

УДК 621.3:621.38

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/0203-3771322016100533>Д. А. Кобзар¹, бакалавр, Ю. М. Туз², д.т.н., професор

МОДЕЛЮВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ШИРОКОСМУГОВОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

En The relevance of the amplifier creation for metrological certification of the thermoelectric transformers PNTE-12 with the frequencies range to 100 kHz and voltage of 500 V and 1000 V was considered in this article. The methods analysis for the problem solutions available at the moment was carried out and their main shortcomings are revealed. The implementation model of the amplifier with the range to 100 kHz and 1000 V on the basis of sequentially additive switched operational amplifiers was considered

Due to the simulation program Microcap several versions of sequentially switched operational amplifiers with inverting and not inverting stages with dependent and independent communications were investigated. The research showed that at the frequency of 100 kHz and due to the restricted speed of the signal rise the output signal is distorted and instead of the sine form it acquires the form close to triangular. In this regard the diagram of additive correction with the internal adder on an input of the main amplifier was offered.

In the environment of Microcap the corresponding schematic diagram was simulated. The analysis of this diagram was carried out by available methods of the program. The appropriate diagrams of the output signal form of the amplifier were shown. A number of constructive decisions for the problem solution of the operational amplifier excitation in case of the circuit switching is carried out. The possibility of different components use was considered and the comparison diagram of amplitude-frequency characteristics of the appropriate diagrams is provided. Also the diagram of this method optimization was considered.

Ru В данной работе была рассмотрена и проанализирована модель реализации усилителя на 1000 В в диапазоне до 100 кГц на основе последовательно аддитивно включенных операционных усилителей. Определены ее основные недостатки, а именно искажения формы сигнала на частотах близких к 100 кГц. Предложен метод решения этой проблемы путем включения схемы аддитивной коррекции с внутренним сумматором. На основе этих исследований была смоделирована и проанализирована принципиальная схема данного усилителя в среде программы *MicroCap*.

Вступ

На даний момент промисловістю випускаються генератори сигналів і вимірювальні калібратори. Однією із задач для них є метрологічна атес-

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» факультет авіаційних і космічних систем

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» кафедра автоматизації експериментальних досліджень

тація термоелектричних перетворювачів, у нашому випадку це ПНТЭ 12, які працюють у діапазоні частот до 100 кГц за напруги 500 В і 1000 В. Найбільш поширені у світі є калібратори американської фірми *Fluke* та російського заводу РИАП (*H 4-6, H 4-7*). Їх основним недоліком є те, що вони мають обмежений рівень вихідного сигналу, а в той же час для забезпечення вимірювання потрібні більш високі напруги. Тому є необхідним створення вимірювального підсилювача, який би міг би забезпечити вихідну напругу не менше 1000 В у діапазоні до 100 кГц.

Аналіз проблеми

Відомо, що операційні підсилювачі не можуть створювати напругу більшу напруги живлення, і наприклад самий високочастотний операційний підсилювач фірми *APEX PA94* має напругу живлення ± 450 В, а вихідна напруга сягає не більше 400 В амплітудного значення, що відповідає середньому квадратичному значенню 284 В. Для вирішення цієї проблеми була розглянута модель реалізації підсилювача на 1000 В у діапазоні до 100 кГц на основі послідовно адитивно включених операційних підсилювачів (рис. 1) [1].

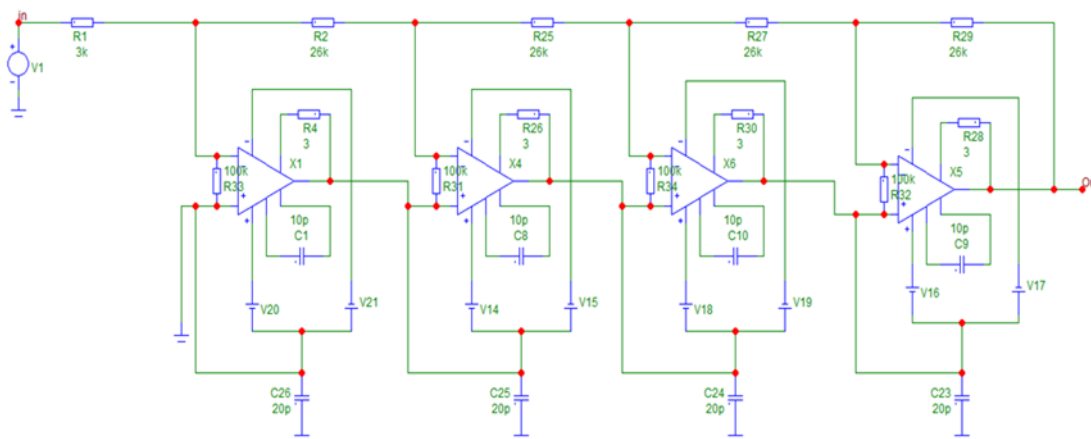


Рис. 1. Схема високовольтного підсилювача із взаємозалежними зворотними зв'язками на чотирьох операційних підсилювачах

Було досліджено кілька варіантів послідовно включених операційних підсилювачів із інвертуючими та неінвертуючими каскадами із залежними і незалежними зв'язками. Аналіз показав, що на 100 кГц через обмежену швидкість наростання сигналу вихідний сигнал спотворюється і замість синусоїдної форми набуває форми близької до трикутної. Більш наочно ця проблема спостерігається у разі підключення двох та більше підсилювачів. У зв'язку із цим запропонована схема адитивної корекції із внутрішнім суматором на вході основного підсилювача (рис. 2) [2].

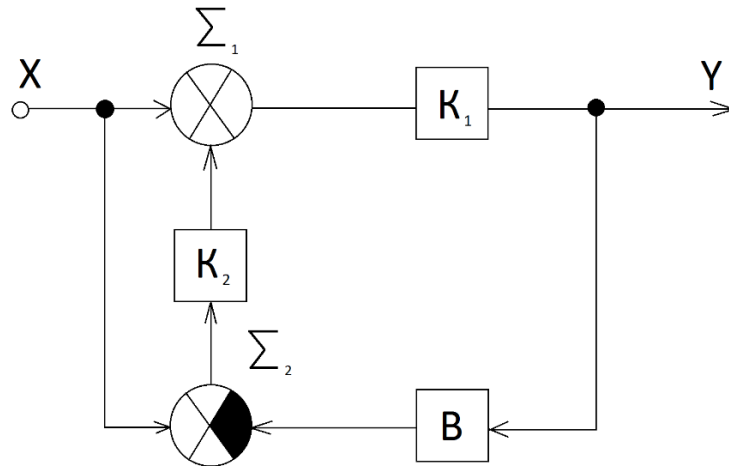


Рис. 2. Структурна схема адитивної корекції із внутрішнім суматором

Моделювання схеми корекції

Для оптимізації принципової схеми такого підсилювача було застосовано моделювання у пакеті *MicroCap*. Однією з особливостей *MicroCap* є безреактивність резисторів. Верхній блок (рис. 3) демонструє принцип включення операційного підсилювача PA94. Результати моделювання даної схеми без ланки адитивної корекції за вхідної напруги у 40 В на частоті 100 кГц показали наступний графік вихідного сигналу (рис. 4).

Далі ми реалізуємо алгоритм адитивної корекції (нижній блок). Включення такої схеми призвело до збудження операційного підсилювача.

Зменшення петльового підсилення по ланцюгу зворотнього зв'язку ліквідувало релаксацію (рис. 6), але залишився високочастотний сигнал збудження. Для остаточного усунення збудження було зашунтовано резистор R2 конденсатором (конденсатор C1) у діапазоні від 3 до 30 пФ. Експериментальним шляхом було обрано оптимальний у 20 пФ. Внаслідок цієї корекції збудження зникло.

На рис. 7 зображений графік вихідної форми сигналу після введення схеми адитивної корекції.

У якості корекційної ланки використовується більш широкосмугові операційні підсилювачі PA98. У зв'язку із тим, що корегуючий сигнал мав межі до 6 В, то з'явилась можливість використати більш дешеві, але більш широкосмугові підсилювачі AD811. На наступному графіку зображено порівняння амплітудно – частотна характеристика схем корекції на PA98 та AD811, а також схеми без адитивної корекції.

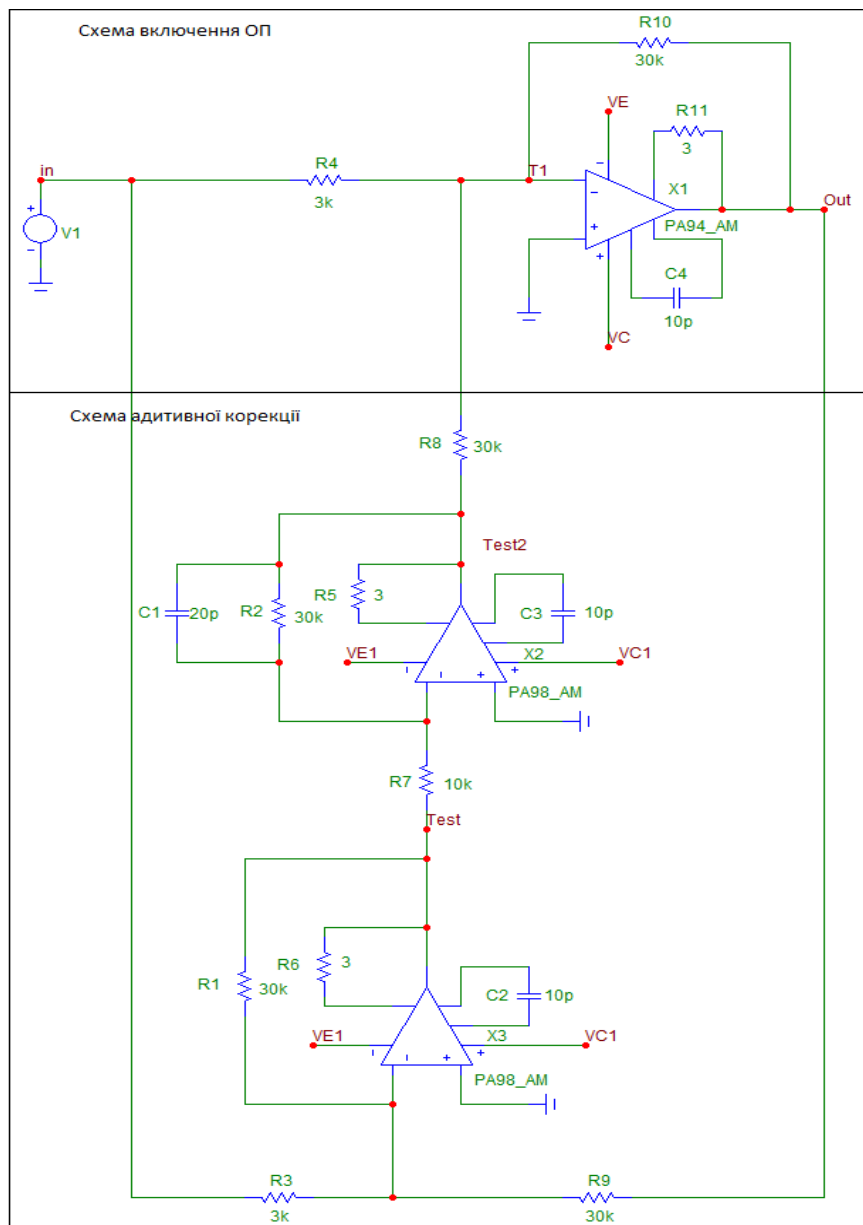


Рис. 3. Схема реалізації алгоритму адитивної корекції у середовищі *MicroCap*

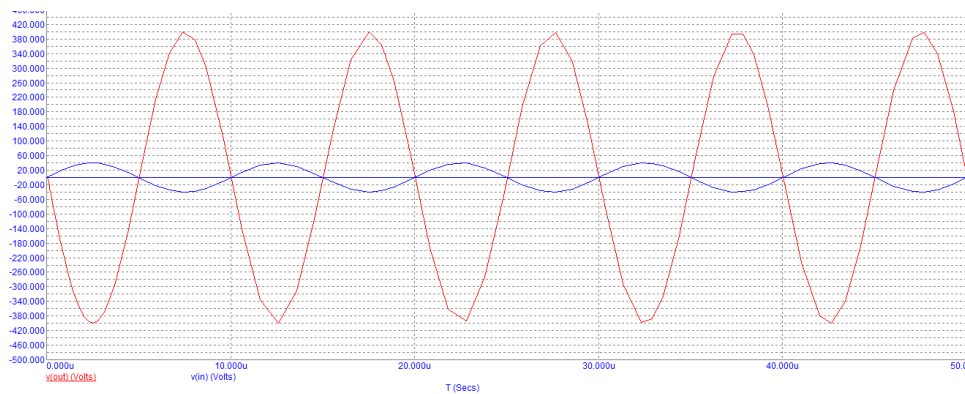


Рис. 4. Форма вихідного сигналу підключення одиничного ОП

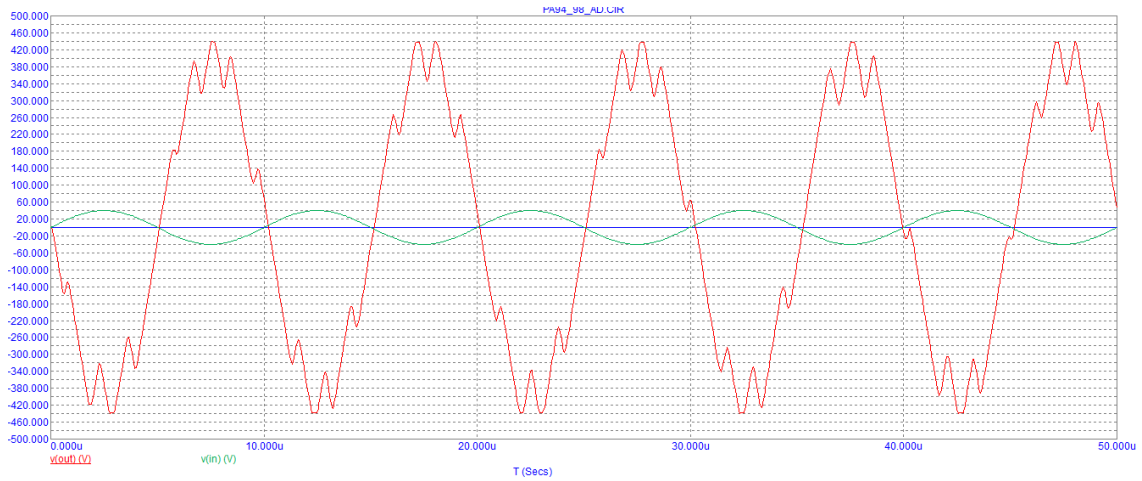


Рис. 5. Форма вихідного сигналу після введення адитивної ланки

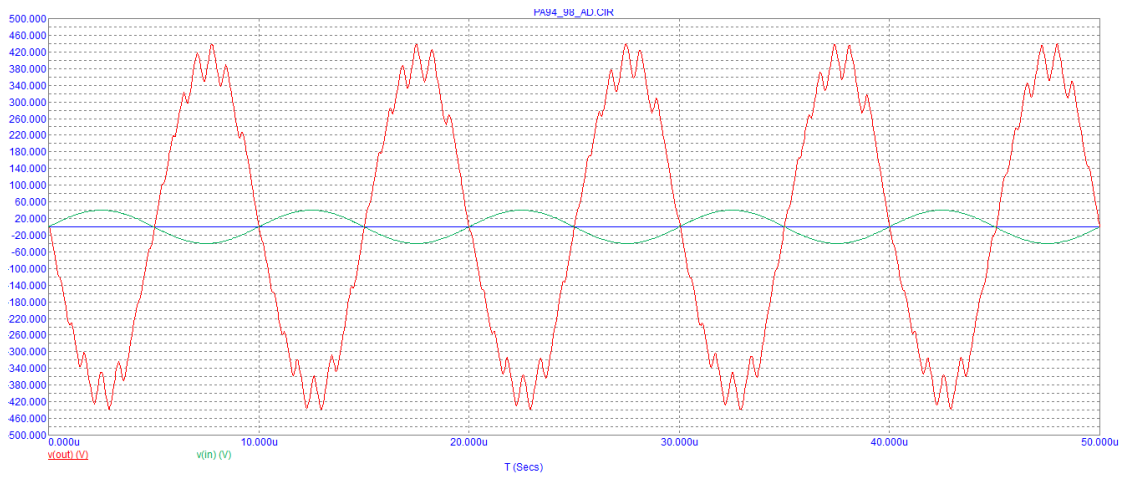


Рис. 6. Форма вихідного сигналу після зменшення петльового підсилення

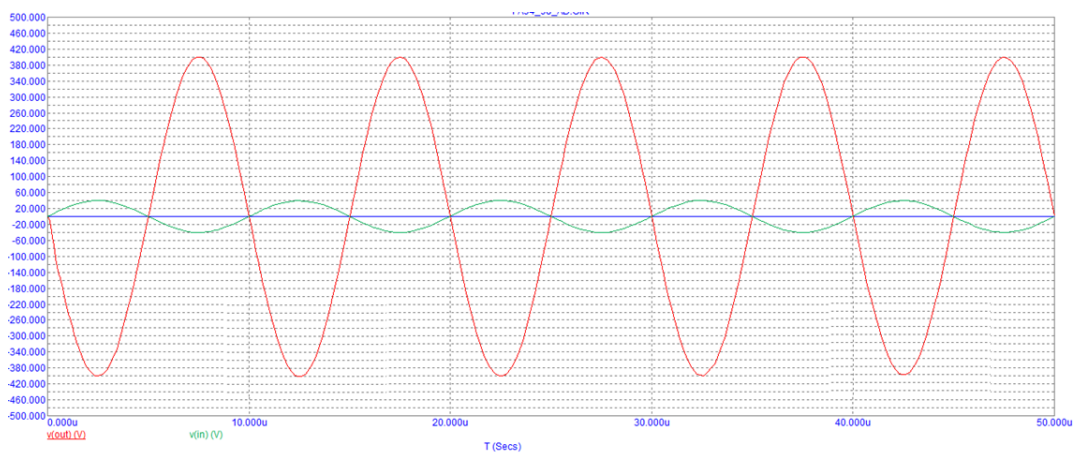


Рис. 7. Форма сигналу після остаточного усунення збудження

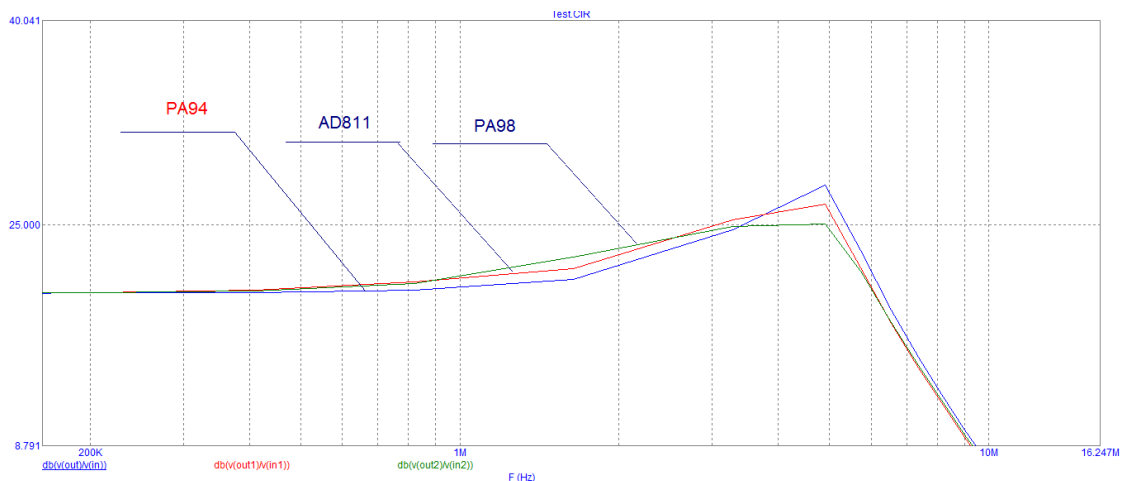


Рис. 8. Порівняння АЧХ

У подальшому була проведена оптимізація схеми корекції.

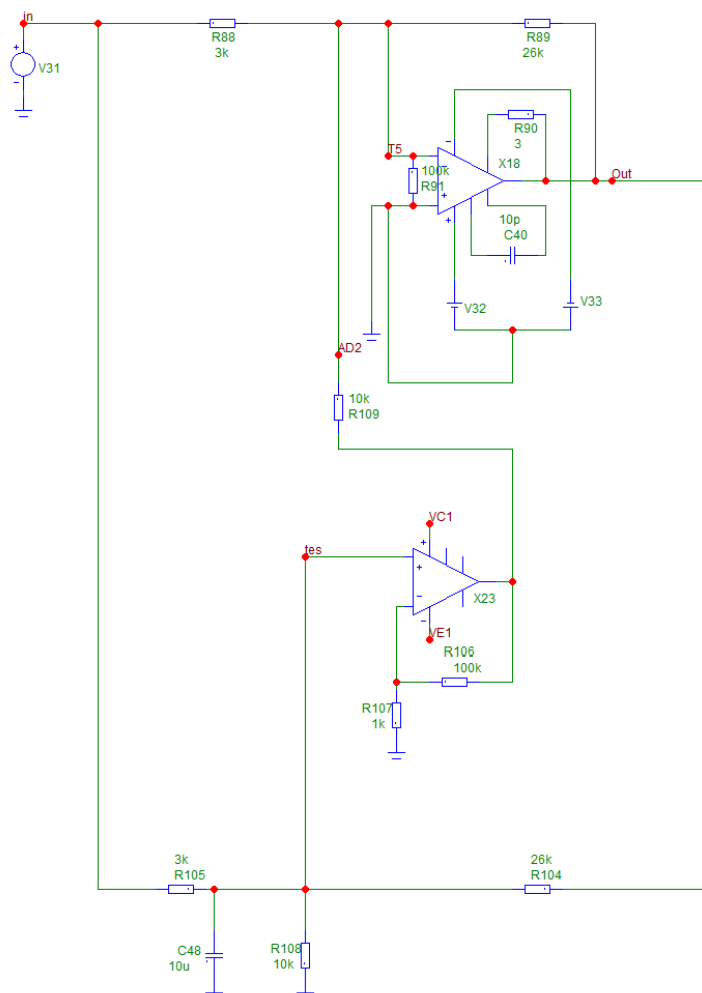


Рис. 9. Реалізація схеми оптимізації адитивної корекції у середовищі *MicroCap*

Висновок

Як показують результати, завдяки введенню схеми адитивної корекції із внутрішнім суматором ми суттєво збільшили частотний діапазон роботи нашого підсилювача, що у свою чергу збільшить якість метрологічної атестації термоелектричних перетворювачів.

Список використаної літератури

1. Туз Ю. М. Ширококутові високовольтні вимірювальні підсилювачі / Ю. М. Туз, М. А. Афанасьєв // монографія за редакцією Ю. М. Туза. – К.: «Корнійчук», 2012. – 92 с.
2. Туз Ю. М. Структурные методы повышения точности измерительных устройств / Ю. М. Туз // – Издательское объединение “Выща школа”, 1976, 256 с.