

ОСЦИЛОГРАФСКИ МЕТОД ЗА ДИРЕКТНО МЕРЕЊЕ НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА ЕЛЕКТРОНИТЕ ВО ПЛАЗМА

Милчо Ристиов

Постојат повеќе осцилографски методи за определување на температурата на електроните, што ползуват еднострука Langmuir-ова проба. Некои од нив се служат со круг за аналогно логаритмирање на струјата на пробата и нејзино осцилографско представување во однос на напонот [1, 2]. Точноста на овие методи зависи од точноста на определување на тангенсот на правиот дел од графикот. Постојат и такви методи со кои се добива дистрибуционата функција на електроните, само што тие се служат со комплицирана електронска апаратура [3, 4.] Постои метод за директно определување на температурата со снимање на комбинирана карактеристика, што се дефинира со

$$J = V \cdot F(V), \quad (1)$$

каде што $F(V)$ ја претставува оригиналната карактеристика на еднострука проба [5]. Функцијата (2) има дефиниран максимум даден со

$$V_{\max} = \frac{kT}{e}.$$

Во работата цитирана под [5] анологното множење на функцијата со аргументот беше изведено со помош на двоен потенциометар, а снимањето беше изведено со регистратор. Заради оваа, брзината на снимањето беше мала, па методот не можеше да се ползува за мерење во плазма чии што параметри се менуваат брзо.

Во оваа работа е опишан електронски метод за аналогно множење на карактеристиката на пробата со напонот. Со тоа е овозможено осцилографско прикажување на функцијата дадена со (1), а со тоа и брзо читање на еквивалентата температура.

Теоријска основа на методот

Ке земеме дека напонот помеѓу пробата и референтната електрода (анода) е периодичен од експоненцијален облик, при што пробата да биде негативна во однос на анодата. Промената на опаѓачкиот дел на периодичниот напон нека е дадена со

$$V_p = V_{p0} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (2)$$

каде што е V_{p0} — максимална вредност на напонот, а τ — временска константа. За случај на важност на *Maxwell-Boltzmann*-овата распределба на електроните по брзини, јачината на електронската компонента на струјата ќе биде дадена со познатата релација

$$I_e = I_{0e} \cdot e^{-\frac{eV}{kT}}. \quad (3)$$

Во случај кога напонот на пробата се менува во текот на времето според изразот (2), временскиот извод на електронската компонента на струјата (3) ќе биде даден со

$$\frac{dI_e}{dt} = \frac{e}{kT\tau} I_{0e} \cdot e^{-\frac{V_e}{kT}} \cdot V_{p0} e^{-\frac{t}{\tau}},$$

која може да се напише во облик

$$\frac{dI_e}{dt} = \frac{e}{kT\tau} I_e V. \quad (4)$$

Графичкиот приказ на (4) во зависност од напонот ќе даде крива што има максимум за

$$V_{\max} = kT/e \quad (5)$$

и превојна точка за

$$V_{pr} = 2kT/e.$$

Од ова следи дека еквивалентната температура може да се прочита директно од положението на максимумот. Додека V_{\max} може сосема точно да се определи заради острината на максимумот, вредноста на V_{pr} е многу неизвесна па заради тоа таа може да послужи само за контрола.

Експериментална опстановка

Според даденото теоријско образложување, напонот што е потребен за снимање на функцијата (4) треба да е експоненцијално опаѓачки со облик даден со (2). Во нашиот случај беше ползуван пулсгенератор со траење на пулсот од 50ms и со мал интерен отпор (R_1). На излезот на генераторот беше споен RC — член. Во таков случај при секој пулс се добива напон, чиј што растечки дел е даден со

$$V_1 = V_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{R_1 C}}\right)$$

и опаѓачки дел даден со

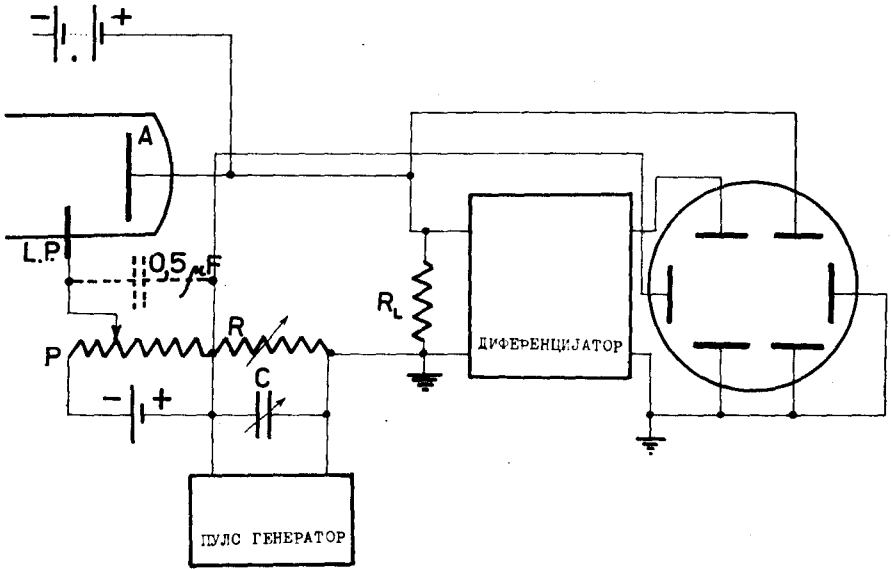
$$V_2 = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Во мерната процедура се ползува само напонот V_2 и за да трагот на флуоресценцијата биде посветол, неговото траење треба да е подолго од траењето на напонот V_1 . Изворот на експоненцијален напон е споен во серија со извор на постојан напон, чија што вредност може да се менува од 0—6 волти. Со промената на напонот на постојаниот извор се врши помак на карактеристиката кон понегативен напон. За определување на температурата на електроните, според изложената теорија (4) се ползува експоненцијалниот дел од карактеристиката, т. е. подрачјето што почнува од потенцијалот на плазмата (V_{pl}). Заради ова напонот на постојаниот извор треба да е понегативен од напонот на плазмата. Во ова подрачје карактеристиката на пробата е дадена со

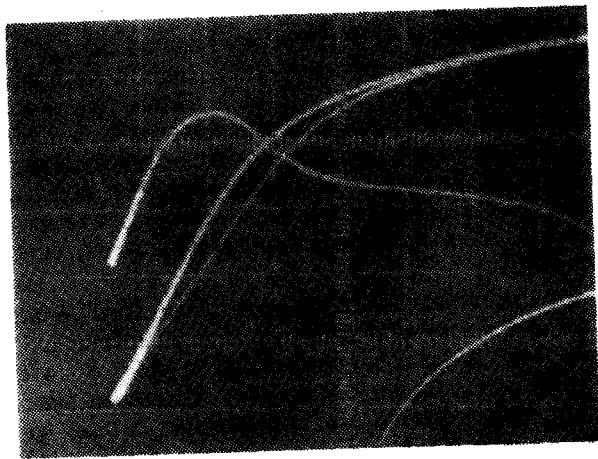
$$I = I_{oe} e^{-\frac{eV}{kT}} + I_{op},$$

каде што е I_{op} — струја на заситување на позитивните јони. Во кругот на извор на експоненцијален напон — прав напон — проба — плазма — анода е вклучен отпорник $R_L = 10$ ома. Падот на напонот од овој отпорник се води на Y_2 — влез на двомлазен осцилограф „Duoscop RFT“. На X -оската од осцилографот се донесува експоненцијалниот напон (V_2). На тој начин со вториот млаз од осцилографот се опишува оригиналната карактеристика на пробата. Напонот од краевите на R_L се донесува исто така на влезот од операционен појачувач, споен како временски диференцијатор.

На излезот од појачувачот, што е споен со Y_1 — влез од осцилографот, се добива временски извод на оригиналната карактеристика, т. е. функцијата (4). Шематски приказ на спојот е даден на сл. 1. Кривата што ја опишува првиот млаз има дефиниран максимум и превојна точка. Од положението на максимумот може да се прочита температурата на електроните во електрон волти. За таа цел X -оската треба да е баждарена во волти. На сл. 2 е даден осцилограм на оригиналната и комбинираната карактеристика на еднострука проба.



Слика 1



Слика 2

Како проблем во овој случај се јавува определувањето на потенцијалот на плазмата. Познавањето на истиот е од важност за да се обезбеди испитувањето на експоненцијалниот дел од карактеристиката. Во случај кога напонот на постојаниот извор е помал од потенцијалот на плазмата, испитуваното подрачје од карактеристиката го зафаќа експоненцијалниот дел и делот со заситување на електронската компонента, па максимумот на комбинираната крива нема да се јави за $V = kT/e$, туку за вредност што е блиска до потенцијалот на плазмата. Ова се јавува поради тоа што dI/dV има максимална вредност за $V = V_{pl}$. Овој случај лесно се приметува на екранот, бидејќи во токов случај и кривата што се опишува при враќање на електронскиот млаз, т. е. со напонот V_2 , ќе има максимум за $V \approx V_{pl}$. За да се избегне непожелното подрачје од карактеристиката, се наголемува правиот напон се додека не се изгуби максимумот на повратната крива. При тоа со сигурност може да се земе дека максимумот на комбинираната крива е даден со (5). Помакнување на карактеристиката на пробата за вредност поголема од потенцијалот на плазмата може да се изведе автоматски со помош на кондензатор што се спојува на местото на изворот за постојан напон. Во нашиот случај беше употребен кондензатор со капацитет $C = 0,5 \mu F$ (Сл. 1, црткано). Кондензаторот се напонува до напон еднаков на висечкиот потенцијал на пробата (V_v), па напонот помеѓу анодата и пробата ќе биде

$$V = V_v + V_2.$$

При тоа електронската на струјата ќе се најдува во експоненцијалниот дел. Вкупната струја во надворешниот круг ќе биде дадена со

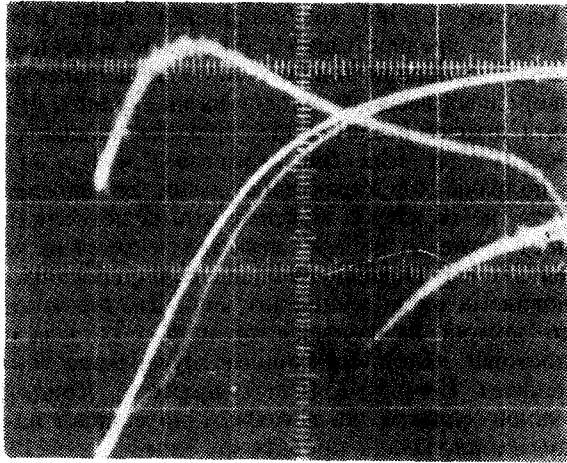
$$I = I_{oe} e^{-eV_v/kT} \cdot e^{-eV_2/kT} + I_{op}. \quad (6)$$

Бидејќи јонската компонента на струјата (I_{op}) во ова подрачје не пречи од напонот, таа со диференцирање ќе отпадне, па нема да пречи при определувањето на температурата [6].

Незгодата на овој начин е во тоа што амплитудата на сигналот се намалува за фактор $e^{-eV_v/kT}$, поради што треба накнадно да се појачува. Осцилограм на комбинирана карактеристика на еднострука проба, добиена со кондензатор е дадена на Сл. 3. Како што се гледа таа е наполно иста со карактеристиката на Сл. 2, со разлика што трагот од електронскиот снап не е остар заради големиот степен на појачување.

Испитувањата беа изведени во цевка исполнета со аргон. Цевката беше со димензии $L=15$ см. и $D=3$ см. Во близина на анодата беше поставена тенка жичка со должина $l=5$ mm. и $\varnothing = 0,3$ mm, што служеше како еднострука проба. Цевката се запалуваше и празнењето

одржуваше со помош на високонапонски исправувач. Вредноста на kT/e определена од осцилограмот се споредуваше со истата добиена од семилогаритамското представување на оригиналната карактеристика. Испитувањата потврдија напдно сложување на резултатите.



Слика 3

Предноста на овој метод над останатите е во тоа што вредноста на kT/e се прочитува моментално, поради што е можно пратење на промената на температурата на плазма. Тоа посебно брзо оди со употреба на кондензатор. Во некој случај како диференцијатор може да се употреби самоиндуктивен калем без јадро, со што методот се поедноставнува уште повеќе.

Со овој метод е можно определување потенцијалот на плазма. За таа цел како напон за снимање на комбинираната карактеристика се употребува линеарна временска база. Во таков случај комбинираната крива ќе биде заправо dI/dP , која што има максимум за $V = V_{vp}$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бонч-Бруевич, А. М. Доклади А. Н. СССР. 82, 371, (1951).
2. Левитский С, М. Пљацок З. А. Приб. Тех. Експ. 2, 150, (1961).
3. М. Šicha, V. Rezačova, М. Tichy. Czechsl. Jour. Phys. В 21, 794 (1971).
4. D. R. Nordlung, O. P. Breaux. Rev. Sc. Inst, 43,248, (1972).
5. Г. Мавродиев, М. Ристов, Год. Збор. (1972).
6. Каган Ј. М. Персел В. И. Раппати П. О. Весник ЛГУ 9.129, (1955).

OSCILLOSCOPIC METHOD FOR DIRECT MEASUREMENT OF THE ELECTRON TEMPERATURE IN PLASMA

M. Ristov

(S u m m a r y)

In the previous work it was given a method for direct measurement of the electron temperature in plasma, which was based on the presentation of the product of single probe characteristic and its argument (1). The combined characteristic possess defined maximum for $V = k T/e$, when the exponential part of the characteristic is taken into combination.

In this work it is given simple electronic method for multiplication of the single probe characteristic by its argument, which enables oscilloscopic presentation of the combined characteristic. The method is based on the use of exponential voltage (2) for snapping of the characteristic. For the probe voltage of this shape the time derivative of the probe current is equal to the probe current multiplied by its argument (4), in the case when the exponential part of the probe characteristic is taken into account. The oscilloscopic presentation of the combined characteristic (4) possess a maximum for $V = k T/e$. From the location of the maximum it is very easy to read out the electron temperature in $e V$.

In order to operate with the exponential part of the probe characteristic, a D. C. bias should be used with the value $V \geq V_{plasma}$. In this work it is given a way of automatic displacement of the characteristic for $V = V_{floating}$, which assures operation with the exponential part. This was achieved by use of a capacitor instead of the source for D. C. bias.

The experiments were carried out by an ordinary gas discharge tube in which a cylindrical probe was immersed. As a source of exponential voltage (2) a pulse generator with RC circuit was used. The time derivative of the probe current was obtained by an operational amplifier. The presentation of the characteristics was performed by double beam oscilloscope. Block diagram of the measuring equipment is given on Fig. 1. The first trace on the screen was the combined, and the second one was the original characteristic. (Fig. 2 and 3)

The results obtained from the maximum of the combined characteristics were compared to those obtained from the semilogarithmic presentation of the original probe characteristics. The agreement was very good.