

Метод за определяне потенциала на космическия обект

С. К. Чапкџнов, Ц. П. Дачев, И. Б. Иванов,
В. Н. Ораевский*, В. В. Темный*

Институт за космически изследвания, БАН
*ИЗМИР — АН СССР

Определянето на потенциала на космическия обект (космическия апарат — КА) е необходимо по следните причини:

1. Провеждането на сондови или други видове изследвания от борда (които са свързани с протичане на ток във веригата плазма—корпус на спътника—датчик—корпус на спътника—плазма) е свързано с непосредственото влияние на потенциалната разлика обект—плазма, т. е. с наличието на потенциал на обекта.

Има случаи, когато резултатите от измерванията могат да бъдат частично или напълно компрометирани, ако се оценява стойността на потенциала на обекта.

2. В условията на провеждане на активни плазмени експерименти, свързани с инжектиране на електронни или йонни потоци в околоспътниковата околност, обектът, на чийто борд са монтирани съответните инжектори (електронни или йонни оръдия), по принцип се зарежда до потенциала на активния електрод на инжектиращото устройство, който в повечето случаи е твърде висок.

3. Дори в условията на пасивни експерименти, но провеждани на борда на високоапогейни носители, например — на геостационарни обекти, проводящите части (а в общия случай — дори в по-голяма степен и изолираните повърхности, диелектриците и пр., монтирани на повърхността на КА устройства) се зареждат до твърде високи потенциали.

Особено важно е определянето на потенциала на обекта в случаите, когато на борда (на същия обект) се провеждат изследвания на вълновите процеси, които всъщност възникват и се развиват в условията на повишена потенциална разлика обект—плазма. От значение в случая е точното познаване на характера на измененията на потенциала, т. е. на неговата амплитудно-времева характеристика. При това активните експерименти изискват познаването на много кратките първоначални интервали на развитие на процеса на зареждане на обекта непосредствено след инжекцията, тъй като впоследствие характеристиките се „изглеждат“.

Известните методи за изследване на потенциала на обекта се свеждат до:

1. Определяне на температурата на електроните в близост до космическия обект. По волт-амперната характеристика на сонда на Ленгмюир, работеща на съответния обект, се определя електронната температура на плазмата по време на активното смущение, предизвикано от работата на инжектора. Сравняването на тези температурни стойности с температурата след прекъсване на инжекцията и определянето на разликата дава възможност да бъде изчислен потенциалът на КА [1].

2. Определяне на потенциалната разлика между две малки (в сравнение с размерите на обекта) сферични сонди. Потенциалът на КА се получава чрез интегриране на получената потенциална разлика по разстоянието, на което се осъществява падът на напрежението [2].

Такива методи [1] за определяне на потенциала на КА са използвани по време на полета на „Шатъл“ през 1983 г. в режим на инжекция на електронен сноп. Измерването на потенциала е било извършено с времево разрешение десетки стотици милисекунди (такива са били занижените изисквания на провеждащите експерименти). В момента на включване на инжектора стойността на потенциала на КА и динамиката на изменението му с разрешение в милисекунден интервал не са били определяни.

Близък до предлагания метод за определяне на потенциала на КА е методът, основан на измерване на максимума на енергийния спектър на електронния поток (обусловен от връщащите се след инжекция в околното пространство електрони обратно към повърхността на космическия апарат). Методът [2] се основава на пропускането на връщащите се електрони през анализиращо електрическо поле със стъпаловидно изменение на стойността на напрегнатостта му, монохроматизиране на потока на регистрираните електрони на всяко енергийно стъпало с продължителност няколко милисекунди. Тази продължителност се обуславя от допустимата стойност на напрежението на източника, създаващ полето. С времево разрешение, възлизащо на 0,4 s, определяно от продължителността на смяна на пълния цикъл на стъпаловидни напрегнатости на полето, са получени стойности на потенциала на КА около $(6 \pm 20\%) E_0/q$, където E_0 е енергията на инжектираните електрони в кeV, q — зарядът на електрона.

Известно е, че при инжекция на електронен (йонен) поток от инжектор, монтиран на борда на КА, се наблюдава зареждане на обекта до положителен (респективно отрицателен) потенциал V , равен или по-нисък от стойността на отношението на енергията на частиците E към заряда им q . Намалението на V в сравнение с отношението E/q е за сметка на възникването около обекта на слой електрони (йони) под действие на установилия се потенциал. Потокът, компенсиращ V , се усилва значително след възникване на плазмено-лъчев разряд (ПЛР) около КА, при който значително се повишава концентрацията на токоносителни в околната плазма. Развитието на ПЛР започва след единици десетки микросекунди от началото на плазмената инжекция, т. е. много кратко време след „запалването“ на инжектора. Такива късопериодични събития изобщо не са били анализирани [2].

Този съществен недостатък е обусловен от недостатъчното времево разрешение на използваните досега способности за измерване на потенциала на КА. Очевидно е, че за 0,4 s (т. е. за време, много по-голямо от продължителността на развитието на ПЛР) се извършва частична компенсация на потенциала V от електроните от плазмата с повишена концентрация около КА (дължаща се отново на ПЛР). Намаляването на честотата на пълния цикъл на стъпаловидната напрегнатост на полето от 0,4 s до единици микросекунди би изисквало увеличаване на мощността на захранващия източник с около 2 порядъка. Това е недопустимо за бордово устройство.

При намаляване на времето разрешение със също толкова порядъка се намалява броят на регистрираните електрони и възстановяването на пълния им спектър с цел определяне на максимума на последния става невъзможно.

За да се повиши времето разрешение при определяне на потенциала на КА без съществено увеличаване на енергийните загуби, връщащите се електрони се пропускат през енергийно по-изгодно (в сравнение със стъпаловидното) синусоидално анализиращо електрическо поле с период около микросекунда (фактически по-малко от времето за развитие на ПЛР) и с удвоена амплитуда на напрегнатостта, осигуряваща анализ на целия енергиен диапазон на връщащите се електрони. При период на анализиращото поле десетки микросекунди може да се загуби информация за динамиката на потенциала при развитие на ПЛР. При този анализ се регистрира всеки електрон и в момент на регистрация се определя енергията му по стойността на фазата на анализиращото синусоидално напрежение.

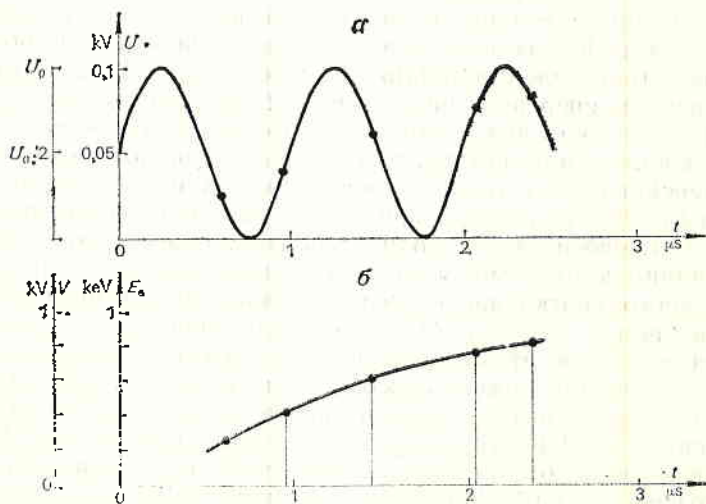
Получената времева последователност на изменение на енергията на регистрираните електрони се отъждествява с динамиката на потенциала на КА, под действие на който е придобита енергията на завръщащите се електрони.

Същността на предлагания метод се илюстрира на фиг. 1. На фиг. 1а е приведена времевата развивка на 2,5 периода на анализиращото електрическо поле $U_0 \sin \omega t$ от $t=0$ (начален момент на инжекцията на снопа) и моментите на регистриране на завръщащите се електрони (означени с точки) при различни фази на анализиращото поле.

Енергията на регистрираните електрони в keV е $E_e = kUq$, където k е константа, q — заряд на електрона, U — анализиращо поле в kV.

На фиг. 1б е показана времевата последователност на завръщащите се електрони (вертикалните линии) и построената по тях крива на динамиката на изменение на потенциала на КА (плътна крива). Кривата е построена за период 2,5 μs , т. е. по-малък от времето за развитие на ПЛР.

Предлаганият метод може да се реализира по следния начин. На борда на КА с инжектор на електронен поток с фиксирани енергии се монтира елек-



Фиг. 1. Времедиаграма, илюстрираща същността на предлагания метод

тростатичен анализатор, към който се прилагат потенциали от парафазен източник на напрежение (със синусоидална форма). Детекторът е открит тип, например — микроканална пластина. Той регистрира всеки пропуснат през анализатора завързващ се електрон (енергията на който е $E \leq E$ на снопа, а честота f , много по-голяма от честотата на фоновите електрони). Получената в бордовото устройство за анализ на бързи времеви процеси времева последователност на енергиите на връщащите се електрони характеризира динамиката на потенциала на КА в първите микросекунди след включването на инжектора (електронното оръдие). Това позволява да се определи динамиката на потенциала на КА за период от началото на инжекцията до началото на ПЛР около КА при незначителни мощности P на захранващия източник на анализиращото напрежение със синусоидална форма:

$$P = C (U/2)^2 f / 2 Q,$$

където P — 200 mW при капацитет на електростатичния анализатор $C = 200$ pF; $U_0 = 100$ V, f е честотата на синусоидалното напрежение ~ 10 Hz; коефициентът на полезно действие на захранващия източник е 0,5 при качествен фактор на изходната верига на контура на анализатора $Q = 10$, характеризиращ разхода на запасената енергия за период на колебанията $1/Q$.

При определена мощност на източника на стъпаловидно напрежение със същото времево разрешение (пълният разход на запасената в анализатора енергия се извършва за периода на цикъла на сканиране по енергии, т. е. $Q = 1$) превключването на стъпалата трябва да се реализира с честота f и максимална амплитуда на анализиращото напрежение U_0 . В резултат за определяне на V със същото времево разрешение би се наложило да се използва източник на стъпаловидно напрежение с мощност, възлизаща на 2 порядъка повече от онази, необходими за предлагания метод.

Това лесно може да се види от зависимостта

$$P = CU_0^2 f / 2,$$

където $P \sim 20$ W, което за космически цели е недопустимо.

Следователно използването на енергийно по-изгодното синусоидално вместо стъпаловидно напрежение на източника позволява регистрирането на потенциала на КА с времево разрешение от порядъка на микросекунди при мощност на захранващия източник 20 mW.

Л и т е р а т у р а

1. Beghin, C., J. P. Lebertin, B. N. Machlum, J. Troim, P. Ingary, J. L. Michan. Phenomena induced by charged particle beam. — Science, 225, 1984, 188-191.
2. Wilhelm, K., W. Studeman, W. Riedler. Elektron flux intensity distributions observed in response to particle beam emissions. — Science, 225, 1984, 186-188.

A method for space object potential determination

*S. K. Chapkunov, Ts. P. Dachev, I. B. Ivanov,
Y. N. Matveitchuk, V. I. Gaidanskii, V. N. Oraevskii,
V. V. Temni*

(S u m m a r y)

The existing methods for space object potential determination are described. The problems of the existence of a given object potential are connected with the space conditions in the presence of operating injectors on board the active objects, etc. and require the development and utilization of specialized devices for potential determination.

A method for potential determination has been described, where the potential value is determined, as well as its time characteristics in the first microseconds after the injection.

A unique analysing voltage sine scanning generator is used instead of the conventional step generators. In this case the energy consumption is twice lower, as compared to the contemporary methods.