

ВХІДНИЙ КАСКАД ВИМІРЮВАЧА З ПІДВИЩЕНОЮ ЧУТЛИВІСТЮ

Д. т. н. А. Б. Коханов, к. т. н. В. І. Старцев, к. т. н. А. Р. Агаджанян, С. В. Ємельянов,
Р. 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 схемні рішення, що дозволяє підвищити чутливість апаратури, що застосовується для бортових вимірювань параметрів космічної плазми. Проведено аналіз залежності чутливості від параметрів схеми.

Ключові слова: вимірювання, чутливість, параметри схеми, космічна плазма.

Для вимірювання параметрів заряджених частинок широке застосування отримали багатоелектродні пастки, що дозволяють вимірювати диференціальні енергетичні спектри модуляційним методом і знизити похибку адитивного вимірювача (рис. 1) [1].

Чутливість апаратури залежить від параметрів вхідного пристрою. Проведення вимірювань на змінному струмі має суттєвий недолік — шунтування ємністю колектора вхідного опору підсилювача, що призводить до зниження чутливості, а найчастіше — до втрати сигналу.

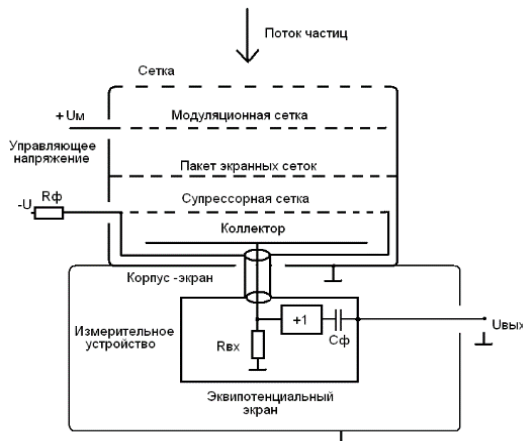


Рис. 1. Схема іонної пастки

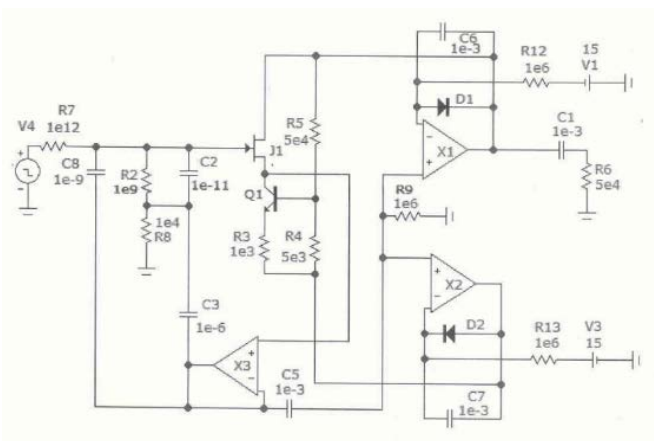


Рис. 2. Принципова схема вхідного каскаду

Метою цієї роботи є вибір схеми та її параметрів для забезпечення максимальної чутливості вимірювального пристрою.

Розглянемо, що саме обмежує чутливість вимірювального пристрою.

Відношення сигнал шум визначається наступним виразом: $U_C / U_{Ш} = i_C (R_{BX})^{0.5} / (4KTdf)^{0.5}$, де i_C — величина струму, що збирається колектором пастки, R_{BX} — вхідний опір вимірювального пристрою; K — постійна Больцмана; T — температура (у градусах Кельвіна); df — смуга пропускання вимірювального пристрою. Це відношення зростає при збільшенні R_{BX} .

Мінімальне значення вимірюваного струму можна визначити за формулою:

$$|i_{C \min}| = N_{\min} F_{\min} \sqrt{4KTdf [1 + (2\pi f_0 C_{BX} R_{BX})]} / \sqrt{R_{BX}},$$

де N_{\min} — задане відношення сигнал/шум; F_{\min} — коефіцієнт шуму вхідного підсилювача; f_0 — частота модуляції плазми у пастці заряджених частинок; C_{BX} — ємність датчика заряджених частинок,

монтажна ємність схеми вхідного каскаду та власні ємності електронних компонентів.

Поліпшити чутливість можна шляхом зменшення частоти f_0 та ємності C_{BX} . Зменшувати частоту доцільно до тих пір, поки не почнеться різке зростання фліккер-шуму польового транзистора до частот 300—500 Гц, але водночас це призводить до збільшення розмірів та ваги апаратури.

Дієвим способом підвищення чутливості є зменшення впливу вхідної ємності за допомогою зворотного відстежувального зв'язку. Такі схеми відрізняються підвищеною надійністю та стабільністю при великій глибині компенсації вхідної ємності. Вхідна ємність зменшується за допомогою ланцюга позитивного зворотного відстежувального зв'язку:

$$C_{BX} = C_{BX.H} - C_K \beta_+ K_{BV},$$

де $C_{BX.H}$ — початкова вхідна ємність; β_+ — коефіцієнт передавання напруги в ланцюзі позитивного зворотного зв'язку; K_{BV} — коефіцієнт посилення напруги вхідного пристрою. Теоретично можна звести до нуля, за умови, що β_+ та K_{BV} дорівнюватимуть 1.

Як такий підсилювач спочатку використовувався пристрій, описаний у [2]. Але у нього був виявлений недолік — низька напруга живлення, що надходить на польовий транзистор і джерело струму в його ланцюзі. Тому було запропоновано розділити ланцюг ООС за постійним струмом за допомогою роздільного ланцюга $C3$, $R9$, а стабілітрони $D1$ та $D2$ включити в ланцюг ООС операційних підсилювачів $X1$ та $X2$. Це дозволяє встановлювати робочий струм стабілітронів не за допомогою зовнішніх ланцюгів. Операційний підсилювач $X3$ дозволяє не навантажувати каскад на польовому транзисторі та отримати коефіцієнт передачі, який практично дорівнює 1 (рис. 2).

При побудові схеми використовувалися операційні підсилювачі типу TL072AC, польовий VN2222L та біполярний транзистор 2SA1266Y.

Досліджуючи функцію $|I_{C_{min}}| = f(R_{BX})$ на мінімум, знаходимо $R_{BX,опт} = 1 / 2\pi\sqrt{3}f_0C_{BX}$ (наприклад, при $f_0 = 1000$ Гц, $N_{min} = 1$, $F_{min} = 2-3$ дБ, $df = 10$ Гц отримуємо $R_{BX,опт} = 1$ ГОм та величину вхідного струму $i_{C_{min}} = 10^{-13}$ А).

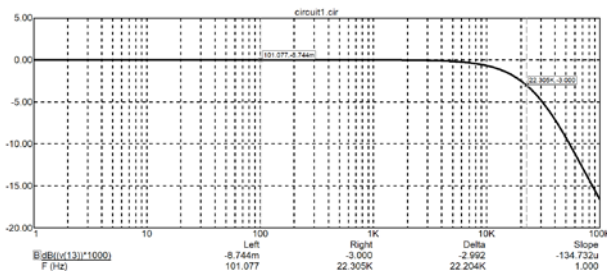


Рис. 3. АЧХ вхідного каскада

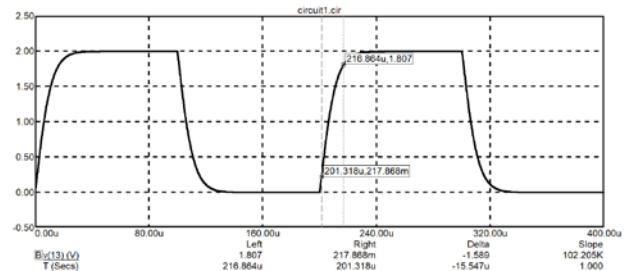


Рис. 4. Перехідний процес

Як видно з рис. 3, коефіцієнт передачі на середніх частотах дорівнює 0.9997, отже вхідна ємність може бути компенсована майже в 3000 разів. На рис. 4 показаний перехідний процес у вхідному каскаді під час подачі на вхід меандру з частотою 5000 Гц.

Таким чином, розроблена схема вхідного каскаду дозволила суттєво зменшити вхідну ємність та отримати високу чутливість на відносно високій частоті, що дозволяє зменшити габарити та вагу космічної апаратури.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Фортов В.А. *Комплексная и пылевая плазма: из лаборатории в космос*. Физматлит, 2013, 478 с.
2. Старцев В.І., Куценко А.П., Барабанов Н.А. *Электрометрический повторитель*. Труды МНПК «СИЭТ-2013», Україна, м. Одеса, 2013, т. 1, с. 293–294.

O. Kokhanov, V. Startsev, A. Agadganayn, S. Emelianov, R. Derevaygin, D. Pasku, M. Barabanov, V. Bekirov

The input stage of the meter with increased sensitivity

A circuit solution is proposed to increase the sensitivity of the equipment used for onboard measurements of space plasma parameters. The sensitivity dependence on the circuit parameters is analysed.

Keywords: measurement, sensitivity, circuit parameters, space plasma.