

## Датчик за измерване на структурни плазмени параметри

Стефан Чапкънов

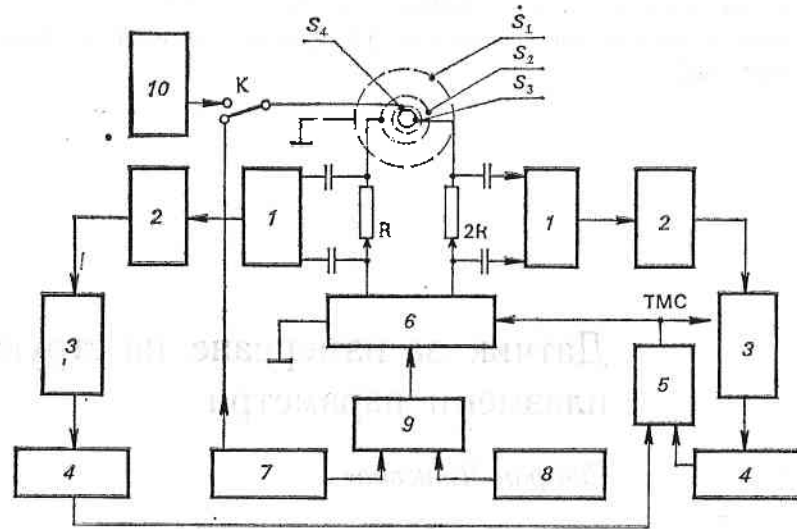
Институт за космически изследвания, БАН

За пръв път в космическата практика на борда на спътника „Интеркосмос България-1300“, изстрелян през 1981 г., е приложен четириелектроден сферичен йонен уловител [1] за измерване на концентрацията на йонната компонента на космическата плазма. Датчикът представлява метален сферичен колектор, около който концентрично са разположени антифотоелектронна решетка, анализираща решетка и външна метална решетка — обвивка под „плаващ“ потенциал. Външната решетка и анализиращата решетка имат коефициент на пропускане над 0,5, докато антифотоелектронната — над 0,9.

В настоящата статия се третира проблемът за използване на описания датчик за провеждане последователно във времето и на друг вид измерване на структурните плазмени параметри.

Съществува директен метод за определяне на електронната температура [2, 3], при който за датчици се използват две отделни сонди на Ленгмюир, като непрекъснато се следи разликата между приложените напрежения — суперпозиция на линейно изменящ се и малък по амплитуда синусоидален сигнал — да е постоянна. Прави впечатление, че макар и отработен като идея, въпросният метод за измерване на електронната температура след 70-те години не се прилага в космическата практика. Това навежда на мисълта за значителни технологични затруднения при изработката и калибрирането на съответния прибор, които обезсмислят прилагането на метода. Друго възможно затруднение в случая с необходимостта от периодично превключване по време на полет на двете сонди: разменяне на местата им на включване поради монтажни и топологични (измерване в различни точки на пространството) разлики в отделните електрически вериги.

По време на споменатия космически експеримент беше направен опит да се приложи методът за директно измерване на електронната температура. Измервателният трансформатор, който е технологично най-неудобният конструктивен възел, беше заменен с резисторна верига [4]. Същевременно поради неизвестното поведение на потенциала на обекта (като носител на измервателната апаратура за пръв път беше използван спътник тип „Метеор“) във въпросния прибор беше предвидена възможност за стъпаловидно



Фиг. 1

компенсиране на потенциални разлики до  $+24\text{ V}$ . Крайният резултат беше негативен: непрекъснато се оказваше включено стъпалото с най-висока компенсираща стойност на напрежението. Това превърна приборът в генератор на смуцаващи електромагнитни сигнали за останалите сондови измерители на борда на спътника и наложи изключването му за целия активен период на съществуване на обекта.

Предлага се четириелектродният сферичен йонен уловител да се използва и в режим на директен измерител на електронната температура. Това е показано на фиг. 1, на която сферичният метален колектор с повърхност  $S_3$  е еднакъв по площ със събиращата повърхност  $S_2$  на решетката, използвана при йонните измервания за анализираща. Така колекторът и решетка  $S_2$  играят ролята на двойна електронна сонда. Между тях е разположена антифотоелектронната решетка  $S_4$ , която в режим на измерване на електронната температура е свързана с генератора на линейно изменящо се напрежение. Означенията на фиг. 1 са, както следва: 7 — генератор на линейно изменящо се напрежение; 8 — генератор на синусоидално напрежение; 9 — суматор; 6 — съпротивителна верига; 1 — диференциален усилвател на променлив ток; 2 — лентов филтър; 3 — амплитуден детектор; 4 — филтър на ниска честота; 5 — диференциален усилвател на постоянен ток; 10 — генератор на постоянно напрежение за антифотоелектронната решетка в режим на измерване на йонната плазмена компонента.

Действието на схемата е следното. Сондовите токове, които протичат през резисторите, се обуславят от приложеното сумарно напрежение от изхода на генератора на тригонообразно напрежение 7 и синусоидалния генератор 8 (честота 6 kHz и амплитуда 20 mV) през суматора 9. Получените върху резисторите сигнали се подават към две идентични вериги, включващи съответно диференциалния усилвател на променлив ток 1, лентов филтър 2, амплитуден детектор 3 и филтър на ниска честота 4. Изходните сигнали от 4 постъпват към диференциален усилвател на постоянен ток 5 и пасивен делител 6. Прилагането на схемата от фиг. 1 всъщност се основава на обстоятелството, че при смесване на линейно изменящо се напрежение със синусои-

дален сигнал с малка амплитуда, резултатните сондови токове при разлагане в ред на Фурне, съдържат съгласно Тейлор първа хармонична, даваща информация за стойността на първата производна на тока.

Самият принцип на измерване е следният. Електронният ток, протичащ през метална сонда, потопена в плазмата и заредена до потенциала  $\psi$ , се изразява с:

$$I_0 = \frac{1}{4} A n e \bar{v},$$

където  $A$  е площ на сондата (събиращата повърхност),  $n$  — електронна плътност,  $\bar{v}$  — средна скорост на електроните,  $e$  — заряд на електрона. Ако потенциалът на сондата е отрицателен по отношение на плазмения, до електрода достигат само електрони с енергия, достатъчна за преодоляване на спиращата потенциална разлика. Токът в случая е

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{eV}{kT}\right),$$

където  $V$  е потенциал на сондата,  $k$  — константа на Болцман,  $T$  — електронна температура.

При положителен потенциал на сондата волт-амперната характеристика (ВАХ) вече не е експоненциална, а зависи от геометрията на датчика. При прилагане на развиващо напрежение към сондата през нея протича ток, който в спиращата област определя експоненциална ВАХ. Когато две сонди се намират под различни потенциали  $V_1$  и  $V_2$  в спиращата област, от горните зависимости следва, че

$$\left(\frac{dI_1}{dI_2}\right)_{dV} = \exp\left[-\frac{e(V_1 - V_2)}{kT}\right].$$

Ако отношението на диференциалите на токовете се поддържа постоянно и равно на 2, електронната температура при известна разлика  $V_1 - V_2$  между напреженията е

$$T = \frac{e(V_1 - V_2)}{k \ln 2} = 1,67 \cdot 10^4 \Delta V \text{ [K]},$$

където  $V_1 - V_2 = \Delta V$  във волтове.

Изискването за система, в която отношението на диференциалите на токовете през сондите се поддържа постоянно, се удовлетворява чрез изменението на  $V$  между сондите до получаване на отношение 2 между диференциалите. Самото отношение 2 е регламентирано от използване на резисторите  $R_1$  и  $R_2$ , които се различават 2 пъти по стойност.

Описаната схема може да се приложи лесно и в режим на измерване на йонната плазмена компонента при използване на датчика в традиционния му режим на четириелектроден сферичен йонен уловител, елиминиране на клоната от сервосистемата от фиг. 1, свързан с анализиращата решетка и телеметриране на изходното напрежение от сондовия колектор. При това по-голяма част от електронните блокове могат да се използват без изменение. Така при посоченото апаратурно диференциране първата производна на сондовия ток дава директна информация за йонната концентрация.

## Литература

1. Чапкѝнов, С. К., Ц. П. Дачев, Т. Н. Иванова. Авт. свид. № 29531, 1980.
2. Wilson, J. W. G., G. Garside. — Planet and Space Sci., 16, 1968, 257-272.
3. Tyler, A. F. — Radio and Electron. Eng. 42, 1972; № 7, 17-23.
4. Марков, В., В. Генев, С. Чапкѝнов, И. Иванов. Авт. свид. 39955, 1981.

Постѝпила на 3. XI. 1993 г.

### Sensor for measurement of structural plasma parameters

*Stephan Chapkunov*

(Summary)

A new possibility of application of a four electrode spherical ion trap is described here, i. e. as a double electron probe for direct measurement of electron temperature. Usually this probe is used for ion component density meter in space plasma measurements. These new in type measurements may be performed sequentially in time under the simple reswitching of the sensor electrodes. During the realization of the experiment no particular sophistication of the measuring electronic is required since the majority of the functional blocks perform equal functions both in positive ion density measurements and in direct electron temperature measurements.