

**ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ БІОМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

УДК 621.317

**СИНХРОННЕ ДЕТЕКТУВАННЯ СТОХАСТИЧНИХ СИГНАЛІВ В РАДІОМЕТРИЧНОМУ КАНАЛІ**

*Яненко О.П., Перегудов С.М., Красюк О.Д., Колісніченко М.В., Науково-дослідний центр квантової медицини "Відгук", м. Київ, Україна*

*В матеріалах статті показано можливість підвищення флуктуаційної чутливості радіометрів медико-біологічного призначення за рахунок використання синхронного детектора з гальванічною розв'язкою*

**Вступ. Постановка задачі**

Радіометрична апаратура високої чутливості достатньо широко використовується в різних галузях науки і техніки – радіоастрономії, радіолокації, метеорології, фізиці плазми тощо. В останні роки радіометри знаходять застосування у біології та медицині для дослідження електромагнітних полів (ЕМП) і випромінювань людини й біологічних об'єктів, вимірювання температурних градієнтів окремих внутрішніх органів тощо [1]. Радіометрична апаратура може застосовуватись в медицині також для діагностики стану організму та контролю температури нагріву зовнішнім ЕМП в онкології та урології при лікуванні пухлинних процесів. Необхідна чутливість при цьому може сягати  $10^{-14} \div 10^{-15}$  Вт. Перевага радіометричної апаратури перед рентгенівською та ультразвуковою полягає у меншій ушкодженості клітин організму людини, а також можливості проведення багатократною діагностики.

Широке застосування радіометрів стримується їх складністю та значною вартістю подібної апаратури. В той же час поява нової більш дешевої елементної бази та уніфікованих вузлів і блоків дозволяють достатньо оптимістично прогнозувати просування радіометричної апаратури у сферу медико-біологічних досліджень.

Метою даної роботи є покращення параметрів радіометричного каналу оптимальним вибором та проектуванням окремих складових структурної схеми.

**Теоретична частина досліджень**

Одним із важливих вузлів радіометричної апаратури з модуляційним перетворенням вхідного сигналу, як одним з перспективних напрямів побудови структурної схеми, є синхронний детектор. Процедура синхронного детектування передбачає, що вхідний сигнал  $u_c(t)$ , модульований низькою частотою комутації ( $\Omega$ ), перемножується на опорний сигнал  $u_o(t)$  цієї ж частоти, в наслідок чого на виході отримуємо

$$U_{CD} = S_{CD} u_c(t) \cdot u_o(t), \quad (1)$$

де  $S_{CD}$  – крутизна синхронного детектора.

Співпадання частоти комутації вхідного сигналу та опорного сигналу забезпечує режим фазочутливого спрямлення синхронного детектора. Постійна складова вихідного сигналу синхронного детектора при цьому пропорційна фазовому зсуву між напругами частоти комутації та амплітуді вхідного сигналу. Зазвичай синхронному детектуванню шумового сигналу передують процедура квадратичного детектування та виділення частоти комутації.

Шумовий сигнал на вході радіометра у вигляді вузькосмугового процесу можна записати як [2]:

$$u_c(t) = U_c(t) \sin[\omega_0 t + \varphi(t)], \quad (2)$$

а опорний прямокутний сигнал, частотою  $\Omega$ , який керує комутатором U1 та синхронним детектором U3

$$u_0(t) = \frac{4U_0}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(2n-1)\Omega t}{2n-1}. \quad (3)$$

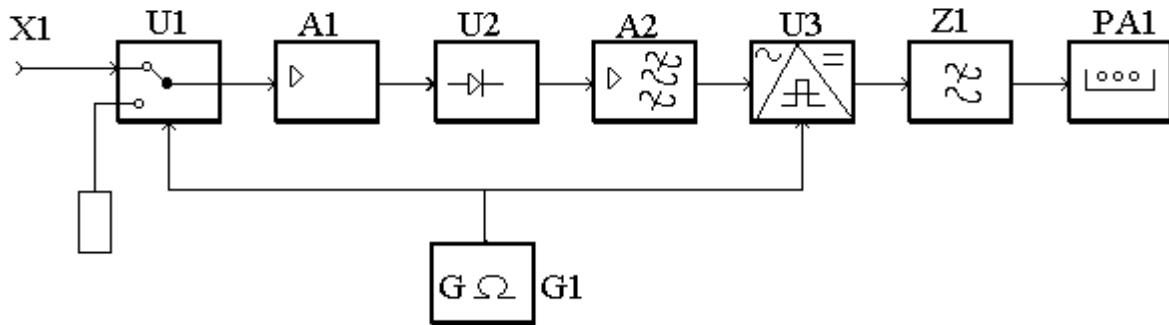


Рисунок 1 – Структурна схема модуляційного радіометра

Внаслідок послідовного перетворення в радіометричному каналі (від модулятора U1 до підсилювача – A2) на сигнальному вході синхронного детектора отримуємо [3]

$$U_{A2}(t) = K_{\Sigma} \frac{U_c^2(t)}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(2n-1)\Omega t}{2n-1} + K_{\Sigma} \Delta U_w^2(t), \quad (4)$$

де  $K_{\Sigma}$  – сумарний коефіцієнт перетворення радіометричного каналу до входу синхронного детектора,  $\Delta U_w^2(t)$  – напруга шумів, що потрапляють у смугу пропускання вибіркового підсилювача A2.

Перемноженням двох сигналів (3) та (4) на виході фільтра низьких частот Z1 синхронного детектора U3 отримуємо

$$U_{Z1} = \frac{2K_{\Sigma}K_{Z1}U_oU_c^2}{\pi^2} + 4K_{Z1}K_{\Sigma}U_o\Delta U_w^2(f) \sum_{i=1}^n \cos(\Omega - \Omega_i)t, \quad (5)$$

де  $(\Omega - \Omega_i)$  – низькочастотні складові, що виділяються смугою пропускання фільтра Z1 та спричиняють повільну флуктуацію вихідного сигналу радіометричного каналу,  $K_{Z1}$  – коефіцієнт передачі фільтра Z1.

Таким чином, від синхронного детектора як кінцевої ступені перетворення вхідного сигналу радіометричного каналу залежить низка параметрів також і радіометра в цілому – рівень шумів на виході та відповідно флуктуаційна чутливість, динамічний діапазон тощо. Найбільш інформативним параметром СД є статична характеристика перетворення –  $U_{вих} = f(U_{вх})$ , яка характеризує залежність вихідної напруги синхронного детектора від вхідної та дозволяє оцінити основні характеристики синхронного детектора, тоді як отримання такої характеристики можливе тільки електронним шляхом.

### **Результати експериментальних досліджень**

У процесі розробки структурної схеми високочутливого радіометра для біомедичного призначення [4] нами була опробована низка схем, здатних проводити синхронне детектування, в тому числі на аналогових перемножувачах типу 140 MA 1 та AD 9901. Проте при цьому виявлено низку недоліків СД, які суттєво зменшували чутливість радіометра в цілому.

Основним з недоліків є наявність спільних “земельних” з’єднань p-i-n модулятора, НВЧ-тракта і низькочастотної частини радіометричного каналу, що призводить до виникнення “земельних” контурів та додаткового росту шуму на виході радіометричного каналу. Звичайно цей недолік можна частково зменшити раціональним монтажем, однак більш радикальним є введення гальванічної розв’язки між опорним каналом та підсилювальними каскадами радіометра.

Найбільш вдалою схемою з погляду забезпечення флуктуаційної чутливості є СД з оптронною розв’язкою розглянутого авторами [5], структурна схема якого приведена на рис.2. Тоді відсутність більш поглибленого дослідження розробленої схеми СД не дозволяє повністю оцінити можливості за його використання в радіометричному каналі підвищеної чутливості.

Подібну гальванічну розв’язку можна виконати за допомогою використання оптопар або оптоелектронних мікросхем, наприклад типу К249КН1А.

Опорний канал містить в себе генератор комутуючої частоти G1, подільник частоти U3 з протифазними виходами та узгоджуючі підсилювачі A5 і A6, виходи яких підключені до управляючих входів комутаторів U1 та U2 оптоелектронної мікросхеми К249КН1А.

Попередній підсилювач виконаний на операційному підсилювачі A1, оптронному ключі U1 та інтеграторі A2. синхронний детектор містить підсилювач A3 та оптронний комутатор U2, які забезпечують перемноження опорного та вимірювального сигналу.

Авторами статті проведено дослідження статичної характеристики перетворення схеми СД, результати якого наведені на рис.3. Як видно з рис.3 синхронного детектора має лінійну характеристику в межах змін вхідної напруги до 3,5 мВ. Флуктуаційна чутливість власне схеми СД на рівні одиниць мкВ, а підвищення чутливості радіометра з подібним СД у порівнянні з іншими мікросхемними перетворювачами складає більше ніж 3дБ.

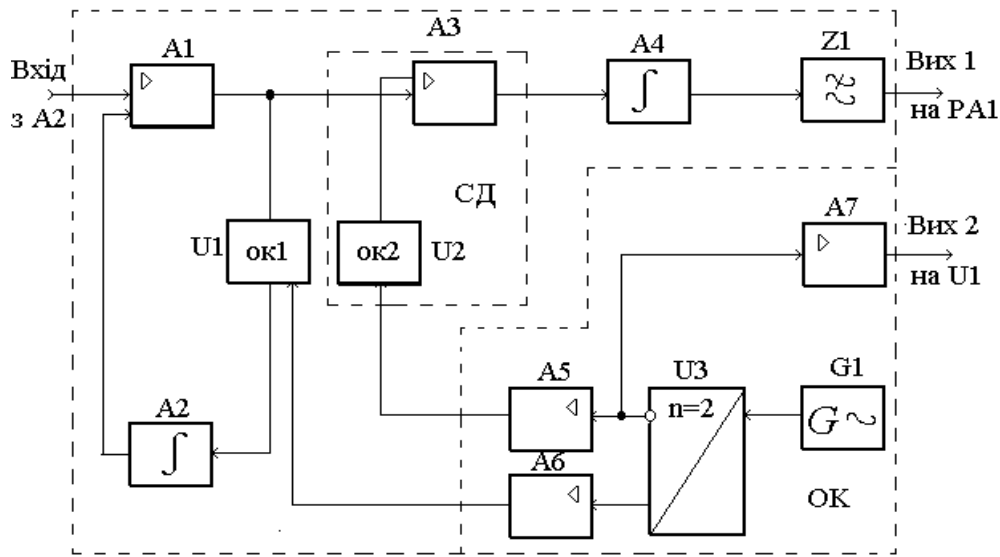


Рисунок 2 – Структурна схема синхронного детектора з оптичною розв'язкою

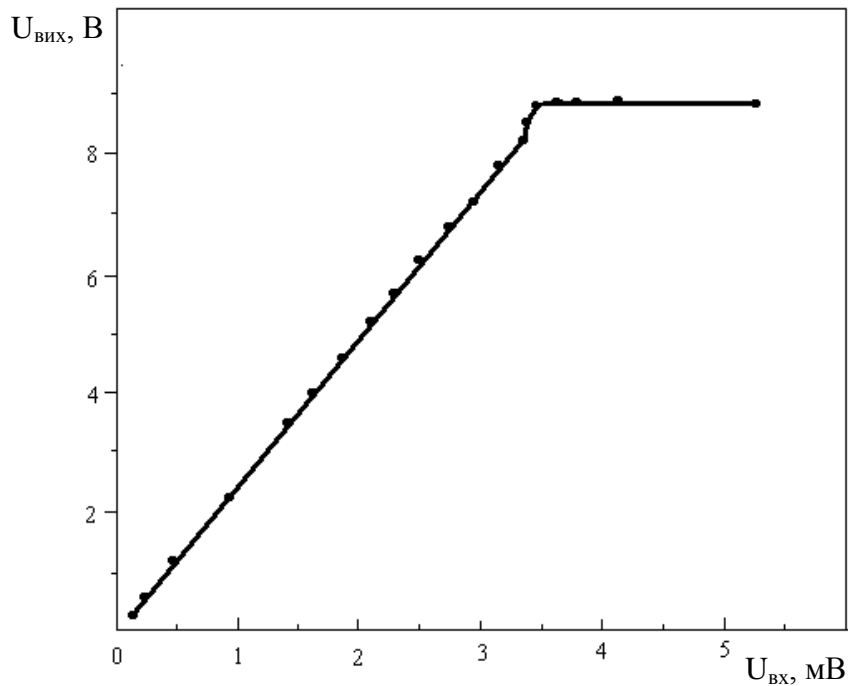


Рисунок 3 – Статична характеристика перетворення синхронного детектора з оптоелектронною розв'язкою

Динамічний діапазон досліджуваного екземпляру схеми СД знаходиться в межах 31-33 дБ. Суттєвим є також те, що схема синхронного детектора дозволяє виставляти нульове значення вихідної напруги при замороженому вході радіометричного каналу.

## Висновки

Таким чином, використання гальванічної розв'язки на оптоелементах в каналі перетворення модуляційного радіометра в схемі синхронного детектування дозволяє підвищити флуктуаційну чутливість апаратури до меж які складаючи  $10^{-15}$  Вт, що забезпечує можливість її застосування в медико-біологічних дослідженнях при слабких електромагнітних полях організму людини й біооб'єктів.

Не менш важливими є параметри і характеристики інших елементів та складових радіометричного каналу, особливо НВЧ-частини, на дослідження яких необхідно направляти технічні можливості фахівців в галузі розробки високочутливої радіометричної апаратури.

## Література

1. Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф., Манойлов В.Ф. и др. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов. – Житомир: Вольнь, 2003 – 406с.
2. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н. Радиотелескопы и радиометры. – М.: Наука, 1973 – 415 с.
3. Скрипник Ю.О., Манойлов В.П., Яненко О.П. Модуляційні радіометричні пристрої і системи НВЧ – діапазону. – Житомир: ЖІТІ, 2001 – 373 с.
4. Скрипник Ю.П., Яненко О.П., Перегудов С.М., Красюк О.Д. Широкопasmовий радіометр для медико-біологічних досліджень // Вісник НТУУ “КПІ”, серія Приладобудування. – 2004. – № 28. – С. 150–154.
5. Кужель В.Н., Шум А.Н. Синхронный усилитель с оптронной развязкой // Радиоэлектроника. – 1998 – № 4 – С. 79–80.

Яненко А.Ф., Перегудов С.Н., Красюк А.Д., Колісниченко Н.В. <b>Синхронное детектирование стохастических сигналов в радиометрическом канале</b> В материалах статьи показана возможность повышения флуктуационной чувствительности радиометров медико-биологического назначения за счет использования синхронного детектора с гальванической развязкой	Yanenko A.Ph., Peregudov S.N., Krasniuk A.D., Kolisnichenko N.V. <b>Synchronous detection of the stochastics signals at the radiometrical channel</b> At work state increase of the radiometer fluctuation sensitivity of the medical and biological functions by used of the synchronous detection with the galvanic uncoupling
--	---

Надійшла до редакції  
28 травня 2005 року