

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИНХРОННИХ ДЕТЕКТОРІВ ДЛЯ ЯКР-СПЕКТРОМЕТРІВ

Досліджені схеми синхронних детекторів, призначених для застосування в системі спостереження ЯКР імпульсним методом. Найліпші результати отримані при застосуванні детектора на мікросхемі K174ПС1.

Explored electric circuits of synchronous detectors of intended for application in the system of supervision by a NQR impulsive method. The best results are got at application of detector on a micro-circuit K174ПС1.

### Вступ

При дослідженні сигналів ЯКР (одиниці мікробольт), які сильно замасковані шумами, використання синхронних детекторів (СД) дозволяє суттєво поліпшити співвідношення сигнал/шум. Детектори відіграють важливу роль при виділенні корисного сигналу в спектрометрі ЯКР імпульсної та неперервної дії. Схемотехніка СД різноманітна. Найбільш широке використання знайшли місткові параметричні СД [1,2], які характеризуються відсутністю в спектрі вихідного сигналу складових із частотами детектованого та опорного сигналів.

Наведені в літературі параметри і характеристики СД отримані із застосуванням аналогових методів створення. В першу чергу це стосується створення фазових зсувів між детектованим та опорним сигналами, що суттєво обмежує можливість отримання результатів достатньої точності.

Застосування цифросинтезатора частоти *Pulse Blaster DDS* фірми *SpinCore* дозволило забезпечити можливість створення фази коливачів і різниці фаз між сигналами з кроком 0,09 градуса в діапазоні частот 0÷—50 МГц, що аналоговими методами досягнути неможливо. Застосування цифрових методів створення різниці фаз між опорною напругою і детектованим сигналом відкривають перспективу більш ефективного використання СД для поліпшення співвідношення сигнал/шум.

### Загальний підхід до параметричних СД

Узагальнену структурну схему побудови досліджуваних СД можна прийняти такою, яка

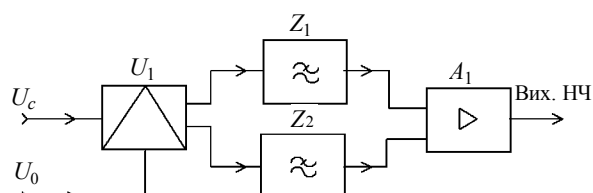


Рис. 1. Структурна схема параметричних синхронних детекторів

наведена на рис. 1. Структурна схема складається з чотирьох функціонально незалежних блоків: власне синхронного детектора, фільтрів низьких частот та підсилювача сигналу.

На вхід  $U_c$  синхронного детектора подаються сигнали, які отримані після дії зондуєчого потужного радіоімпульсу. При дослідженні речовин ці сигнали знімаються з ключового каскаду, який закритий під час дії збуджуючого радіоімпульсу. На другий вхід синхронного детектора подається опорний радіочастотний сигнал  $U_0$ . Продетектований синхронним детектором сигнал подається на блок фільтрів низьких частот. Ці фільтри виділяють низькочастотний сигнал, приглушуючи високочастотні складові, запобігаючи тим самим перевантаженню наступних підсилюючих каскадів.

З виходу підсилювача сигнал подається на АЦП для подальшої передачі на персональний комп'ютер.

### Реалізація схем синхротронних детекторів

1. Схема СД, реалізована з використанням мікросхеми K174УР3, наведена на рис. 2. Спеціалізована мікросхема K174УР3 є за своєю суттю частотним детектором [3], який включає підсилювач-обмежувач вхідного сигналу і підсилювач

низької частоти. Така функціональна побудова мікросхеми дозволяє реалізувати СД з характеристиками, які не залежать від нестабільності амплітуди опорної напруги. В цьому випадку незалежність амплітуди вихідного сигналу  $U_c$  від рівня опорної напруги  $U_0$  зумовлена наявністю обмежувачого каскаду.

Як видно з графіка (рис. 3), СД володіє високою крутизною перехідної характеристики, а отже, і високою чутливістю. Висока чутливість могла б задовольнити нашим вимогам, але нерівномірність частотної характеристики (рис. 4) в діапазоні частот від 1 до 9 МГц не дозволяє застосувати його в нашій системі ЯКР- спектрометра.

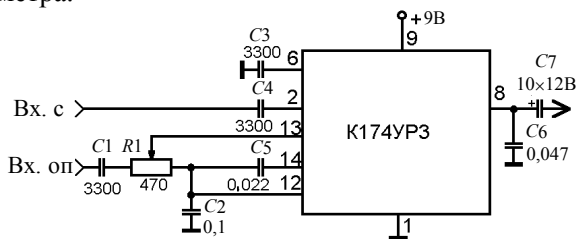


Рис. 2. Електрична принципова схема синхронного детектора на мікросхемі К174УР3

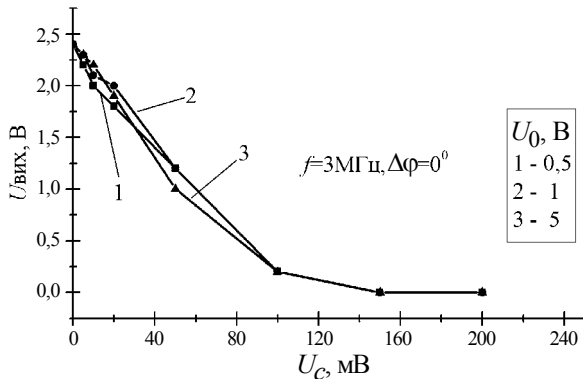


Рис. 3. Перехідна характеристика синхронного детектора на мікросхемі К174УР3

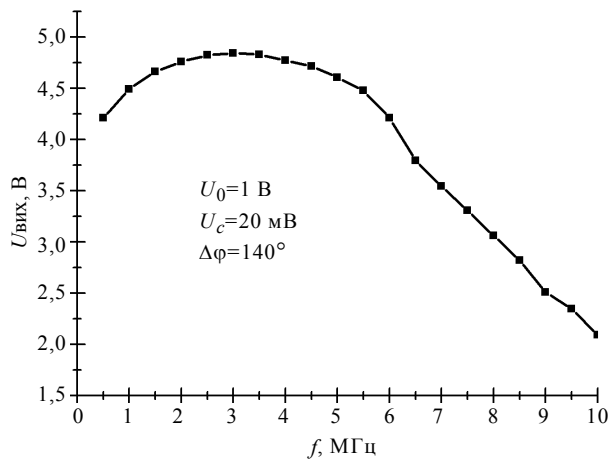


Рис. 4. Частотна характеристика синхронного детектора на мікросхемі К174УР3

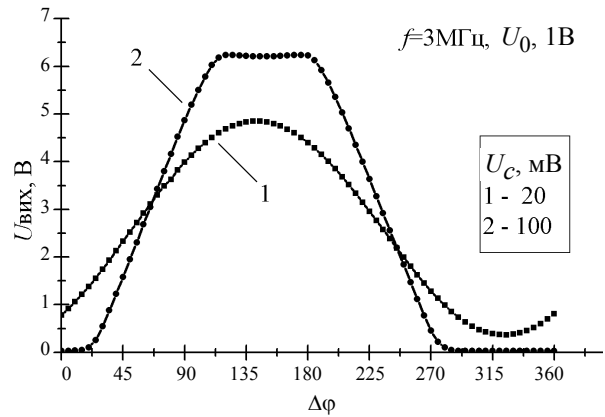


Рис. 5. Фазова характеристика синхронного детектора на мікросхемі К174УР3

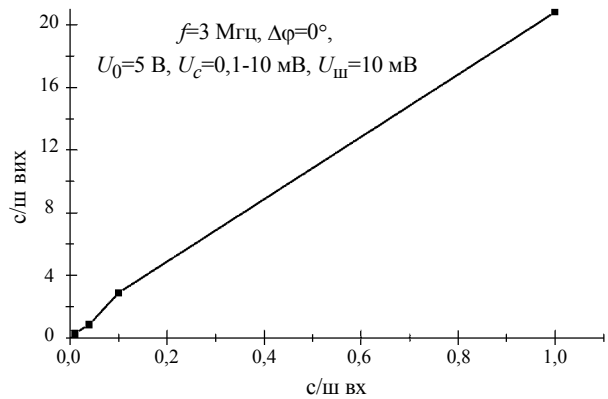


Рис. 6. Шумова характеристика синхронного детектора на мікросхемі К174УР3

Залежності на рис. 5,6 подані для порівняння з наступними схемами.

2. СД із застосуванням мікросхеми К174ПС1. Мікросхема К174ПС1 є подвійним балансним перемножувачем напруг [3]. Робоча частота мікросхеми сягає 200 МГц. Логарифмування вхідних сигналів дозволяє розширити динамічний діапазон перемноження й одержати на виході напругу до 300 мВ, що пропорційно добутку вхідних сигналів.

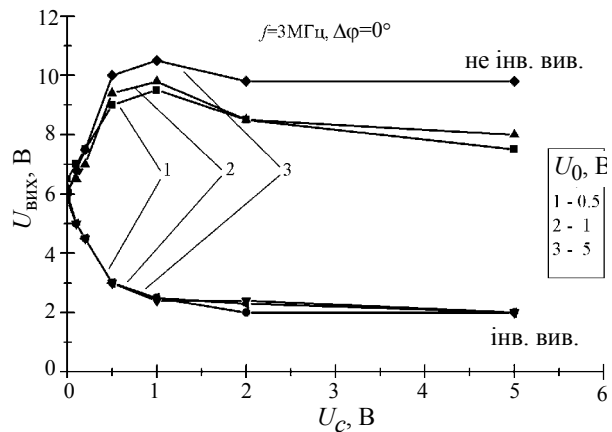


Рис. 7. Перехідна характеристика синхронного детектора на мікросхемі К174ПС1

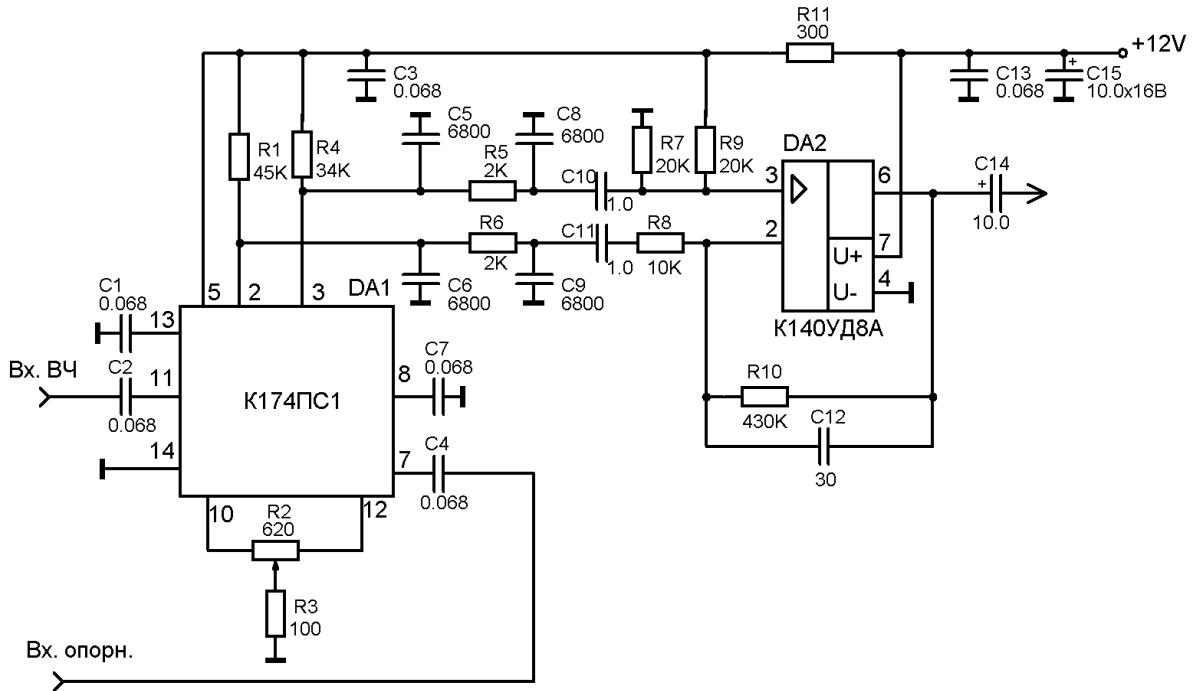


Рис. 8. Схема електрична принципова синхронного детектора на мікросхемі К174ПС1

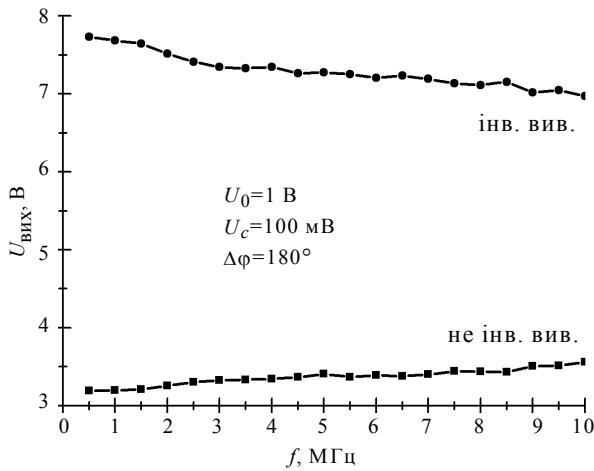


Рис. 9. Частотна характеристика синхронного детектора на мікросхемі К174ПС1

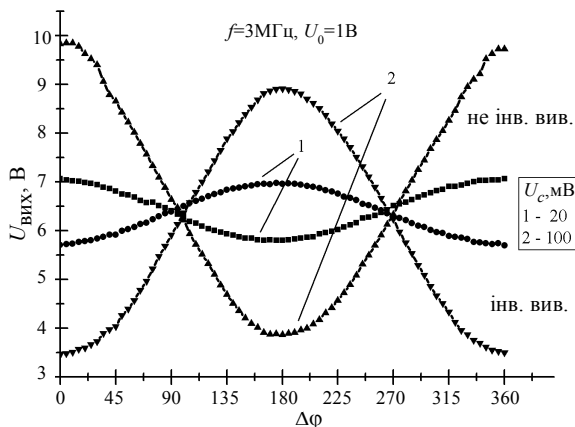


Рис. 10. Фазова характеристика синхронного детектора на мікросхемі К174ПС1

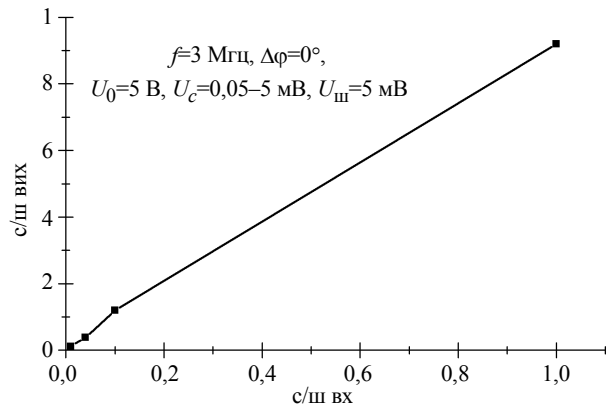


Рис. 11. Шумова характеристика синхронного детектора на мікросхемі К174ПС1

Схема СД, реалізованого з використанням К174ПС1, наведена на рис. 8. Особливість детектора в наявності двоканального фільтра низьких частот (С6-С8, R5, R6) зовнішнього підсилювача НЧ на операційному підсилювачі К140УД6А.

3. СД на мікросхемі МС1496. Мікросхема призначена для балансних модуляторів та демодуляторів сигналу і має два диференційні підсилювачі [4,5] (рис. 12).

Для зіставлення з попередніми схемами детекторів було проведено дослідження макета СД з використанням мікросхеми МС1496.

Результати досліджень характеристик СД на мікросхемі МС1496 наведені на рис. 13-16. Отримані залежності корелюють з аналогічними залежностями СД на мікросхемі К174ПС1.

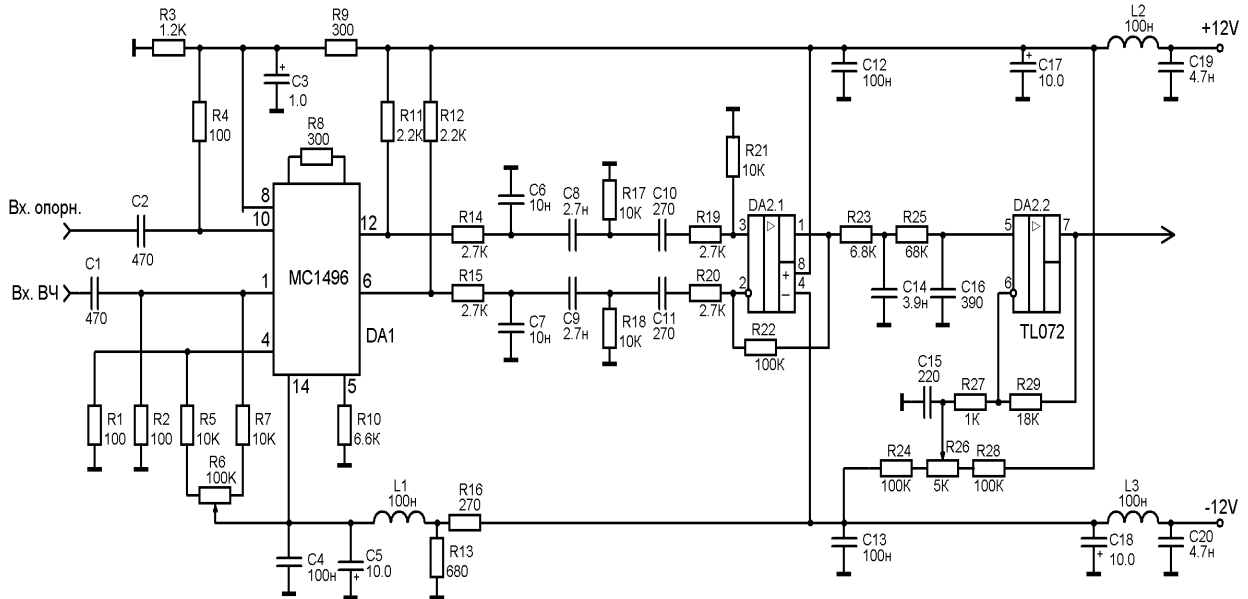


Рис. 12. Принципова схема синхронного детектора зі застосуванням мікросхеми MC1496

Рівномірність частотних характеристик обох детекторів (рис. 9 і рис. 14) практично однакова. Фазові характеристики (рис. 10 і рис. 15) також практично ідентичні між собою.

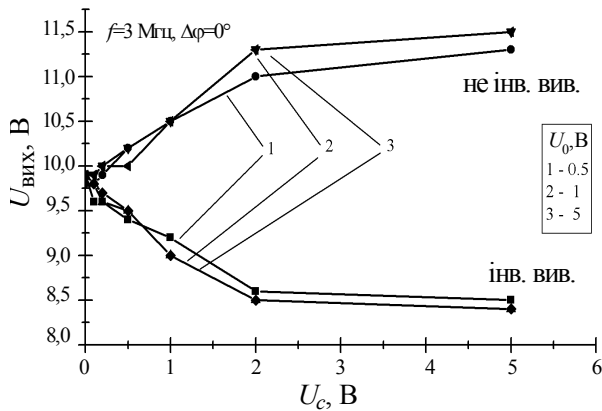


Рис. 13. Перехідна характеристика синхронного детектора на мікросхемі MC1496

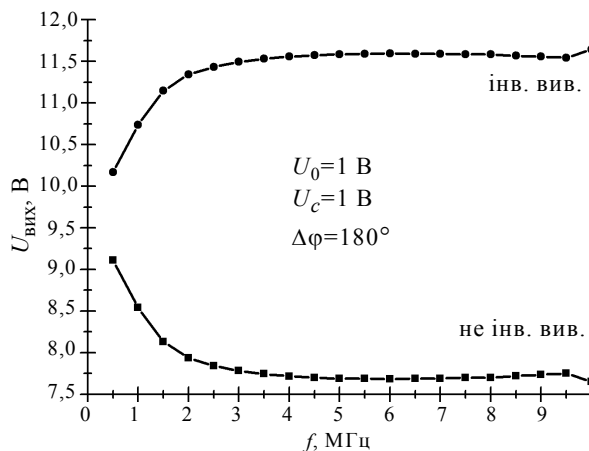


Рис. 14. Частотна характеристика синхронного детектора на мікросхемі MC1496

Крутизна перехідної характеристики (0,7) є меншою (рис. 13), ніж крутизна перехідної характеристики (6) у СД на мікросхемі K174ПС1 (рис. 7).

Недоліком є також мале поліпшення співвідношення сигнал/шум на виході (рис. 16).

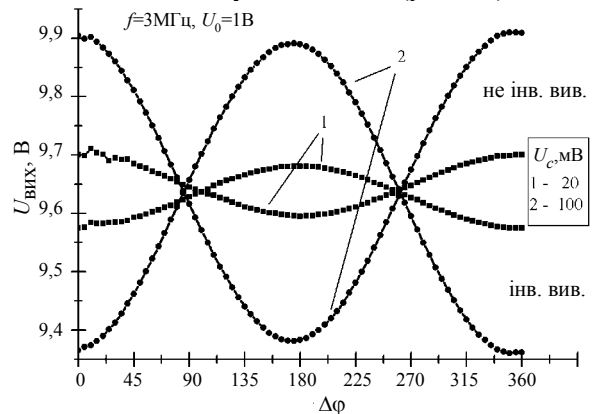


Рис. 15. Фазова характеристика синхронного детектора на мікросхемі MC1496

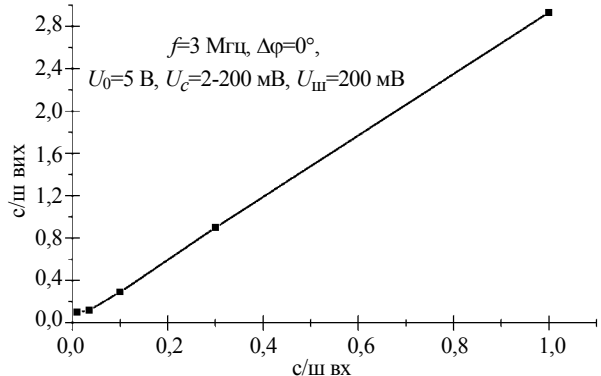


Рис. 16. Шумова характеристика синхронного детектора на мікросхемі MC1496

### Висновок

Аналіз отриманих результатів досліджень дозволив провести розрахунки характеристик синхронних детекторів і впевнитись, що найбільш придатним для використання в імпульсному спектрометрі ЯКР є СД, виконаний на мікросхемі К174ПС1. Даний детектор володіє високою крутизною коефіцієнта передачі 6, динамічним діапазоном 54 дБ, рівномірністю частотної характеристики 0,036В/МГц (в діапазоні частот 2÷9 МГц), чутливою залежністю величини вихідного сигналу від різниці фаз коливань детектованого й опорного сигналів 0,044В/градус (при кутах  $90^\circ \pm 45^\circ$  та  $270^\circ \pm 45^\circ$ ), а також високою лінійністю перехідної характеристики біля нульових рівнів вхідного сигналу і задовільними шумовими характеристиками.

Робота виконана в рамках проекту УНТЦ №2369

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Павлов Б.А. Синхронный прием. – М.: Энергия, 1977.
2. Дехтяренко П.И. Синхронное детектирование в измерительной технике и автоматике. – Киев: Техніка, 1965.
3. Интегральные микросхемы. Справочник / Под ред. Б.В. Тарабрина. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. <http://alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/12005/ONSEMI/MC1496.html>.
5. Anferov V.P., Mozjoukhine G.V. and Fisher. R. Pulsed spectrometer for nuclear quadrupole resonance for remote detection of nitrogen in explosive // Rev. Sci. Instrum. – 2000. – 71, No. 4.