

СИСТЕМА ЗА ДИРЕКТНО ИЗМЕРВАНЕ НА ЕЛЕКТРОННАТА ТЕМПЕРАТУРА В КОСМИЧЕСКАТА ПЛАЗМА

Ст.К. Чапкънов, М.Н. Гушева, Н.Г. Банков, С.Б. Василев
Институт за космически изследвания - БАН

Измерването на структурните плазмени параметри е основна или съпроводителна задача, решавана при всеки конкретен случай на ракетен или спътников експеримент. Електронната температура е характерен белег на космическата плазма и обикновено се дефинира при спокойното ѝ състояние, когато плазмата е квазинеутрална.

Обект на доклада са анализът на причините за прекъсването на прилагане на метод за директно измерване на електронната температура, използван успешно през 70-те години. На базата на анализа се предлага система за директно измерване на електронната температура, при която биха се избегнали факторите, ограничаващи прилагането на едноименния метод в космическата практика.

Принципът на измерването [1] е следният: през метална сонда (проводник), потопена в плазмата и заредена до потенциала ѝ, протича електронен ток, определящ се чрез израза

$$I_0 = Anev/4,$$

където A е площ на сондата (събиращата ѝ повърхност), n - електронна концентрация, 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 тогава е

$$I = I_0 \exp(eV/kT),$$

където V - потенциал на сондата, k - константата на Болцман, T - електронна температура.

При положителен потенциал на сондата волт-амперната характеристика (ВАХ) не е експоненциална и зависи от геометрията на датчика. Ако към сондата се приложи развиващо напрежение, през нея протича ток, който в спиращата област определя експоненциална ВАХ. За две еднакви сонди, намиращи се под различни потенциали V_1 и V_2 в спиращата област, от горните зависимости следва

$$(dI_1 / dI_2) dV = \exp[e(V_1 - V_2) / kT].$$

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:

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

където ($V_1 - V_2$) = ΔV - във волтове.

Постановката на експеримента за директно измерване на електронната температура е описана в [2]. Изискването за система, в която отношението на диференциалите на токовете се поддържа постоянно, се удовлетворява чрез изменение на V между сондите до получаване на исканото отношение 2. Това се осъществява от сервосистема, контролираща напрежението между сондите при едновременно следене на отношението на диференциалите. Въпросното напрежение се генерира от генератор на линейно изменящо се напрежение и се прилага към всяка от двете сонди (цилиндрични сонди на Ленгмюр). Към развивката се добавя синусоиден сигнал със значително по-малка амплитуда, резултантното напрежение чрез измервателен трансформатор се подава към сондите. Измервателният трансформатор, освен тежък и конструктивно неудобен, е твърде деликатен за настройка, което е налагало при различните експерименти, реализиращи описания метод, да бъде изменяно местоположението му - от близост до датчиците до монтирането му в общ екран с измервателната електроника, водещо до допълнителни неприятности. Това е ной-вероятната причина след 70-те години този метод, макар сравнително точен и елегантен, да престане да се използва при космическите изследвания. Допълнително усложняване на измервателната схема според [2] е принудителното включване на реле, периодично изменящо местата на присъединяване на двете сонди към измервателния трансформатор. Това е наложено поради съществуването на контактни потенциални разлики, дължащи се не само на контакта на сондовите повърхности с плазмата, но и на различните местоположения на същите в един и същ момент на измерване. По изложените причини се изискват и специални проводящи покрития на използваните датчици. Опит за възстановяване на директното измерване на електронната температура е направен по време на реализирането на експеримента "Интеркосмос - България - 1300" (ИКБ-1300). В измервателната схема на създаденото за случая устройство трансформаторът беше заменен с резисторна верига. Тъй като ИКБ-1300 беше пръв опит спътник от типа "Метеор" да се използва за чисто йоносферни измервания и

предварително бе неизвестно поведението на потенциала на корпуса му, по време на полет беше предвидена възможността автоматично да се подават компенсиращи напрежителни стъпала към използваните за датчици на устройството за директно измерване на електронната температура две метални сфери. Експериментът по директно измерване на температурата беше неуспешен: непрекъснато към датчиците се оказва включено най-високото по стойност напрежително стъпало, липсваше информация за електронната температура, а датчиците се държаха като генератори на смущаващи сигнали за останалите сондови измерители. По тези причини се наложи изключването на този сондов прибор.

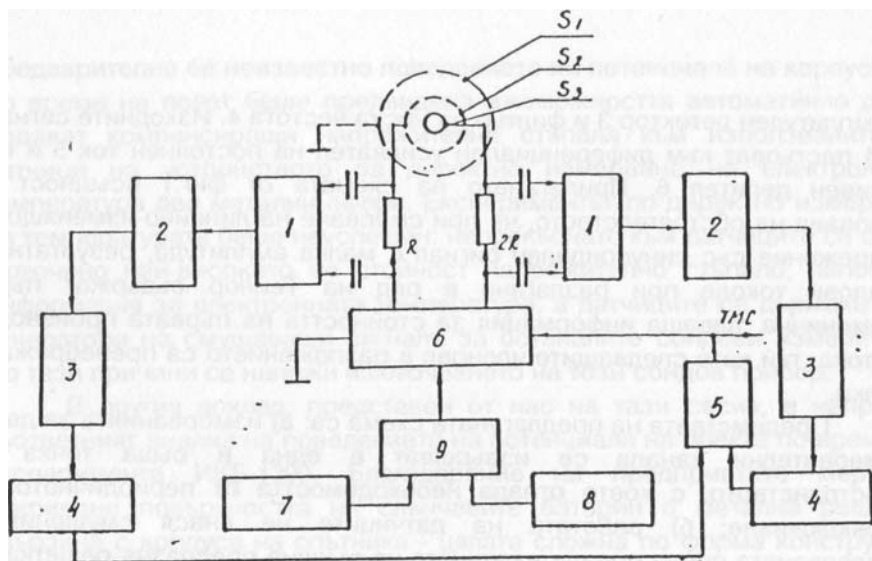
В другия доклад, представен от нас на тази сесия, е направен съответният анализ на поведението на потенциала на обекта по време на експеримента ИКБ-1300. Благодарение на предприетите мерки - покриване повърхността на слънчевите батерии с метална решетка, свързана с корпуса на спътника - цялата сложна по форма конструкция се държеше като хомогенно проводящо тяло. Потенциалът му в нощната страна на орбитата бе отрицателен и не превишаваше 1-2 волта. "На слънце" потенциалът ставаше леко положителен, отново в горните граници. Това показва, че при бъдещ експеримент не е необходимо допълнително усложняване на измерванията чрез използване на компенсиращи напрежения, с което би отпаднал съществен потенциален източник на грешки.

На фиг.1 е показана блок-схема на предлаганата от авторите система, основана на принципа от [2]. Разликата от класическия метод в частта на автокомпенсационната система за поддържане на постоянно отношение на диференциалите на токовете е в замяната на измервателния трансформатор със съпротивителна верига 3. За избягване на недостатъците на класическия метод, в качеството на датчик се предлага триелектродна сферична система, чиито вътрешни събиращи повърхности S_2 и S_3 , с еднакви площи, служат за сонди на двата измервателни канала, а вътрешната решетка - перфорирана метална сфера - е изолирана ("плава") или свързана с корпуса на обекта. Сондовите токове, които протичат през резисторите, се обуславят от приложеното сумарно напрежение от изхода на генератора на линейно изменящо се напрежение 7 и синусоидалния генератор 8 (с честота 6 килохерца и амплитуда 20 милivolта) през суматора 9. Получените върху резисторите сигнали се подават към две идентични вериги, включващи съответно диференциален 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 към пасивен делител 6. Прилагането на схемата от фиг.1 всъщност се основава на обстоятелството, че при смесване на линейно-изменящо се напрежение със синусоидален сигнал с малка амплитуда, резултатните сондови токове при разлагане в ред на Тейлор съдържат първа хармонична, даваща информация за стойността на първата производна на тока, тъй като следващите членове в разложението са пренебрежимо малки.

Предимствата на предлаганата схема са: а) измерванията за двата измервателни канала се извършват в една и съща точка на пространството, с което отпада необходимостта от периодичното им превключване; б) работата на датчиците не внася смущения в изследваната среда поради наличието на външна предпазна решетка; в) отпада необходимостта от специални покрития на датчиците, тъй като външната решетка не участва в токовете кръгове на измервателната система; г) чувствителността на измерванията може да се повиши чрез увеличаване размерите на събиращите електроди, а оттам - на събиращите площи, което следва непосредствено от а) и б).

Описаният датчик може да се използва успешно при провеждане на йоносферни изследвания, независимо от вида на обекта - носител на научна апаратура, тъй като условието за извършване на коректни измервания - разстоянието между решетките да е по-голямо от радиуса на Дебай в точката на измерването - е лесно изпълнимо съгласно б) и г).



фиг. 1

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Wilson, J. W. G., Garside, G., A new technique for measuring electron temperatures in the ionosphere. Planetary and Space Science, 16, 1968, pp 257-272.
2. Tyler, A. F., Design considerations in the measurement of electron temperature in the ionosphere. The Radio and Electron Engineer, 42, 7, 1972, pp 309-313.
3. В. Г. Марков, В. Генев, С. Чапкънов, И. Б. Иванов, Устройство за директно определяне на електронната температура на йоносферата, Авт. свид. рег. № 39955, 1979.