дослідження за електромагнітними властивостями (наприклад, питомий електричний опір, електропровідність, електрохімічна активність, поляризованість, електрична та магнітна проникність). Таким чином, методи георозвідки можна класифікувати за видом поля, яке діє на об'єкт:

- природне змінне поле;
- постійне поле (опорів);
- фізико-хімічне (поляризаційне);
- низькочастотне (індуктивне) електромагнітне зондування та профілювання;

- високочастотне (радіохвильове) зондування та профілювання;

- надвисокочастотне (радіолокаційне);
- радіотеплова (інфрачервона та спектрометрична) зйомка.

Класична теорія електророзвідки постійним струмом заснована на вивченні середовищ, що відрізняються пасивністю (до включення струму середовище в електричному відношенні є нейтральним), лінійністю (напруженість поля в середовищі лінійно підвищується зі зростанням напруги струму), неполяризованістю (при пропусканні струму заряди не акумулюються в середовищі) і стаціонарністю (напруженість поля в кожній точці середовища однакова, якщо спосіб введення струму і сам струм незмінні). Такі середовища прийнято характеризувати лише питомим електричним опором, постійним в часі і незалежним від зовнішніх умов. Практика електророзвідки показує, що за існуючої невисокої точності спостережень (відносні похибки розрахункових параметрів поля досягають $\pm 5\%$) реальні геологічні



Рис. 1. Класифікація методів георозвідки за об'єктом дослідження