

ВИСОКОВОЛЬТНИЙ ГЕНЕРАТОР МОДУЛЮЮЧОЇ НАПРУГИ

Д. т. н. А. Б. Коханов, к. т. н. В. І. Старцев, к. т. н. А. Р. Агаджанян,
Я. В. Деревягін, Д. Г. Паску, Н. А. Барабанов, В. Ю. Бекіров

Національний університет «Одеська політехніка»
Україна, м. Одеса
okokhanov@gmail.com, v_i_starzev@yahoo.de

Запропоновано схемне рішення, що дозволяє використовувати резонансні властивості високовольтних п'єзоелектричних трансформаторів для побудови генераторів модулюючої напруги з широким динамічним діапазоном, малим коефіцієнтом пульсацій, високою стабільністю та малим часом встановлення вихідної напруги для апаратури, що застосовується для бортових вимірювань космічної плазми.

Ключові слова: плазма, концентрація, іони, температура, п'єзоелектричні трансформатори, добротність, вихідна напруга, час встановлення.

Для повної характеристики міжпланетної плазми необхідно знати такі експериментально визначені величини, як швидкість спрямованого макроскопічного руху (величина та напрям швидкості), концентрація плазми, швидкість хаотичного (теплого) руху електронів та іонів, склад основних іонів та їхня температура, а також зв'язок між плазмою та магнітними полями.

Для вимірювання параметрів потоку заряджених частинок широке застосування отримали багатоелектродні пастки, що дозволяють вимірювати як інтегральні, так і диференціальні енергетичні спектри.

Істотною перевагою багатоелектродних пасток заряджених частинок перед іншими датчиками-аналізаторами є можливість поділу частинок за енергією у досить широкому діапазоні — від одиниць еВ до десятків кеВ [1].

Для реалізації таких можливостей необхідні генератори аналізуючих сигналів (гальмуючі генератори) з широким динамічним діапазоном (порядку 10^4), малим коефіцієнтом пульсацій (порядку 10^{-4}) та часом встановлення вихідної напруги (порядку 0,1 с). Наведені вимоги суперечливі, тому створення широкодіапазонних гальмуючих генераторів потенціалів пов'язане з відомими труднощами. Аналіз стаціонарних і перехідних режимів у цих генераторах дозволить найкраще вирішити зазначені протиріччя й обґрунтовано вибрати їхній компонентний склад. Метою цієї роботи є розроблення високовольтного генератора, який відповідатиме цим вимогам.

Низьке енергоспоживання можна забезпечити, використовуючи резонансні властивості високовольтних п'єзоелектричних трансформаторів з високою добротністю. Однак їхня резонансна

частота f_0 залежить від умов експлуатації та від рівня аналізуючого сигналу U . Тому перетворювачі доцільно використовувати не тільки для підвищення напруги, але і як частотозадавальні елементи, вводячи їх в автоколивальні пристрої. На цьому принципі заснований автогенераторний підсилювач керуючого сигналу U з компенсуючим джерелом КД, схема якого наведена на рис. 1 [2].

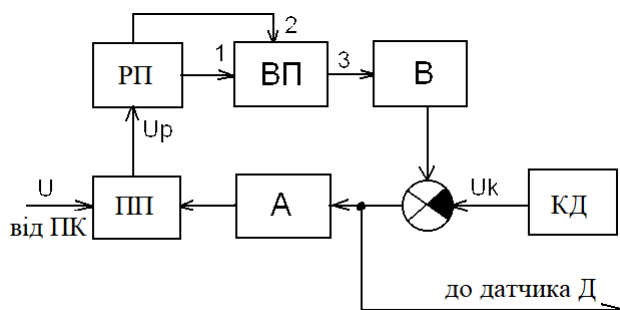


Рис. 1. Структурна схема високовольтного генератора

Регульований підсилювач РП охоплюється позитивним зворотним зв'язком через низьковольтні обмотки або обкладки 1, 2 високовольтного перетворювача ВП. Амплітуда автоколивань, що виникають у цій петлі, з частотою f_0 залежить від регулюючої напруги U_p . Напруга з високовольтного електрода надходить на випрямляч В. Різниця випрямленої і компенсуючої напруг надходить на пастку Д і атенюатор А зі

стабільним коефіцієнтом передачі $K_a \ll 1$. Пристрій порівняння ПП з коефіцієнтом посилення $K_c \gg 1$ видає сигнал U , пропорційний різниці $U_p - U/K_a$. Сигнал U надходить із пристрою керування ПК.

Як видно з рис. 1, генератор, крім петлі автоколивань, містить петлю параметричного зворотного зв'язку, що дозволяє забезпечити високі показники пристрою.

Принципова схема, наведена на рис. 2, містить автогенератор на основі компаратора А1 (напруга позитивного зворотного зв'язку з п'єзотрансформатора РТ, через фільтр R3, C2, L1, що виключає самозбудження на вищих гармоніках РТ, подається на інвертуючий вхід А1), схему регулювання А2, А3, VT1–VT6 і джерело компенсуючої напруги U_k , залучене до ланцюга помножувача UD1–UD4. Застосування компенсуючого джерела, п'єзотрансформатора та операційних підсилювачів з високим коефіцієнтом передачі та малим температурним дрейфом дозволило отримати такі параметри джерела: динамічний діапазон $D = 96$ дБ ($U_{\text{вих}} = 0,2$ В — 15 кВ), нестабільність вихідної напруги (в діапазоні температур від -40 до $+60$ °С) — менше ніж 1%, час встановлення вихідної напруги 10 мС, споживана потужність — 0,4 Вт.

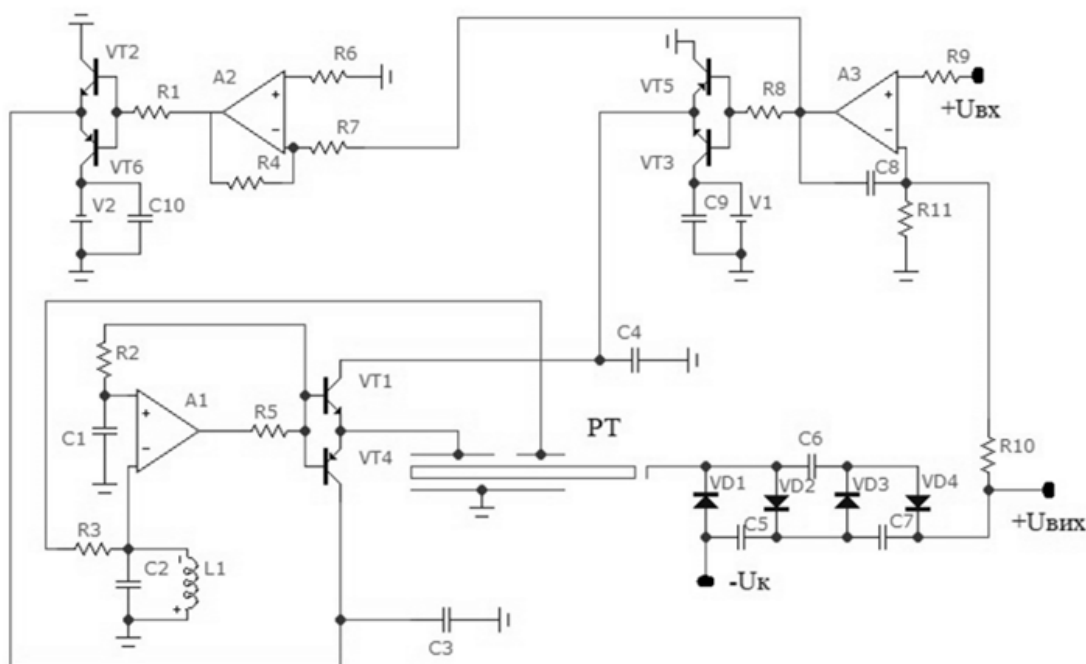


Рис. 2. Схема високовольтного генератора

Використання п'єзотрансформатора з високими добротністю (близько 500) та частотою резонансу ($f_0 = 50$ кГц) знижує амплітуду пульсацій вихідної напруги та дозволяє зменшити номінали конденсаторів фільтрів C5 – C7, габарити та масу джерела, підвищити його надійність та стійкість до впливів. Описані схеми дозволяють на стадії проектування бортової апаратури вибирати елементну базу та схемотехнічні рішення високовольтних керованих джерел аналізованих сигналів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Bullier N. P., Pontin A., Barker P. F. Characterisation of a charged particle levitated nano-oscillator. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2020, vol. 53, no. 17, DOI: 10.1088/1361-6463/ab71a7
2. Петрищев О., Базіло К. *Основи розрахунку та проектування дискових п'єзотрансформаторів*. Riga, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019, 170 с.

A. B. Kokhanov, V. I. Startsev, A. R. Aghajanyan, Y. V. Derevyagin, D. G. Pasku, N. A. Barabanov, V. Yu. Bekirov
Modulating voltage generator for high voltage

The authors propose a circuit solution that allows using the resonant properties of high-voltage piezoelectric transformers to construct modulating voltage generators with a wide dynamic range, low pulsation coefficient, high stability and short settling time for the equipment used for on-board measurements of space plasma parameters.

Key words: plasma, concentration, ions, temperature, piezoelectric transformers, quality factor, output voltage, settling time.