

ПІДСИЛЮВАЧ З ДОДЕТЕКТОРНОЮ КОМПЕНСАЦІЄЮ ШУМІВ

Гульков В.Б., студент каф. РТПС
 Макаренко О.С., к.т.н., доц. каф. ТОР
 Національний технічний університет України
 "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

Вступ

При створенні підсилювачів малих сигналів зараз частіше всього використовуються арсенід-галієві польові транзистори з бар'єром Шоттки (ПТБШ) [1].

Звичайна схема підсилювача наведена на рис.1.

Сигнал заданий в смузі частот $0 \div F_{max}$. Будь який підсилювач погіршує співвідношення сигнал/шум. Відомо [2], що коефіцієнт шуму

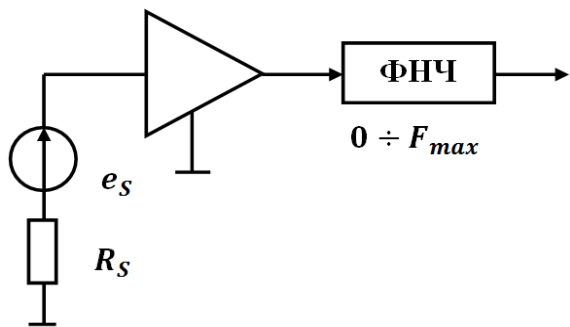


Рис. 1

підсилювача визначається виразом $Ш=1+P_{під}/P_{S\text{ вих}}$, де $P_{під}$ - потужність шумів власне підсилювача на виході, $P_{S\text{ вих}}$ - потужність шуму вхідного джерела сигналу на виході підсилювача. Очевидно, що при досяжних значеннях $Ш=0,4 \div 0,6$ дБ визначаючими є шуми вхідного джерела. При від-

повідній обробці адитивної суміші сигналу та шуму в пристрої, який розглядається, можливе істотне послаблення шумів підсилювача і шумів джерела вхідного сигналу [3].

Структура пристрою

Структурна схема пристрою обробки суміші сигналу та шуму наведена на рис. 2,

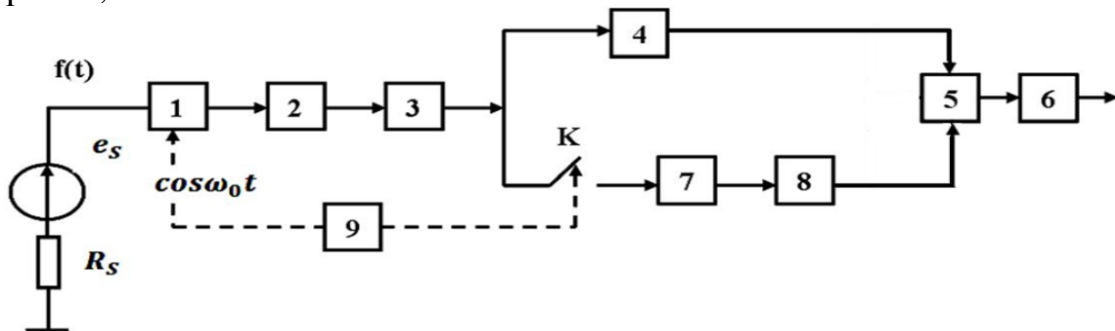


Рис. 2

де 1- вхідний амплітудний модулятор, 2- власне підсилювач, 3 – складений фільтр (складається із ФНЧ та ФВЧ), 4- підсилювач носійної частоти основного каналу (ПНЧок), 5- суматор, 6-детектор, К-ключ для дискретизації коливань в компенсаційному каналі , 7- підсилювач носійної частоти компенсаційного каналу (ПНЧкк), 8- інвертор, 9-схема управління.

Принцип функціонування пристрою

Пристрій працює наступним чином. Вхідний корисний сигнал $f(t)$ за допомогою модулятора 1 переноситься на носійну частоту f_0 , далі підсилюється підсилювачем 2 та проходить крізь складений фільтр (що складається з фільтра нижніх частот з частотою зрізу $f_{\max} = f_0 + F_{\max}$, та фільтра верхніх частот, частоту зрізу якого ми змінюємо від 0 до $f_{\min} = f_0 - F_{\max}$), де F_{\max} - максимальна частота в спектрі вхідного сигналу, рис. 3.

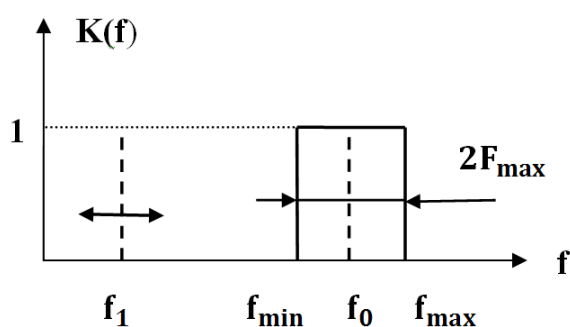


Рис. 3

В цьому випадку сигнал передається в смузі частот $f_{\min} \div f_{\max}$, а шум в смузі частот $f_1 \div f_{\max}$. Тобто, вводячи складений фільтр, ми розширюємо смугу шуму та збільшуємо його потужність. Очевидно, що при цьому співвідношення сигнал /шум після складеного фільтру буде малим. Програш порівняно із схемою

рис.1 буде складати $(f_{\max} - f_1) / F_{\max}$.

В нашому випадку для

$$f_0 = 100 \text{кГц},$$

$$F_{\max} = 5 \text{кГц}, \quad f_1 = 0 \text{Гц}$$

маємо: $105 / 5 = 21$,

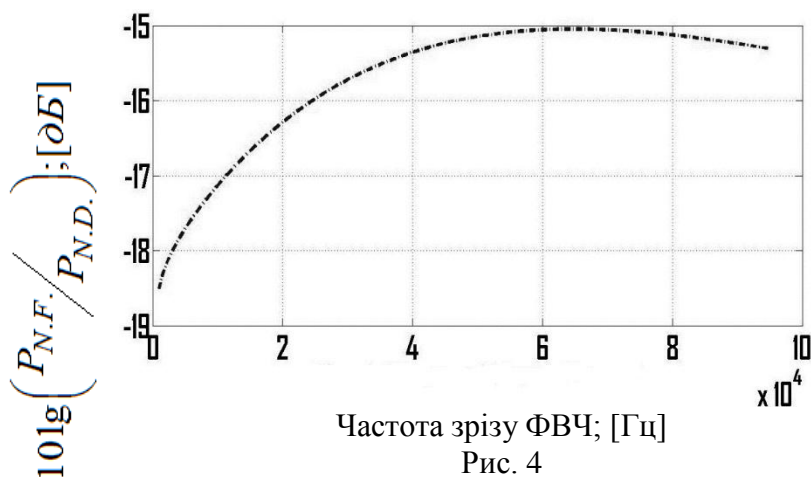
тобто 13дБ. При

$f_1 = f_{\min} = 95 \text{кГц}$ бу-

де: $(105 - 95) / 5 = 2$,

тобто 3 дБ. Але, схе-

ма компенсації шу-



Частота зрізу ФВЧ; [Гц]

Рис. 4

мів, принцип роботи якої розглядається далі, суттєво зменшує рівень шумів на виході суматора. Залежність відношення потужності шуму після складеного фільтру ($P_{N.F}$) до потужності шуму на вході детектора ($P_{N.D}$), в дБ, від частоти зрізу ФВЧ, що змінюється від 1кГц до 95кГц, при частоті зрізу ФНЧ 105кГц наведена на рис.4.

Шум вхідного джерела та шум підсилювача складаються за потужністю [2], оскільки вони не корельовані і шум джерела сигналу центрований. Таким чином, на виході фільтра 3 ми маємо суміш сигналу та шумів дже-

рела і власне підсилювача. Ця суміш надходить і в основний канал (ОК), і в компенсаційний канал (КК). В КК встановлено ключ К, що замикається керуючими короткими імпульсами тривалістю τ , що надходять з частотою дискретизації $f_\delta = 2 \cdot f_0$. Особливістю схеми обробки є те, що вибірки суміші сигналу та шуму здійснюються короткими імпульсами в моменти переходів сигналу через нуль (Рис.5).

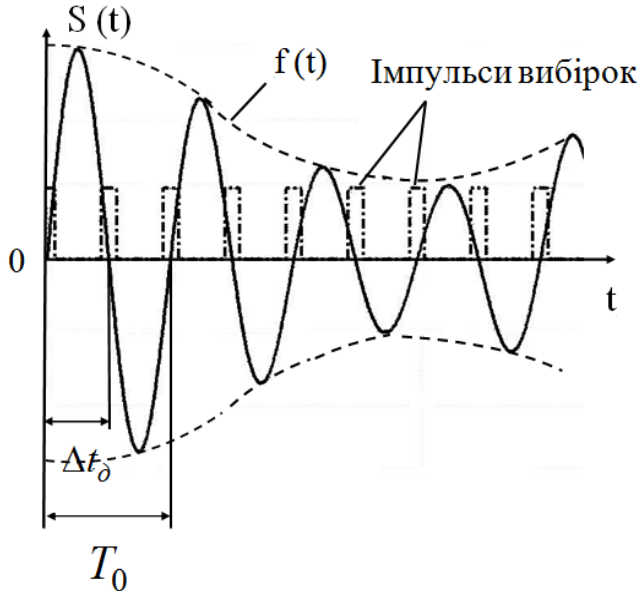


Рис. 5

ПНЧкк) можна записати у вигляді : $P(t) = n(t)q_\tau(t)$, де $q_\tau(t)$ -сигнал періодичної послідовності імпульсів тривалістю τ , причому $\tau \ll T_0$, де $T_0 = 1/f_0$.

В частотній області отримаємо: $S_p(\omega) = \frac{1}{2\pi} S_n(\omega) * S_q(\omega)$. Отже, в частотній області ми маємо згортку спектрів $S_n(\omega)$ та $S_q(\omega)$.

Очевидно [2], що вихідний спектр (на виході ключа К) буде мати спектр шуму $n(t)$ на частоті f_0 і такі самі спектри на частотах $f_\delta, 2f_\delta, \dots, nf_\delta$. Варто підкреслити, що умови теореми Котельнікова при дискретизації шуму в КК не виконуються, оскільки $f_\delta < 2f_{\max}$, але після проходження через смугові підсилювачі каналів (ПНЧок та ПНЧкк) шуми каналів стають сильно корельованими, що призводить до значного послаблення шуму. ПНЧкк виділяє спектр шуму на частоті f_0 . В ОК присутня сума $S(t)$ та $n(t)$ в тій самій смузі частот $f_{\min} \div f_{\max}$. Однак, в ОК сигнал не послаблюється, а в КК він практично рівний нулю. Шум КК надалі інвертується, підсилюється і подається на суматор, де відбувається віднімання шумів каналів. Коефіцієнт підсилення інвертора має бути таким, щоб інтенсивність шумів в ОК та в КК була однаковою. Як відомо [4], коливання, яке передається за допомогою вибірок, послаблюється по напрузі приблизно в $\Delta t_\delta / \tau$ раз, де $\Delta t_\delta = 1/f_\delta$ - інтервал дискретизації. Виходячи із цього,

Блок обробки аж до детектора, підключеного до виходу суматора, є лінійно-параметричним і до нього можна застосувати принцип суперпозиції, отже, проходження сигналу та шуму через пристрій будемо розглядати окремо. При цьому сигнал після проходження крізь смуговий фільтр ПНЧкк практично буде дорівнювати нулю. Шум, що надходить до КК дискретизується з частотою дискретизації $f_\delta = 2 \cdot f_0$. Коливання на виході ключа К (тобто на вході

знаючи коефіцієнти підсилення ПНЧок та ПНЧкк, неважко знайти коефіцієнт підсилення інвертора.

Варто відмітити, що ПНЧок вбудований в схему для того, щоб вирівняти фазові зсуви каналів. Для коректного функціонування пристрою фільтри цих ПНЧ мають бути однаковими. Крім того, ПНЧкк мусить мати смугу пропускання по входу, яку можна знайти, виходячи з приблизного співвідношення $f \geq \frac{5}{\tau}$. Таким чином, транзистор в КК має бути високо-частотним.

З виходу суматора очищений від шумів АМ-сигнал подається на детектор, на виході якого утворюється підсилений вихідний корисний сигнал $f(t)$.

Проведені розрахунки показали, що найбільший вигрaш у відношенні сигнал/шум має місце при використанні в підсилювачах носійної частоти фільтрів Баттерворта 1-го порядку.

Схема управління 9 формує гармонійний сигнал носійної частоти f_0 та імпульсну послідовність з частотою чергування імпульсів, рівною f_i і тривалістю імпульсів $\tau = \Delta t_\delta / (4 \div 10)$.

Результати моделювання

Комп'ютерне моделювання пристрою (в системі MATLAB) показало, що при заданих: $f_0 = 100 \text{кГц}$; $T_0 = 1/f_0 = 10 \text{мкс}$; $f_\delta = 200 \text{кГц}$; $\Delta t_\delta = 5 \text{мкс}$;

$\tau = \frac{T_0}{8} = 1.25 \text{мкс}$; $F_{\text{max}} = 5 \text{кГц}$, $F_{\text{зр.ФВЧ}} = 95 \text{кГц}$, $F_{\text{зр.ФНЧ}} = 105 \text{кГц}$ і реально

досяжному розкиді коефіцієнтів підсилення каналів, рівному 2% і фазовій похибці 3° відношення сигнал/шум в середньому складає 16 дБ. При дослідженні подавлення шуму схемою від виходу складеного фільтру до входу детектора, ми можемо стверджувати, що при 50000 експериментів із випадковою реалізацією білого гаусового шуму подавлення шуму в схемі склало $-14 \div -18 \text{дБ}$ по потужності. Для вибору коефіцієнта підсилення

підсилювача носійної частоти компенсаційного каналу (ПНЧкк) проведені розрахунки, що допомогли знайти оптимальне підсилення. На рис.6

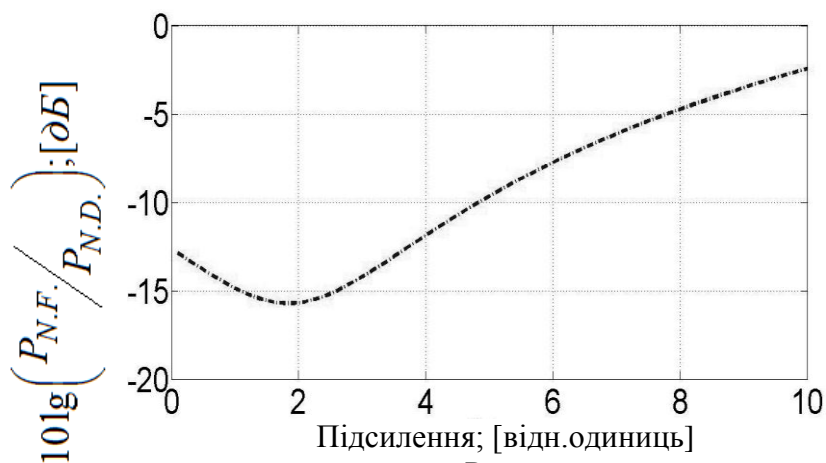


Рис. 6

наведено залежність відношення потужності шуму після складеного фільтру ($P_{N.F}$) до потужності шуму на вході детектора ($P_{N.D.}$), в дБ, від значення коефіцієнта підсилення.

В результаті даних досліджень оп-

тимальним виявився коефіцієнт підсилення рівний 2.

Висновки

Позитивною якістю розглянутої схеми обробки є те, що ослаблюються не тільки шуми підсилювача, але й шуми джерела вхідного корисного сигналу, оскільки вони поєднуються з шумами власне підсилювача і присутні на виході підсилювача носійної частоти. При розкіді коефіцієнтів підсилення каналів, рівному 2% і фазовій похибці 3° відношення сигнал/шум в середньому складає 16 дБ. Даний пристрій може бути успішно використаний в радіолокації, радіонавігації, цифрових системах зв'язку, супутникових системах, а також у інших системах, що мають справу з низькими рівнями сигналу та потребують підсилювачів з малим рівнем шумів.

Література

1. Радиотехника: Энциклопедия / под ред. Ю. Л. Мазора, Е. А. Мачусского, В. И. Правды. — М. : Издательский дом "Додека-XXI", 2002. — 944с.
2. Латхи Б.П. Системы передачи информации. — М. : "Связь", 1971. — 324с.
3. Макаренко О.С. Чутливий підсилювач з малим рівнем шумів. Рішення про видачу патенту від 27.02.2012р. №4218/ЗУ/12.
4. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. — М. : Радио и связь, 1985. — 488с.

Гульков В.Б., Макаренко О.С. Підсилювач з додетекторною компенсацією шумів. В роботі розглядається пристрій обробки суміші сигналу та шуму. Пристрій містить два канали. Основний канал (ОК), який містить суміш сигналу та шуму, та компенсаційний канал(КК), що виділяє із суміші тільки шум. Особливістю схеми обробки є те, що вибірки суміші сигналу та шуму в КК здійснюються короткими імпульсами в моменти переходів сигналу через нуль. Далі в каналах встановлюється протифазність шумів, на виході каналів встановлено суматор, за допомогою якого і вилучається шум із суміші. Дослідження описаного пристрою було проведено в середовищі моделювання MATLAB для змодельованого АМ сигналу та білого гауссового шуму. Отримані результати засвідчили, що пристрій подавляє шум на -16дБ по потужності.

Ключові слова: підсилювач з малим рівнем шумів, компенсація шуму, вибірки, складений фільтр, подавлення шуму.

Гульков В.Б., Макаренко А.С. Усилитель с додетекторной компенсацией шумов. В работе рассматривается устройство обработки смеси сигнала и шума. Устройство содержит два канала. Основной канал(ОК), в котором содержится смесь сигнала и шума, и компенсационный канал(КК), который выделяет из смеси только шум. Особенность схемы обработки заключается в том, что выборки смеси сигнала и шума в КК берутся короткими импульсами в моменты переходов сигнала через ноль. Далее в каналах устанавливается противофазность шумов, на выходе каналов установлен сумматор, с помощью которого и устраняется шум из смеси. Изучение описанного устройства было проведено в среде моделирования MATLAB для смоделированного АМ сигнала и белого гауссового шума. Полученные результаты засвидетельствовали, что устройство подавляет шум на -16дБ по мощности.

Ключевые слова: малошумящий усилитель, компенсация шума, выборки, составной фильтр, подавление шума.

*Gulkov V.B., Makarenko A.S. **Low-noise amplifier.** The mixture of signal and noise processing device is considered in this article. It contains two channels: the main channel (MC) contains the mixture of signal and noise, and compensation channel (CC) that extracts just a noise from the mixture. The feature of the processing circuit is that the mixture samples are formed by short impulses at the moments of passing signal through zero. Further antiphase noise is set in the channels, adder by which the noise is removed from mixture is set on the channels output. Study of the described device was carried out for simulated AM signal and white Gaussian noise in simulation environment Matlab. The results are shown, that device reduces noise by 16 dB of power.*

Keywords: *Low-noise amplifier, noise compensation, samples, the composite filter, noise reduction.*