

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ АМПЛІТУДИ, ЩО БАЗУЮТЬСЯ НА ПЕРЕТВОРЕННІ ЗМІННОГО СТРУМУ В ПОСТІЙНИЙ

Досліджено роботу пасивних перетворювачів амплітудних значень (ПАЗ) з відкритим входом на основі діода Шоттки MBR0520L фірми "ON Semiconductor". Розглянуто та досліджено схеми активних ПАЗ. Вказано на переваги та недоліки використання пасивних та активних ПАЗ. Представлена залежність похибки вимірювання амплітуди змінного сигналу від його частоти. Дані залежності отримано за допомогою амплітудного детектора (АД) на основі діода Шоттки та за допомогою схеми активного ПАЗ. Встановлено, що використання сучасних високошвидкісних діодів Шоттки унеможливує вимірювання амплітуд сигналів менше 0,2В. Встановлено, що застосування активних перетворювачів дозволяє усунути цей недолік, але призводить до зміни коефіцієнта перетворення залежно від частоти вхідного сигналу.

Ключові слова: амплітуда, амплітудний детектор, перетворювач амплітудних значень.

V.S. PETRUSHAK

Khmelnyskyi National University

ANALYZE DEVICES FOR AMPLITUDE MEASUREMENT BASED ON AC CONVERTING TO DC

Means of measuring various parameters and technical characteristics of radio equipment always occupy leading positions in science and technology. Without precise definition of the corresponding values it is impossible to construct modern high-quality radio communication systems, radar, navigation ground and satellite systems. Ukraine has significant achievements in the field of metrology and radio measurements. So in the practice of electro-radio measurement, voltage measurement is a widespread operation. In this case, the difference in potentials or the voltage drop in the area of the electric circuit (on its element) is determined. The purpose of measuring the constant voltage is to determine its value and polarity sign. When measuring the voltage variable, any of its parameters (amplitude, average, rms, median directional value or signal swing) can be determined. Accordingly, the improvement of known methods for the creation of new converters of high frequency periodic signals into the code is a promising task at the present stage of development of measuring technology. The work of passive converters of amplitude values with open input on the basis of Schottky diode MBR0520L ON Semiconductor company is investigated. The schemes of active converters of amplitude values are considered and investigated. The advantages and disadvantages of the use of passive and active converters of amplitude values are indicated. The dependence of the error of measuring the amplitude of the variable signal on its frequency is presented. These dependences are obtained using an amplitude detector based on the Schottky diode and using the circuit of an active converter of amplitude values. It is established that the use of modern high-speed Schottky diodes makes it impossible to measure amplitudes of signals less than 0,2 V. It is established that the use of active converters can eliminate this defect, but it leads to a change in the conversion factor depending on the frequency of the input signal.

Keywords: amplitude, amplitude detector, converter of amplitude values.

Вступ

Засоби 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 розробку нових методів корекції характеристики перетворення вимірювального каналу, що є їх головною складовою [1].

Відповідно вдосконалення відомих методів для створення нових перетворювачів високочастотних періодичних сигналів в код є перспективною задачею на сьогоднішньому етапі розвитку вимірювальної техніки [2].

Постановка завдання

Для вимірювання параметрів напруги змінного струму можуть бути використані методи, які застосовуються для вимірювання напруги постійного струму.

Структурні схеми цифрових вольтметрів змінного струму відрізняються від структурних схем аналогічних типів вольтметрів постійного струму наявністю вимірювального перетворювача змінної напруги в постійну [3].

Для компенсації малої чутливості окремих перетворювачів використовують підсилювачі. Якщо підсилювачі включають у схему до перетворювача, то вони повинні мати широку смугу частот пропускання. Після перетворення використовується підсилювач постійного струму. У найпростіших вольтметрах змінного струму підсилювачі можуть бути відсутніми.

Результати дослідження

Існує багато способів перетворення амплітудного значення електричних сигналів, однак найпоширенішими у вимірювальній техніці є пасивні ПАЗ, в основу яких покладений принцип запам'ятовування максимального значення змінної напруги.

Пасивні ПАЗ являють собою діодно-конденсаторні випрямні схеми з однопівперіодним випрямленням, які будують з відкритими та закритими входами. Принципова різниця між цими схемами полягає в тому, що схема із відкритим входом пропускає сталу складову вхідного сигналу, а із закритим входом – не пропускає.

При вимірюванні амплітуди змінного сигналу АД напруги до 1В результати значно відрізняються від дійсних значень. На рис. 1 та рис. 2 представлені результати вимірювань амплітуди змінного сигналу АД, зібраного за класичною схемою ПАЗ з відкритим входом на основі діода Шоттки MBR0520L фірми "ON Semiconductor" [3].

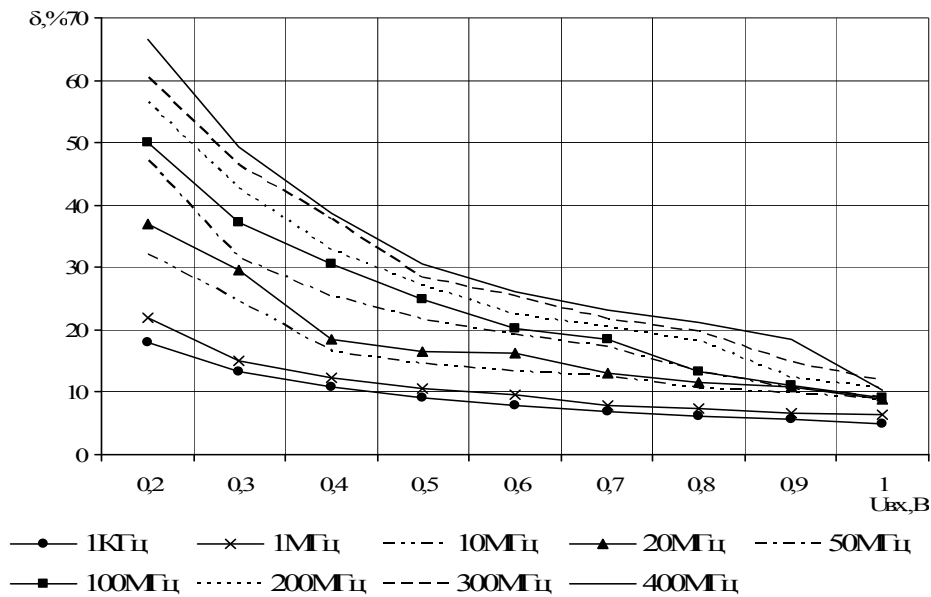


Рис. 1. Результати вимірювання амплітуди до 1В за допомогою детектора (діод MBR0520L) на частотах вхідного сигналу від 1 КГц до 400 МГц

Похибка вимірювання зростає із зменшенням напруги вхідного сигналу (рис. 1). Зокрема в діапазоні частот від 1КГц до 100МГц спостерігається збільшення відносної похибки вимірювання з 22% до 50% при встановленні вхідної напруги сигналу 0,2 В. А в діапазоні частот від 500 МГц до 1 ГГц (рис. 2) при тому ж значенні вхідної напруги відносна похибка вимірювання знаходиться в межах від 69% до 77%. Такі результати вказують на недоцільність використання АД для вимірювання амплітуди малих напруг, що пов'язано з не лінійністю вольт-амперної характеристики діода, що є головним його недоліком, який проявляється при вимірюванні малих сигналів.

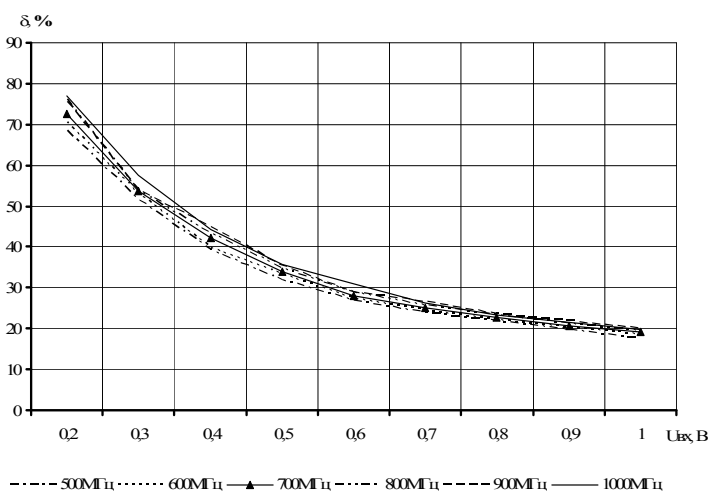


Рис. 2. Результати вимірювання амплітуди в діапазоні частот від 500 МГц до 1 ГГц за допомогою детектора (діод MBR0520L)

З графіка, представленого на рис. 2, видно, що підвищення частоти від 500 МГц до 1 ГГц призводить до погіршення результатів вимірювання. Зокрема при вимірюванні напруги від 0,6 В до 0,2 В відносна похибка знаходиться в межах від 27% до 69% на частоті досліджуваного сигналу 500 МГц.

Пасивні ПАЗ використовуються здебільшого на вході вимірювальних приладів амплітудних (пікових) значень електричних сигналів, в яких випрямлення сигналу передує його підсиленню. Для покращення метрологічних характеристик, зокрема підвищення точності, зменшення порогу чутливості і розширення діапазону перетворення в бік малих значень застосовують активні ПАЗ, побудовані на операційних підсилювачах.

Так в двокаскадному амплітудному детекторі, схему якого представлено на рис. 3 [4], при зростанні вхідної напруги $u_{вх}(t)$ діод VD1 зміщується в прямому напрямку та підключає C_3 до виходу операційного підсилювача (ОП) А1. При зменшенні $u_{вх}(t)$ діод VD1 зміщується у зворотному напрямі, відключаючи конденсатор C_3 від виходу підсилювача, і на C_3 зберігається раніше встановлена максимальна напруга. Діод VD2 фіксує вихідну напругу ОП на рівні U_D – напруга діода, що зменшує час, необхідний для переходу від режиму зберігання до режиму вибірки. Коло Reset розряджає конденсатор C_3 до нуля перед новим циклом детектування.

Для розв'язки C_3 від навантаження на виході детектора включають повторювач в коло загального зворотного зв'язку з вхідним ОП А1, що зменшує додаткову похибку детектування, зумовлену напругою зміщення нуля, вхідними струмами і кінцевим підсиленням за допомогою ОП А2. Похибку амплітудного детектора характеризують зміною напруги на конденсаторі C_3 в режимі зберігання і похибкою вибірки. Напруга на C_3 змінюється в режимі зберігання завдяки наявності вхідних струмів ОП і струмів діодів, польового транзистора в колі Reset. Для зменшення впливу струмів витоку діода VD1 включають додатковий діод VD3 і резистор R_2 . У режимі зберігання через R_2 протікає невеликий струм витоку діода VD1, завдяки цьому напруга на VD3 близька до нуля і практично відсутній струм витоку через цей діод в конденсатор C_3 . Для зменшення струму витоку в конденсаторі C_3 з кола Reset в схему додатково включені транзистор VT2 і резистор R_3 . У режимі зберігання через резистор R_3 протікає невеликий струм витоку транзистора VT1 (менше 10 нА) і напруги на емітері та колекторі VT2 майже рівні $u_e(t)$. Тому струм витоку між емітером та колектором VT2 зумовлений тільки невеликим струмом витоку емітер-база.

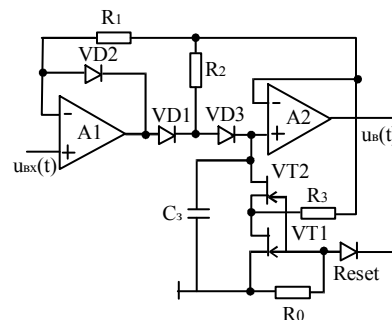


Рис. 3. Двокаскадний амплітудний детектор

Недоліком схеми є те, що опір відкритого кола Reset подвоюється. Це призводить до збільшення залишкової напруги на C_3 при включенні кола Reset.

При ввімкненні кола Reset через замкнутий VT1 протікає великий струм (близько 10 мА), що розряджає конденсатор C_3 , який створює значне падіння напруги на опорі R_0 відкритого польового транзистора. Тому уповільнюється розряд C_3 , що призводить до появи зони нечутливості амплітудного детектора при швидкій зміні циклів детектування. Тому залишкова напруга на конденсаторі C_3 є помилковим першим екстремумом досліджуваної вхідної функції.

Для зменшення залишкової напруги вихід підсилювача А1 шунтують додатковим польовим транзистором, що працює синхронно з VT1. Завдяки цьому вихідний струм А1 не протікає через VT1 доти, доки напруги на виході А1 менше напруги на відкритому діоді VD1. У такій схемі типи транзистора і підсилювача необхідно вибирати враховуючи мінімальне значення опору відкритого транзистора і максимального вихідного струму ОП. Залишкову позитивну напругу кола Reset можна також усунути, якщо C_3 розряджається до негативної напруги. В цьому випадку амплітудний детектор реагує на максимуми позитивної напруги будь-якої амплітуди.

Статичні похибки вибірки зумовлені не ідеальністю ОП. Динамічні похибки вибірки виникають завдяки обмеженій швидкості зростання вихідної напруги підсилювача і викидів перехідного процесу при заряді C_3 .

Час вибірки амплітудного детектора – це мінімальний час, необхідний для переходу з режиму зберігання в режим слідування за вхідним сигналом із заданою точністю. Цей час визначається тривалістю заряду конденсатора і встановленням вихідної напруги із заданою точністю. Якщо цей час буде більшим, ніж тривалість максимуму вхідного сигналу, то амплітудний детектор не зафіксує його дійсної величини.

Окрім однопівперіодних АД існують двопівперіодні АД (рис. 4) [5], які складаються з суміщених детекторів, призначених для обробки додатної та від'ємної півхвилі вхідного сигналу.

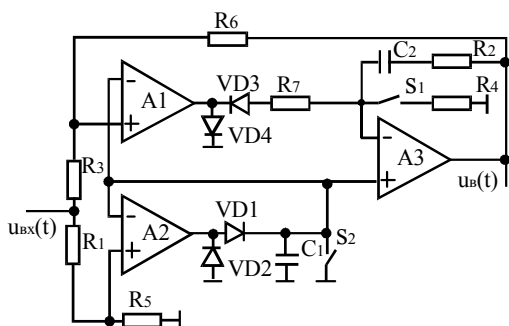


Рис. 4. Двопівперіодний амплітудний детектор

Амплітудний детектор додатної півхвилі вхідного сигналу виконаний на підсилювачі А2, діодах

VD1 і VD2 і конденсаторі C_1 . Зменшення в два рази сигналу на вхідному резистивному подільнику R_1 , R_3 компенсується далі підсилювачем А3, тому загальне підсилення вхідного сигналу дорівнює одиниці. Підсилювачі А3 і А1 разом з своїми елементами в колі зворотного зв'язку реалізують інвертуючий амплітудний детектор від'ємної півхвилі вхідного сигналу. У цій схемі вихід детектора додатної півхвилі забезпечує опорну напругу для детектора від'ємної півхвилі. Завдяки цьому підсилювач А3 підсумовує підсилений вихідний сигнал детектора додатної півхвилі з вихідною напругою детектора від'ємної півхвилі. Коло резистивного подільника R_1 , R_3 використовується для узгодження напруг зміщення сигналів обох детекторів.

Крім того, відповідно підібраними ємностями можна компенсувати вплив вхідних струмів підсилювачів А1 і А2 на швидкість спаду напруги на конденсаторі C_1 . При рівності вхідних струмів всіх трьох ОП умова компенсації визначається співвідношенням $C_1=3C_2$. Для визначення похибки двопівперіодного детектора необхідно додати похибки детекторів додатної і від'ємної півхвилі вхідного сигналу, враховуючи, що вхідний подільник подвоює напругу зміщення нуля підсилювача А2. Резистивний подільник R_2 в два рази збільшує напругу зміщення нуля А3, а посилення в колі зворотного зв'язку подвоює похибку коефіцієнта передачі підсилювача А3.

Швидкість роботи двопівперіодного детектора обмежується в першу чергу тривалістю перехідного процесу на конденсаторах, а при великому опорі резистора R_2 час готовності схеми значно збільшується завдяки обмеженій швидкості заряду конденсатора C_2 . Підсилювачі А1 і А2 повинні зберігати великий вхідний опір при вхідних перевантаженнях для уникнення розряду C_1 в режимі зберігання.

Вплив частотної похибки на результати вимірювання АД, побудованого на основі діода Шотткі MBR0520L та ОП LT1809 [6], з розширенням діапазону амплітудних значень в бік малих напруг представлено на рис. 5.

Використання ОП в амплітудних детекторах дозволяє суттєво зменшити похибку вимірювання амплітудних значень напруг малих сигналів (0,2 В) з 22% (рис. 1) до 4% (рис. 5). Але при цьому значно звужується частотний діапазон. Тобто при амплітуді вхідного періодичного сигналу 0,1 В та частоті 6 МГц відносне значення частотної похибки становить 40%; при характеристиках вхідного сигналу 0,3 В та 7 МГц - $\delta = 36,67\%$; при характеристиках вхідного сигналу 0,6 В та 8 МГц - $\delta = 31,67\%$.

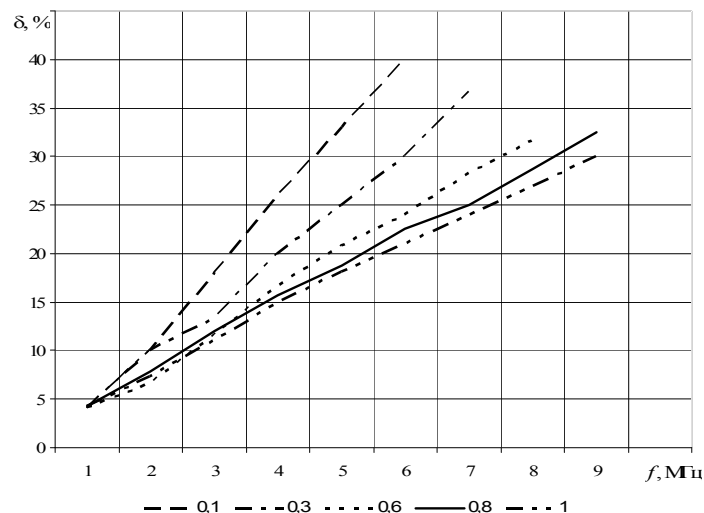


Рис. 5. Вплив частотної похибки на результати вимірювання однопівперіодним АД

Отже, навіть використання в схемах активних ПАЗ широкосмугового операційного підсилювача LT1809, який працює на частотах до 360 МГц дозволяє здійснювати вимірювання лише в діапазоні робочих частот до 10 МГц.

Висновки

1. В результаті огляду засобів перетворення змінної напруги в постійну для вимірювання її амплітудного значення встановлено вплив головного недоліку перетворювача на основі амплітудного детектора, що пов'язаний з не лінійністю вольт-амперної характеристики діода.

2. Встановлено, що навіть використання сучасних високошвидкісних діодів Шотткі унеможливило вимірювання амплітуд сигналів менше 0,2 В. Застосування ж активних перетворювачів дозволяє усунути цей недолік, але призводить до зміни коефіцієнта перетворення в залежності від частоти вхідного сигналу.

3. З'ясовано, що вказані недоліки ускладнюють використання перерахованих методів і засобів для контролю таких швидкоплинних процесів, як наприклад, швидке виділення теплової енергії під час ланцюгової реакції в атомному реакторі (час реакції 10^{-4} - 10^{-8} с) чи різке посилення процесу кавітації в нафтопроводі під час транспортування нафти.

Література

1. Петрушак, О. М. Особливості вимірювання амплітуди періодичних сигналів / О. М. Петрушак, В. С. Петрушак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – № 1. – С. 200–203.
2. Petrushak V. S. Measurement of the amplitude of periodic signals using the Fibonacci method / V. S. Petrushak // Приборы и методы измерений. – 2018. – Т. 9. № 2. – С. 168–173.
3. Електричні вимірювання. Основи метрології і вимірювальна техніка : підручник для студентів. Том 2 / [Дорожовець М., Стадник Б., Мотало В. та ін.]. – Львів : Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2005. – 654 с.
4. Специфікація до компонента MBR0520L. ON Semiconductor [Електронний ресурс]. – 2012. – 4 с. Режим доступу : <http://www.onsemi.com/pub/Collateral/MBR0520LT1-D.PDF>.
5. Метрология и радиоизмерения : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов “Радиотехника”/ Нефёдов В.И., Хахин В.Н. и др. – М. : Высшая школа, 2003. – 526 с.
6. Специфікація до компонента LT18099. Linear Technology Corporation [Електронний ресурс]. – 2000. – 24 с. – Режим доступу : <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/180910fa.pdf>.

References

1. Petrushak, O. M. Osoblyvosti vymiryuvannya amplitudy periodychnykh syhnaliv / O. M. Petrushak, V. S. Petrushak // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2012. – № 1. – S. 200–203.
2. Petrushak V. S. Measurement of the amplitude of periodic signals using the Fibonacci method / V. S. Petrushak // Pribory y metody yzmerenyi. – 2018. – T. 9. № 2. – S. 168–173.
3. Elektrychni vymiryuvannya. Osnovy metrolohii i vymiryuvalna tekhnika : pidruchnyk dlia studentiv. Tom 2 / [Dorozhovets M., Stadnyk B., Motalo V. ta in.]. – Lviv : Vyd-vo NU “Lvivska politekhnika”, 2005. – 654 s.
4. Spetsyfikatsiia do komponenta MBR0520L. ON Semiconductor [Elektronnyi resurs]. – 2012. – 4 s. Rezhym dostupu : <http://www.onsemi.com/pub/Collateral/MBR0520LT1-D.PDF>.
5. Metrologija i radioizmerenija : uchebnik dlja studentov vuzov, obuchajushhihsja po napravleniju podgotovki diplomirovannyh specialistov “Radiotekhnika”/ Nefjodov V.I., Hahin V.N. i dr. – M. : Vysshaja shkola, 2003. – 526 s.
6. Spetsyfikatsiia do komponenta LT18099. Linear Technology Corporation [Elektronnyi resurs]. – 2000. – 24 s. – Rezhym dostupu : <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/180910fa.pdf>.

Рецензія/Peer review : 06.02.2019 р.

Надрукована/Printed : 16.2.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Підченко С.К.