

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ С-НЕГАТРОНІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОП

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

В даній роботі розглянуто основний недолік операційних підсилювачів – звуження смуги пропускання при застосуванні корегувальних ланок, які забезпечують стійкість роботи при охопленні схеми зворотнім зв'язком. За допомогою комп'ютерного моделювання проведено дослідження використання С-негатронів у схемах операційних підсилювачів, з метою покращення їх частотних характеристик.

**Ключові слова:** операційний підсилювач, С-негатрон, частотна характеристика, смуга пропускання.

## Abstract

In this paper, considered the main drawback of operational amplifiers - narrowing the bandwidth when application of corrective parts when the ensure stability of schemes covered with feedback. Using computer modeling research conducted using C-negatrons in schemes operational amplifiers, to improve their frequency characteristics.

**Keywords:** operational amplifier, C-negatron, frequency response, bandwidth.

## Вступ

Сучасна промисловість забезпечує виробництво досконалих схем операційних підсилювачів (ОП) в яких смуга пропускання достатня для їх практичного застосування в більшості схем промислової електроніки. Проте не ідеальність частотних властивостей ОП необхідно враховувати при використанні схем з зворотнім зв'язком, існує ризик паразитної генерації (самозбудження) що неприпустимо у роботі підсилювача. Внаслідок наявності паразитних ємностей і багато каскадної структури операційний підсилювач за своїми частотними властивостями аналогічний фільтру нижніх частот високого порядку. Системи такого роду, що мають великий коефіцієнт підсилення, при наявності зворотного зв'язку схильні до нестійкості, що виявляється в тому, що навіть при відсутності сигналу на вході системи на її виході існують коливання відносно великої амплітуди [1].

Для запобігання самозбудження у схемах ОП застосовують корегувальні RC-ланки, які приєднуються до відповідних виводів ОП змінюючи його вихідну частотну характеристику. Корекція частотної характеристики забезпечує стійкість роботи ОП у всьому робочому частотному діапазоні при введенні глибокого зворотного зв'язку, але недоліком є те що вона тим самим звужує частотну смугу пропускання. Це вносить деякі обмеження використання ОП у електронних схемах.

В основу дослідження поставлена задача покращення частотних характеристик ОП, а саме збільшення частотної смуги пропускання схеми, охопленої при цьому зворотнім зв'язком та приєднаними до неї корегувальними ланками для забезпечення стійкості роботи.

## Результати дослідження

Поставлена задача вирішується тим що у схему ОП буде додатково введено елемент з від'ємною ємністю (С-негатрон). Передбачається що це призведе до зменшення паразитної ємності схеми, в наслідок цього збільшиться робоча смуга пропускання ОП. В якості досліджуваного аналога була використана мікросхема підсилювача 153УД1 [2]. Підсилювач представляє собою трьох каскадну схему виконану на біполярних транзисторах та має зовнішні виводи для підключення корегувальних ланок (Кор.1; Кор.2). Структурна схема підсилювача зображена на рис. 1.



Рис.1 – Структурна схема підсилювача 153УД1.

Як від’ємна ємність використаний схемотехнічний аналог С-негатрону, реалізований на основі перетворювача негативного імітансу [3]. Схема зібрана на 5 біполярних транзисторах, від’ємна ємність визначається ємністю конденсатора С3. Електрична схема ОП та С-негатрону наведена на рис. 2. При проведенні моделювання схема ОП була охоплена НЗЗ (R16, R22) для стабілізації коефіцієнту підсилення, для забезпечення стійкості роботи схеми під’єднано корегувальні ланки (C1, R18, C2) відповідно до довідникової літератури [4].

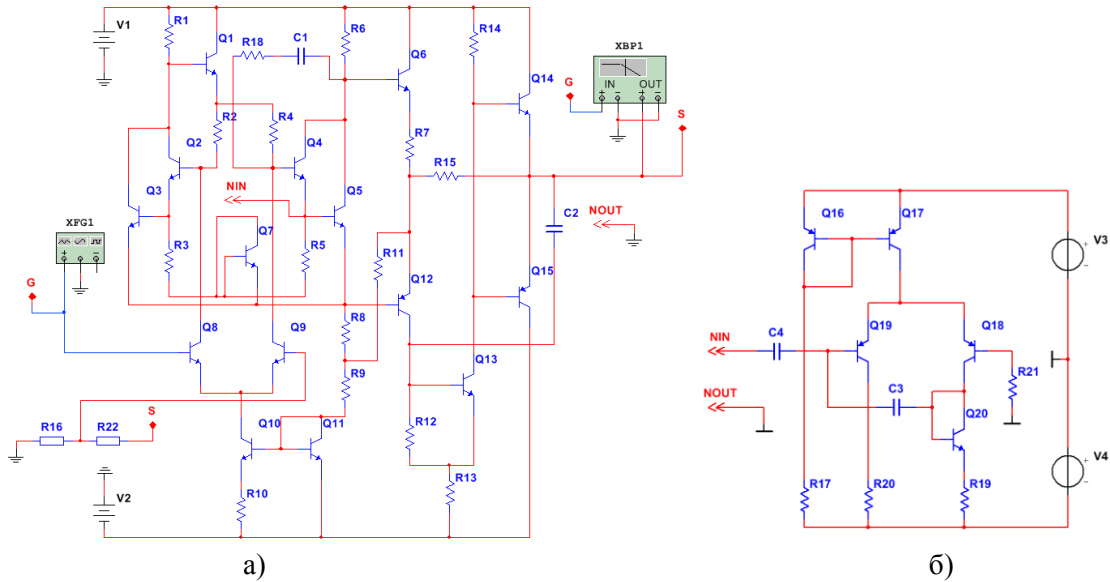


Рис.2 – Схема електрична принципова операційного підсилювача (а), С-негатрона (б).

В результаті моделювання були отримані графіки амплітудно-частотної (АЧХ) та фазо-частотної характеристики (ФЧХ) вихідного сигналу ОП (Рис.3). У першому випадку моделювання проводилось без С-негатрону. Як видно з відповідних графіків промодельована схема ОП має смугу підсилення  $f = 4,86$  МГц, рівень підсилення 63 дБ та необхідний запас по фазі  $\varphi = 67^\circ$  на частоті одиничного підсилення  $f$ , для усунення небезпеки самозбудження.

У другому випадку у схему ОП було додатково введено С-негатрон, а саме у другий каскад, емітерне коло вихідного транзистора Q4 (Рис.2а). Як видно з відповідних графіків, смуга підсилення збільшилась до  $f = 8,74$  МГц, запас по фазі на частоті  $f$  складає  $\varphi = 71^\circ > 65^\circ$  що свідчить про збереження стійкості роботи ОП на високих частотах.

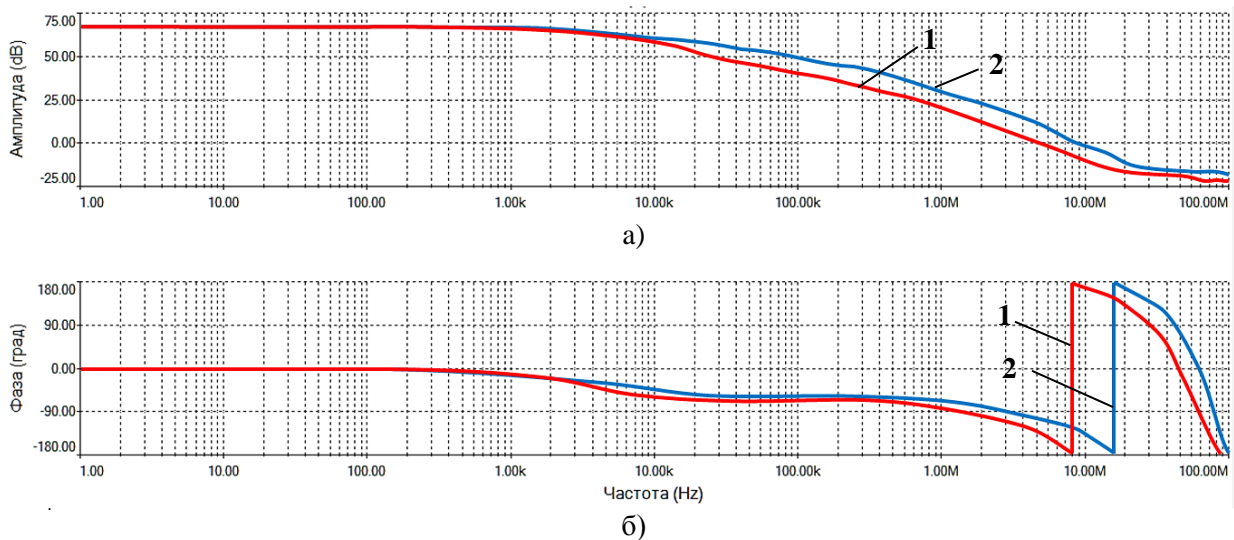


Рис.3 – Амплітудно-частотна характеристика (а), фазо-частотна характеристика (б) підсилювача. 1 – без С-негатрона, 2 – з введеним С-негатроном.

Аналізуючи отримані результати моделювання, бачимо що введення С-негатрона у схему ОП призвело до збільшення робочої смуги пропускання підсилювача приблизно вдвічі, тим самим покращивши його робочі характеристики.

### Висновки

Основним недоліком операційних підсилювачів є звуження робочої смуги пропускання при застосуванні корегувальних ланок, які запобігають самозбудженню підсилювача при введенні глибокого зворотного зв'язку. Застосування С-негатронів у схемах ОП зменшує паразитну ємність каскадів ОП тим самим збільшуючи робочу смугу пропускання. Це дозволяє розширити область застосування операційних підсилювачів, зокрема у ВЧ апаратурі.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Горбачев Г. Н., Чаплыгин Е. Е. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Под ред. В. А. Лабунцова. — М.: Энергоатомиздат, 1988, - 320 с.
2. Интегральные микросхемы: Учебник для вузов / Т.М. Агаханян – М: Энергоатомиздат, 1983,- 464 с.
3. LC-негатрони та їх застосування: монографія / М. А. Філінюк, О. О. Лазарев, О. В. Войцеховська. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 308 с.
4. Справочник по схемотехнике для радиолюбителя / В. П. Боровский, В. И. Костенко, В. М. Михайленко, О. Н. Партала. Под ред. В. П. Боровского. — К.: Техніка, 1987. — 432 с.

**Олександр Сергійович Харчук** – студент групи РАМ–15мс, факультет радіотехніки, зв'язку та приладобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: crazy\_kvace@inbox.ru.

Науковий керівник: **Лазарев Олександр Олександрович** – к. т. н, доцент кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. E-mail: laalex@mail.ru.

**Alexander S. Harchuk** - student of group Ram-15ms, Department of Radio Engineering, Telecommunication and Electronic Instrument Engineering, Vinnitsa National Technical University. Vinnitsa, e-mail: crazy\_kvace@inbox.ru.

Supervisor: **Alexander Lazarev** – k. t. s., Associate Professor of Computer and Telecommunication equipment. Vinnitsa National Technical University, c. Vinnitsa. E-mail: laalex@mail.ru.