

Р. А. Поведа¹, С. В. Оптасюк²

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
 e-mail: ¹povedar@gmail.com, ²optasyuk.s@kpnpu.edu.ua; ORCID: ²0000-0003-1784-7155

МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННОГО ДЕТЕКТОРА ЯК СКЛАДОВОЇ СИСТЕМ ОБМІНУ ДАНИМИ

У статті описано принцип роботи синхронного амплітудного детектора та побудована його модель у віртуальному середовищі Multisim WorkBench. Порівняно рівень нелінійних спотворень синхронного детектора з іншими моделями простого детектора та балансного. Продемонстровано, що синхронний детектор на аналоговому помножувачі має найкращі характеристики за критерієм нелінійних спотворень при однакових параметрах вхідного сигналу. Продемонстровано, що віртуальна лабораторія Multisim WorkBench володіє високою достовірністю та наочністю при моделюванні амплітудних детекторів різних принципів роботи.

Ключові слова: синхронний детектор, віртуальна модель, Multisim WorkBench, амплітудна модуляція, фазова модуляція.

Сучасні системи передачі даних – WiFi, 3G, 4G, модемів, мобільних телефонів та інші переважно складаються з «програмної» та «апаратної» частини. Звісно, основна робота з обробки сигналів виконується програмними засобами з допомогою складних алгоритмів, проте це все одно не виключає необхідність первинної обробки сигналів, їх підсилення та детектування до потрапляння на вхід АЦП. В цьому розрізі детально розуміння роботи основних «апаратних» функціональних блоків, а саме – синхронного детектора, без якого не обходиться будь-який прилад прийому-передачі даних та порівняння основних характеристик завжди залишається актуальним.

Можливість синхронного прийому було запропоновано досить давно у роботі [1], але через недосконалість елементної бази, схемотехнічно синхронний детектор так і не був побудований. Синхронне детектування широко застосовується у вимірювальних системах, оскільки разом з синхронним підсилювачем дозволяє детектувати корисні сигнали на фоні переважаючих перешкод. У роботі [2] розглянуто новий технологічний шлях побудови синхронних детекторів, які забезпечують високоякісне детектування сигналів з амплітудною модуляцією (АМ), амплітудно-фазовою модуляцією (АФМ) та побудова змішувачів з відсутнім дзеркальним каналом в трактах прямого перетворення, що є по суті окремим випадком синхронного детектора.

Рівень нелінійних спотворень, як правило, є важливим критерієм для оцінки роботи аналогових помножувачів сигналів, що використовуються в якості змішувачів, синхронних амплітудних детекторів, амплітудних модуляторів та інших пристроїв з підвищеною роздільною здатністю.

Велике поширення серед комп'ютерних пакетів у галузі автоматизованого проектування та моделювання аналогових, цифрових, імпульсних та змішаних схем отримав пакет Multisim WorkBench компанії National Instruments. NI Multisim – це програмний пакет, що дозволяє моделювати електронні схеми та розводити друковані плати. Головна особливість NI Multisim WorkBench – це простий і наочний інтерфейс, швидкі алгоритми розрахунку електричних кіл, потужні засоби графічного аналізу результатів моделювання, наявність віртуальних вимірювальних приладів, що копіюють реальні аналоги, можливість підключення реальних приладів через спеціалізовані інтерфейси. Бібліотека елементів містить ве-

лику кількість SPICE-моделей компонентів National Semiconductor, Analog Devices, Phillips, NXP та інших виробників. Все це робить дане віртуальне середовище зручним та наочним при використанні в навчальному процесі та дослідницькій роботі, що і було використано в роботах [3, 4].

При синхронному детектуванні амплітудно- або фазово-модульований сигнал множить на опорне немодульоване коливання з частотою несучого коливання, потім сигнал пропускається через ФНЧ. В результаті множення отримується сигнал, що складається з двох компонентів, перший з яких прямо пропорційний до вхідного модульованого сигналу, а другий – амплітудно-модульованому сигналу з подвоєною частотою. Другий компонент фільтрує ФНЧ, таким чином залишається сигнал, прямо пропорційний інформаційному сигналу. В цьому плані синхронний детектор не має принципових відмінностей від перетворювачів частоти – вироджений змішувач у якого коливання опорного генератора та сигналу є синфазними. Через використання в синхронних амплітудних детекторах інформації про фазу сигналу, вдається повністю виключити ортогональну по відношенню до корисного сигналу складову перешкоди і забезпечити більш високу стійкість роботи. При синхронному детектуванні відношення потужності сигналу до потужності флуктуаційної перешкоди на виході синхронного амплітудного детектора лінійно залежить від відношення сигнал-перешкода на його вході. Лінійні властивості синхронного амплітудного детектора зумовлюють високу стійкість перед перешкодами. Крім того, синхронний амплітудний детектор не має властивість придушення слабого сигналу сильною перешкодою, що істотно полегшує обробку сигналу при переважаючих перешкодах (рис. 1).

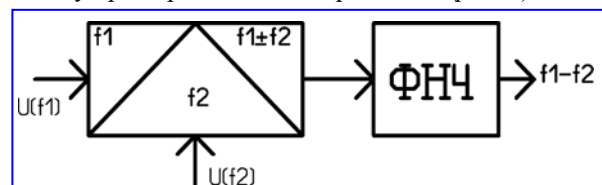


Рис. 1. Структурна схема синхронного детектора

Амплітудні детектори можуть бути побудовані на аналогових помножувачах спільно з ФНЧ [5].

Якщо на один з входів помножувача подається напруга сигналу

$$u(f_1) = U(f_1) \times \cos(\omega_1 t + \Phi_1),$$

на інший – напруга опорного генератора

$$u(f_2) = U(f_2) \times \cos(\omega_2 t + \Phi_2),$$

то на виході помножувача з коефіцієнтом передачі K для синхронного режиму $\Phi = \Phi_1 = \Phi_1$:

$$u(f_1) = K \times u(f_1) \times u(f_2) = 1/2 \times K U(f_1) \times [1 + \cos(\omega_1 t + 2\Phi)].$$

Після проходження ФНЧ:

$$u(f_1 - f_2) = 1/2 \times K U(f_1) U(f_2).$$

При наявності фазового зсуву $\psi = |\Phi_1 - \Phi_2| \neq 0$ між коливанням сигналу і опорним генератором амплітуда коливання на виході синхронного детектора дорівнюватиме:

$$u(f_1 - f_2) = 1/2 \times K U_1 (1 + U_{mod} \times \cos \Omega t) \times U(f_2) \cos \psi.$$

Тобто, максимальне значення $u(f_1 - f_2)$ досягається при величині фазового зсуву $\psi = 2k\pi$, де k – ціле число.

Для практичного порівняння якості характеристик діодного детектора і синхронного детектора використовувалися робочі схеми, наведені на *рис. 2* і *рис. 3* відповідно. В якості детекторного діоду обраний кремнієвий напівпровідниковий діод 1N4149, синхронний детектор реалізований на аналоговому помножувачі AD734AN.

У процесі симуляції аналізатор нелінійних спотворень показав досить високий відсоток, що в прецензійних вимогах до параметрів демодульованого сигналу виявляється неприйнятним в більшості випадків. Очевидно, що такі спотворення зумовлені нелінійним характером ВАХ напівпровідникових діодів на початку позитивної гілки внаслідок контактної різниці потенціалів $p-n$ переходу яка складає для кремнієвих діодів 0,3–0,8 В, а для арсенід-галієвих більше одного вольтя.

Очевидно з *рис. 3*, що синхронний детектор забезпечує значно менший рівень нелінійних спотворень, що в свою чергу позитивно відбивається на реальних характеристиках. Внаслідок наявності опорного сигналу синхронний детектор також демонструє вибірковість по АЧХ, як наведено на *рис. 4* (говорити про будь-яку вибірковість елементарного детектора не має сенсу). У разі використання синхронного детектора в комплексі з синхронним підсилювачем це дозволяє різко покращити чутливість та вибірковість такого тракту.

За принципом синхронного детектування працюють приймачі з прямим перетворенням сигналу. Вибравши частоту гетеродина f_c рівну частоті сигналу f_c , отримуємо рівну нулю проміжну частоту

$$(f_{np} = f_2 - f_c = f_c - f_c = 0),$$

внаслідок чого спектр інформаційного повідомлення переноситься відразу в область прийнятних для подальшої обробки частот.

На *рис. 5* змодельоване використання синхронного детектора в тракті прямого перетворення. Як помножувач використано балансний змішувач на двох зустрічно включених діодах. Один з діодів відкривається на піках позитивних напівхвиль сигналу гетеродина, а інший – на піках негативних. В результаті опір паралельно включених діодів зменшується двічі за період гетеродинної напруги, тому такий змішувач працює з опорним сигналом в якого частота вдвічі менша від частоти сигналу, що також позитивно відбивається на характеристиках – проникнення опорного сигналу на вхід такого детектора не призводить до будь-яких негативних ефектів.

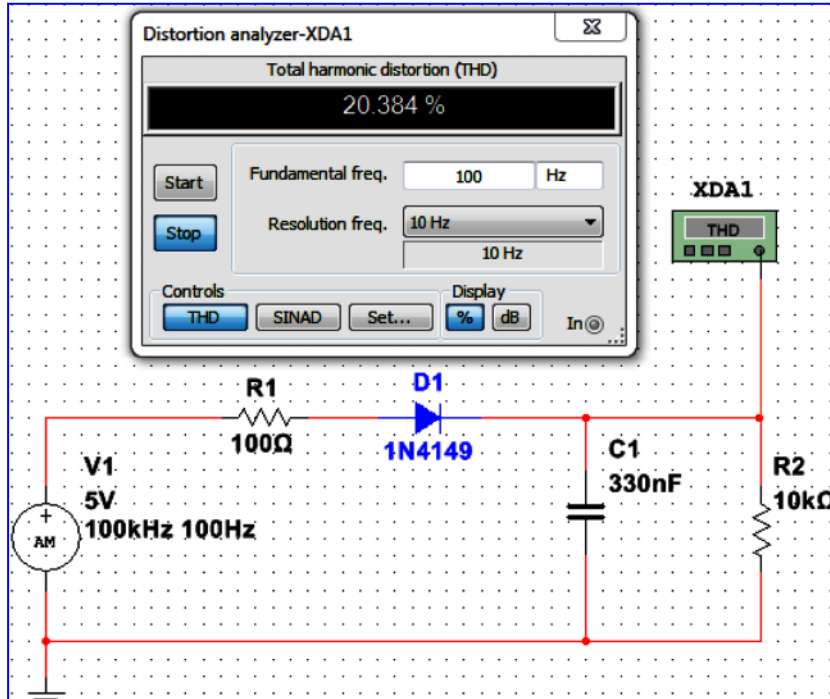


Рис. 2. Простий детектор на діоді 1N4149

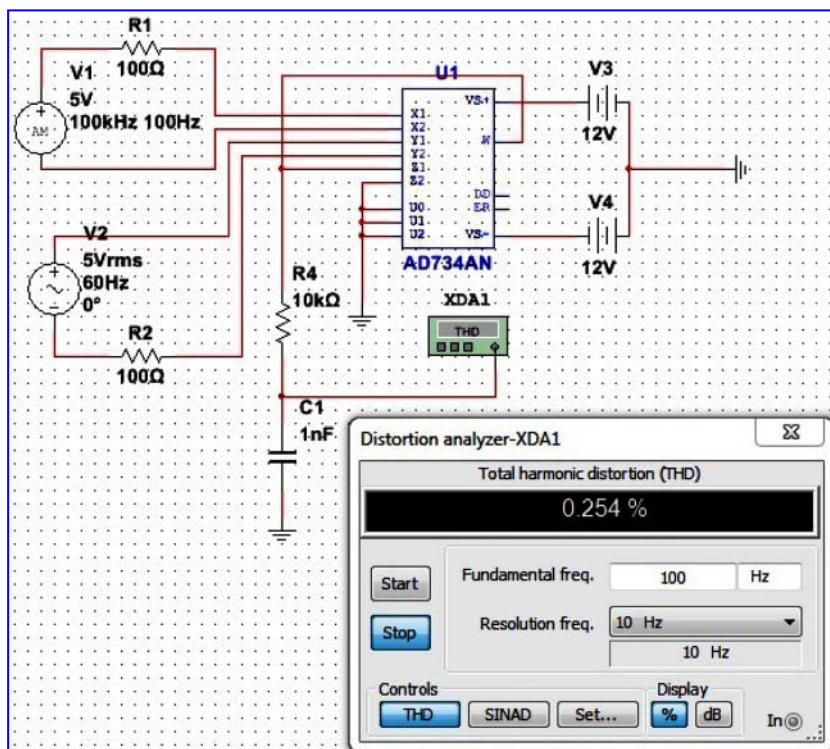


Рис. 3. Синхронний детектор на аналоговому помножувачі AD734AN

При детектуванні модульованого сигналу важливо його достовірно відтворити, особливо в високошвидкісних бездротових системах обміну даними, де одночасно для кодування інформації використовують різні способи модуляції – фазову, амплітудні, частотну. Критерієм в цьому випадку виступає рівень нелінійних спотворень. Коефіцієнт гармонік в усіх випадках вимірювався при рівні входного сигналу 5 вольт, частоті несучої 100 КГц, частоті модуляції 100 Гц, коефіцієнті АМ модуляції 70%. В результаті порівняння отриманих в ході моделювання параметрів елементарного діодного детектора, синхронного та балансного встановлено, що синхронний детектор має найменший коефіцієнт нелінійних спотворень – 0,25% відносно 20% у простого детектора чи навіть балансного, у якого рівень нелінійних спотворень близько 2%. Отже синхронний детектор володіє найбільшою вірністю відтворення сигналу.

Список використаних джерел:

1. Момонт Е.Г. Проблемы и техника синхронного радиоприема. Ленинград: Госэнергоиздат, 1941. 172 с.
2. Коханов А.Б. Технология синхронного детектирования сигналов. *Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника*. Киев. 2007. № 11. Т. 50. С. 14-25.
3. Поведа Р.А., Опгасюк С.В. Моделирование электрических vlastивостей мемристора. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2019. Вип. 25: Управління інформаційно-навчальним середовищем як концептуальна основа результативності фізико-технологічної освіти. С. 137-140.
4. Поведа Р.А. Моделирование экспериментов Николаи Тесла у виртуальной лаборатории Workbench. *Наукові праці Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка* : збірник за підсумками звітної наукової конференції викладачів, докторантів та аспірантів. У 5-ти томах. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2010. Вип. 9. Т. 2. С. 44-45.
5. Поляков В.Т. Радиолюбителям о технике прямого преобразования. Москва: «Патриот». 1990. 264 с.

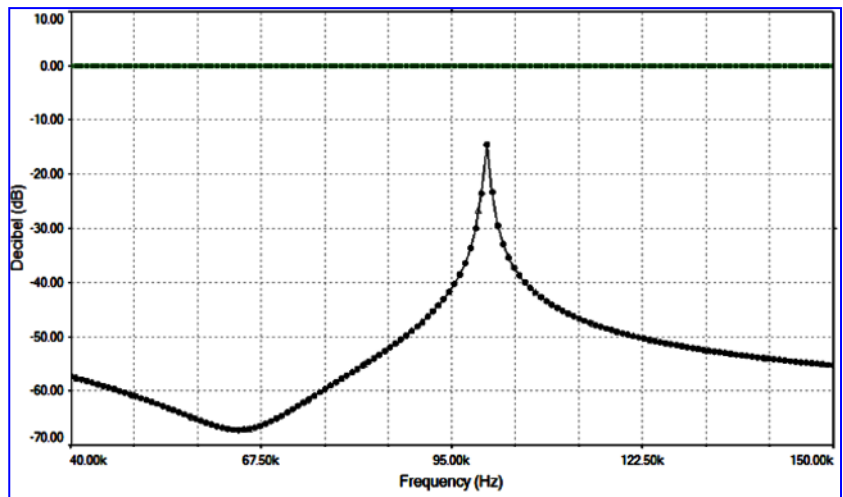


Рис. 4. АЧХ синхронного детектора на аналоговому помножувачі AD734AN

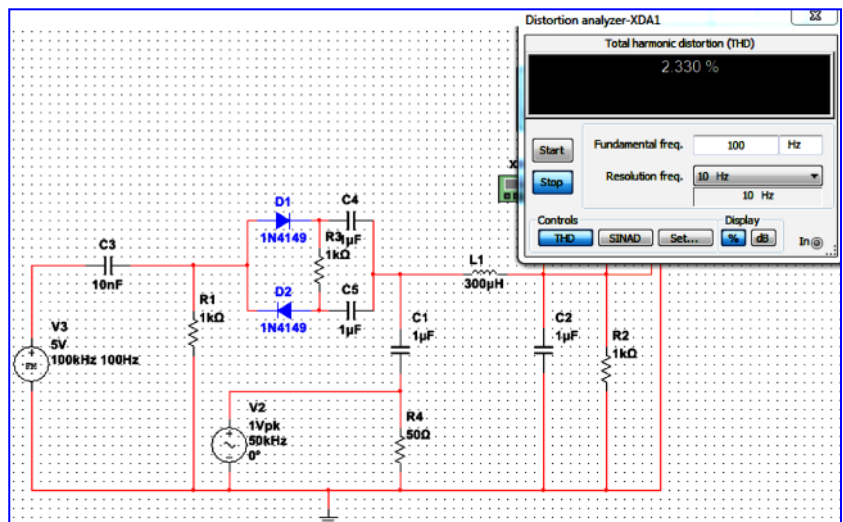


Рис. 5. Приклад використання синхронного детектора в тракті прямого перетворення

Ruslan Poveda, Sergey Optasyuk

Kamianets-Podilskyi National Ivan Ohienko University

MODELING THE CHARACTERISTICS OF A SYNCHRONOUS DETECTOR AS A COMPONENT OF DATA EXCHANGE SYSTEMS

The principle of operation of a synchronous amplitude detector is described and its model in the virtual medium Multisim Workbench is constructed. A relatively level of nonlinear distortion of a synchronous detector with other models of a simple detector and balancer. It is shown that synchronous detector on analog multiplying has the best characteristics on the criterion of nonlinear distortions with the same parameters of the input signal. It is shown that the Virtual Laboratory MultiSim Workbench has high reliability and visibility when simulating amplitude detectors of different principles of work.

Key words: synchronous detector, virtual model, Multisim workbench, amplitude modulation, phase modulation.

Отримано: 10.09.2021