

Повишаване на информационните възможности на сондов експеримент със сферичен йонен уловител

Мария Петрунова, Бончо Пеев*

Институт за космически изследвания, БАН

* Лаборатория по слънчево-земни въздействия, БАН

Допълването на космофизическия анализ и създаването на комплексен модел на околоземното пространство има голямо практическо приложение за много области на науката. Сондовите методи за изследване на йоносферната плазма продължават да се използват, като съпътстващи, при определянето на параметрите и структурните особености на околоземната плазма. Изучаването на сложните явления в локален и глобален аспект изисква създаването на прибори с повишена функционална и информационна възможност.

Йонните структурни параметри се изучават при експерименти със сферичен йонен уловител. Триелектродният сферичен йонен уловител (СИУ) в режим, когато на анализиращата решетка е приложен изменящ се потенциал, позволява селекция на регистрираните частици по полярност на заряда и по енергия. В сондата се създава електрическо поле, с подаване на колектора на постоянно напрежение, което осигурява пълно събиране на заредените частици. Потенциалът на сондата относно външната среда U е равен на сумата на изменящото се напрежение U_0 и потенциала на корпуса на спътника U_s [1]. Колекторният ток на СИУ се определя от изменението на този потенциал и има следния теоретичен израз [1–3]:

$$(1) \quad I = \frac{I_{i0}}{2Q} \left\{ \left(\frac{1}{2} + Q^2 - P^2 \right) [erf(P+Q) - erf(P-Q)] \right. \\ \left. + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left[(P+Q) \exp-(P-Q)^2 - (P-Q) \exp-(P+Q)^2 \right] \right\},$$

където

$$(2) \quad I_{i0} = N_i e S \alpha V_0,$$

V_0 — скорост на спътника, α — коефициент на прозрачност на СИУ, S — повърхност на колектора на сондата, e — заряд на електрона.

$$(3) \quad P = \left(\frac{eU}{KT_i} \right)^{\frac{1}{2}}$$

K — константа на Болдман, U — потенциал на сондата спрямо средата.

$$(4) \quad Q = V_0 \left(\frac{M_i}{2KT_i} \right)^{\frac{1}{2}}$$

и интеграл на грешката:

$$(5) \quad \text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-x^2} dx.$$

При спътникови измервания получаването на концентрацията на йоните с помощта на цитираните изрази е неудобно и неточно, тъй като зависи от потенциала на спътника. Потенциалът на спътника се определя трудно и с голяма грешка. За избягване на тази зависимост се използва първата производна на тока спрямо напрежението, при допускане, че потенциалът на спътника не се изменя по време на измерването [1]:

$$(6) \quad \frac{dI}{dU} = \frac{I_{i0}}{2Q^2} \frac{e}{KT_i} [\text{erf}(P+Q) - \text{erf}(P-Q)]$$

за йонната концентрация се получава изразът:

$$(7) \quad N_i = K_1 \frac{dI}{dU},$$

K_1 е константа, която зависи от параметрите на датчика и скоростта на спътника.

От (7) следва, че при определена маса на йоните и скорост на спътника, йонната концентрация се явява функция само на първата производна на тока по отношение на напрежението $\frac{dI}{dU} = \text{ctg} \beta$, където β е ъгълът между праволинейния участък на характеристиката и оста на тока.

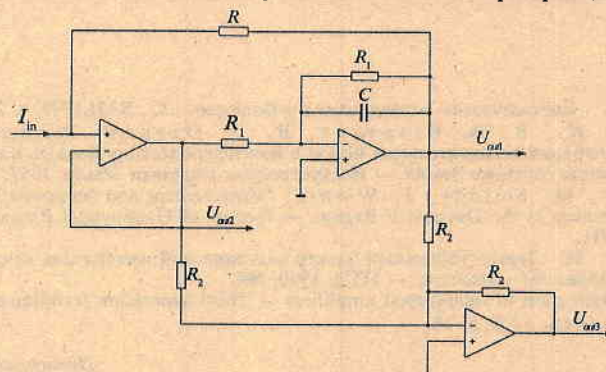
При интерпретация върху експерименталната волт-амперна характеристика могат да се определят няколко праволинейни участъка, което показва, че са регистрирани едновременно йони с различна маса. Съществуват трудности при определянето на различните праволинейни участъци върху експерименталните криви, поради сравнително ниската разделителна способност на СИУ и дискретизацията на характеристиките при предаването им от спътника, което увеличава вероятността от грешка. Непосредственото получаване на волт-амперната характеристика и нейната първа производна на борда на спътника в реално време, като непрекъснати функции, повишава възможностите и точността на експеримента, и намалява грешките при измерване на йонната компонента на плазмата със СИУ.

Схемата на сондов експеримент със сферичен йонен уловител включва: преобразувател ток-напрежение с основен усилвател, свързан с колектора

на сондата, включващ елементи, чрез които се изменя усилването и блок за автоматично регулиране на усилването; източник на спиращо за електроните напрежение, който е свързан с антифотоелектронната решетка; генератор на линейноизменящо се напрежение, който е свързан с външната анализираща решетка; телеметрична система.

В настоящата статия се предлага развитие на едно решение на основния усилвател [4], който се включва в преобразувателя ток-напрежение с многодиапазонен усилвател, който е основният блок в сондов експеримент със сферичен йонен уловител. Предлаганото решение дава възможност за едновременно получаване на волт-амперната характеристика и нейната първа производна, като непрекъснати функции на времето.

На фиг. 1 е показана схемата на основния усилвател. Схемата представлява входно стъпало с операционен усилвател с високо входно съпротивление, включен по неинвертираща схема и инвертиращ интегратор, обхванати с верига за обратна връзка. С използването на инвертиращ интегратор се постига подобряване на дрейфовите характеристики на усилвателя, в сравнение със схемата на входен усилвател по инвертираща схема.



Фиг. 1. Схемата на основния усилвател

Основен проблем, с който се характеризират диференциращите схеми, са високото ниво на шума и нестабилният режим на работа. За избягване на тези недостатъци в [5] е предложен метод за намаляване на шума чрез индиректното изчисляване на производната. В случая производната на сигнала се получава от сигнала и неговия интеграл. След анализ на схемата се получава следният израз за преходната характеристика:

$$(8) \quad e_0 = \frac{-R_1 C s}{1 + R_1 C s} e_i.$$

Тази преходна характеристика има същият вид, както тази на проста диференцираща схема със съпротивление за ограничаване на усилването R_1 , равно на съпротивлението в обратната връзка. Изразът в знаменателя ограничава апроксимацията на диференциална характеристика, но при условие $f \ll \frac{1}{2\pi R_1 C}$ следва:

$$(9) \quad e_0(s) = -R_1 C s e_i, \quad e_0(t) = -R_1 C \frac{de_i}{dt}.$$

Условието удовлетворява дискутираното приложение. Теоретичните изводи са използвани при съставянето на схемата на фиг. 1. Схемата има три изхода, като на U_{out1} се получава напрежение, пропорционално на входния ток, на U_{out2} — напрежение, пропорционално на интеграла на входния ток, а на U_{out3} — напрежение, пропорционално на производната на входния ток.

Предавателните характеристики на схемата бяха изследвани при различни тестови напрежения, при което се наблюдава добра линейност. Разширяването на обхвата на работа на основния усилвател се осъществява чрез съпротивления във веригата на обратната връзка.

Предлаганото решение дава възможност за непосредственото получаване в реално време на волт-амперната характеристика и нейната производна, като непрекъснати функции, което дава директна информация за йонната концентрация на средата. Съчетаването на двете характеристики в реално време повишава точността и информационните възможности на сондовия експеримент със сферичен йонен уловител и същевременно опростява техниката на предаване.

Литература

1. Серафимов, К. Космические исследования в Болгарии. С., БАН, 1979, с. 247.
2. Грингауз, К. И., В. В. Безруких, В. Д. Озеров. Результаты измерения концентрации положительных ионов в ионосфере метода ионных ловушек на третьем советском спутнике Земли. — Искусственные спутники Земли, 1963, №6, с. 63.
3. Sagalyn, R. C., M. Smiddy, J. Wisnia. Measurement and Interpretation of Ion Density Distribution in the Daytime F Region. — Journal of Geophysical Research, 68, 1963, №1, 199—211.
4. Антоненко, В. И. Термостабильный электрометрический измеритель постоянного тока на операционном усилителе. — ПТЭ, 1990, №6.
5. Graeme, J. Application of operational amplifiers — Third generation techniques. Burr-Brown Research Corp., 1973, p. 78.

Постъпила на 18.XI.1997г.

Extention of the information capability of the probe experiment with the spherical ion probe

Maria Petrunova, Boncho Peev

(Summary)

In the report is proposed the current-voltage converter for the probe experiment with spherical ion probe based on noninverting amplifier with high impedance input stage and inverting integrator. As a result is achieved the voltage current characteristic and it's derivative as a real time continuous functions combined with improved performance. Thus the experiment capacity is extended and the measurement technique is simplified.