

Z Zakładu Fizyki Doświadczalnej Wydz. Mat.-Fiz.-Chem. U. M. C. S.

Kierownik: prof. dr St. Ziemecki

Włodzimierz ŻUK

Pomiar strumieni jonów dodatnich lampą elektrometryczną przy zastosowaniu dużego oporu siatkowego

**Измерение силы ионного тока при помощи
электрометрической лампы с большим
сеточным сопротивлением**

**Measurements of the intensity of positive ion beams by an
electrometer tube with high resistance in the grid circuit**

Prądy siatkowe lamp elektrometrycznych wahają się w granicach od 10^{-15} do 10^{-13} ampera. Badana trioda Philipsa 4060 wykazywała prąd siatkowy o natężeniu 10^{-14} A, natomiast tetrody AEG T 113 posiadały prądy siatkowe stale przekraczające 10^{-13} A.

Mierzone w spektrometrii masowej prądy jonowe często mają natężenia poniżej 10^{-15} A (1). Przy pomiarach prądów jonowych stosuje się opory siatkowe od 10^9 do 10^{11} oma (2). W tych warunkach praktycznie biorąc cały prąd jonowy przepływa przez opór siatkowy, który można uważać za wypadkowy opór wejściowy układu pomiarowego. Ponieważ opór ten jest stosunkowo mały, spadek potencjału na nim, a więc i czułość układu pomiarowego nie jest duża. Pomiar przeprowadza się przy potencjale niższym od potencjału siatki swobodnej, na poziomej części charakterystyki prądu siatkowego (3).

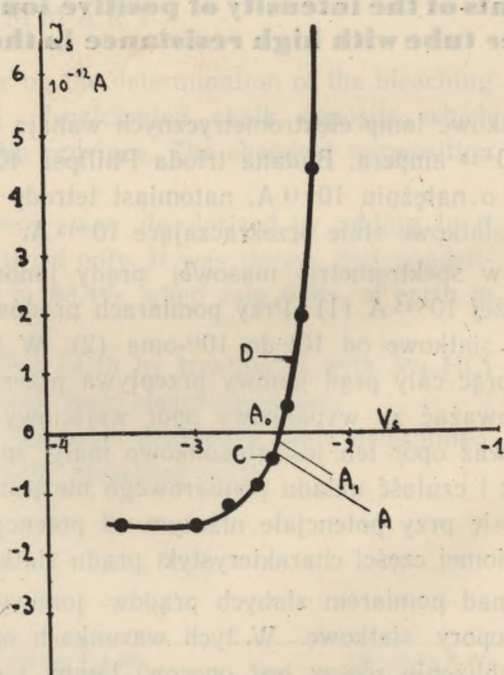
W pracy nad pomiarem słabych prądów jonowych stosowałem bardzo duże opory siatkowe. W tych warunkach opór wypadkowy układu w przybliżeniu równy jest oporowi lampy i osiąga wielkość maksymalną. Lampę można uważać za pracującą z siatką swobodną,

zaś rola oporu siatkowego ogranicza się do ustalenia właściwego punktu pracy lampy. Punkt pracy obierałem na prostoliniowej części charakterystyki prądu siatkowego, poniżej potencjału siatki swobodnej. W miarę wzrastania dodatniego prądu jonowego wzrasta potencjał siatki, a jednocześnie maleje prąd siatkowy. Umożliwia to obok dużej czułości osiągnięcie znacznej dokładności pomiarów.

W pracy rozpatruję teoretycznie możliwości stosowania dużych oporów siatkowych do pomiaru prądów jonowych. Otrzymane wyniki dyskutuję dla lampy elektrometrycznej T 113.

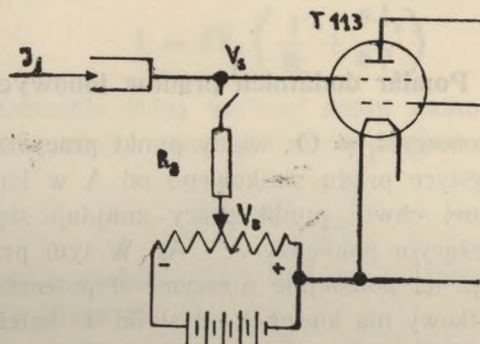
A. Ustalenie punktu pracy lampy na charakterystyce prądu siatkowego

Na rys. 1 podany jest wykres zależności prądu siatkowego I_s lampy elektrometrycznej T 113 od potencjału jej siatki sterującej. Potencjał siatki, dla którego prąd siatkowy zanika nazywa się potencjałem siatki swobodnej V_0 . W naszym przypadku potencjał ten, wynosi około $-2,5$ V.



Rys. 1. Zależność prądu siatkowego od potencjału siatki dla T 113.

Zakładamy pracę na prostoliniowej części charakterystyki CD, tak, aby przypadkowi braku prądu jonowego $I_j = 0$ odpowiadał punkt A, zaś prądom jonowym różnym od zera punkty charakterystyki leżące pomiędzy C i D. W celu ustalenia wyjściowego punktu pracy A, łączymy siatkę lampy przez opór R_s z baterią B tak jak podaje to rys. (2).



Rys. 2. Połączenia dla ustalenia wyjściowego punktu pracy lampy T 113.

Dla punktu A na rys. 1 prąd jonowy zgodnie z założeniem równy jest zeru, natomiast istnieje prąd siatkowy $I_{sA} \neq 0$. Potencjał siatki V_{sA} jest wyższy od potencjału baterii V i wobec tego możemy napisać:

$$(1) \quad V_{sA} - V_b = I_{sA} \cdot R_s$$

W równaniu (1) wielkość napięcia siatkowego V_{sA} obieramy, I_{sA} znajdujemy z charakterystyki prądu siatkowego wykresu (1), R_s jest znany. Po podstawieniu tych danych do równania (1) możemy więc obliczyć potencjał baterii potrzebny dla ustalenia na siatce napięcia V_{sA} .

Łatwo sprawdzić czy lampa pracuje w punkcie A charakterystyki prądu siatkowego jeżeli znamy nachylenie charakterystyki siatkowej S . W tym celu należy wyznaczyć prąd anodowy lampy odpowiadający punktowi A_0 tj. potencjałowi siatki swobodnej. Niech natężenia prądu anodowego odpowiadające kolejno punktom A i A_0 wykresu (1) wynoszą I_{aA} i I_{aO} zaś napięcia siatki V_{sA} oraz V_{sO} . Możemy napisać równanie

$$(2) \quad I_{aO} - I_{aA} = (V_{sO} - V_{sA}) \cdot S,$$

z którego na podstawie zmiany w natężeniu prądu anodowego wnioskujemy o potencjale siatki.

Zależność (1) pozwala przy danym oporze siatkowym R_s tak dobrać potencjał baterii V_b , aby punkt A na charakterystyce prądu siatkowego leżał dowolnie blisko punktu A_0 . Różnica potencjałów siatki i baterii w równaniu (1) nie powinna być zbyt mała, gdyż w przeciwnym przypadku trudno będzie ustalić ją przy pomocy potencjometru. Przez odpowiedni dobór oporu R_s można jej wielkość zmieniać w zakresie kilku wolt.

B. Pomiar dodatnich prądów jonowych

Jeżeli prąd jonowy $I_j \neq 0$, wtedy punkt pracy lampy przesuwa się po charakterystyce prądu siatkowego od A w kierunku A_0 . Załóżmy, że w pewnej chwili punkt pracy znajduje się w punkcie A_1 charakterystyki leżącym pomiędzy A i A_0 . W tym przypadku siatka znajduje się wciąż na potencjale niższym od potencjału siatki swobodnej i prąd siatkowy ma kierunek od siatki do baterii. Jeżeli przez I_{rA_1} oznaczymy prąd płynący przez opór R_s , zaś przez I_{sA_1} prąd siatkowy, będziemy mogli napisać:

$$(3) \quad \begin{aligned} I_{rA_1} &= I_j + I_{sA_1} \\ I_j &= I_{rA_1} - I_{sA_1} \end{aligned}$$

Oznaczając natężenie prądu siatkowego dla punktu A ($I_j = 0$) przez I_{sA} , prąd siatkowy odpowiadający punktowi A_1 wyrazimy wzorem:

$$(4) \quad I_{sA_1} = I_{sA} - dV_s \frac{\partial I_s}{\partial V_s}$$

Natężenie prądu płynącego przez opór w wyniku wzrostu potencjału siatki też ulegnie zmianie.

$$(5) \quad I_{rA_1} = \frac{V_{sA} + dV_s - V_b}{R_s}$$

Po podstawieniu (4) i (5) do wyrażenia (3) na prąd jonowy otrzymamy:

$$I_j = \frac{V_{sA} + dV_s - V_b}{R_s} - I_{sA} + dV_s \frac{\partial I_s}{\partial V_s}$$

lub po uporządkowaniu:

$$(6) \quad I_j = \frac{V_{sA} - V_b}{R_s} - I_{sA} + dV_s \left(\frac{1}{R_s} + \frac{\partial I_s}{\partial V_s} \right)$$

Ponieważ zgodnie z (1) pierwszy wyraz po prawej stronie wyraża I_{sA} , możemy napisać:

$$(7) \quad I_j = dV_s \left(\frac{1}{R_s} + \frac{\partial I_s}{\partial V_s} \right)$$

Przy dostatecznie dużej wartości oporu siatkowego R_s pierwszy wyraz w nawiasie można pominąć i wtedy zamiast (7) mamy:

$$(8) \quad I_j = dV_s \frac{\partial I_s}{\partial V_s}$$

Korzystając z wzorów (2) i (7) można podać metodę pomiaru słabych prądów jonowych.

Znajomość prądu anodowego I_{a0} odpowiadającego potencjałowi siatki swobodnej V_{s0} pozwala przy znanym oporze siatkowym R_s przez zmianę potencjału baterii siatkowej V_b obracać potencjał siatki V_{sA} leżący dowolnie blisko potencjału V_{s0} . Po pojawieniu się prądu jonowego prąd anodowy lampy ulegnie zmianie o dV_s . S co pozwoli określić dV_s , a na podstawie (7) i prąd jonowy.

C. Pomiar słabych prądów jonowych przy pomocy lampy T 113

Na rys. 1 podana jest typowa charakterystyka prądu siatkowego dla T 113. Prąd siatkowy odpowiadający poziomej części charakterystyki jest znaczny i wynosi około $1,6 \cdot 10^{-12}$ A.

Potencjał siatki swobodnej dla T 113, $V_{s0} = -2,44$ V. W pobliżu tego punktu przebieg charakterystyki jest prostoliniowy z nachyleniem

$\frac{\partial I_s}{\partial V_s} = 10^{-11}$ A/V. Obierając jako wyjściowy punkt pracy lampy, punkt na charakterystyce położony o 0,06 V poniżej V_{s0} możemy do pomiaru prądów jonowych wykorzystać znaczną część charakterystyki, odpowiadającą zmianom napięcia na siatce około 100 mV. Przy fluktuacjach napięcia na siatce rzędu 50 μ V, 100 mV jest wystarczająco dużym przedziałem dla wykonania pomiarów. W przedziale tym prądy siatkowe będą stale mniejsze od $5 \cdot 10^{-13}$ A.

Opór siatkowy obieramy znacznie większy od oporu dynamicznego lampy $\frac{\partial V_s}{\partial I_s}$, np. $2 \cdot 10^{13}$ omów. Korzystając z równania (1) łatwo znaleźć wymagane napięcie baterii, w naszym przypadku $V_{sA} - V_b = 5 \cdot 10^{-13} \text{ A} \cdot 2 \cdot 10^{13} = 10 \text{ V}$, przy tym

$$V_{sA} = -2,44 \text{ V} - 0,06 \text{ V}.$$

Natężenie prądów jonowych określa równanie (7), po podstawieniu do którego danych liczbowych, mamy:

$$I_j = dV_s \left(\frac{1}{2 \cdot 10^{13}} + \frac{1}{10^{11}} \right) \div dV_s \frac{1}{10^{11}}$$

Lampa elektrometryczna pracuje więc tak jak lampa z swobodną siatką, zaś opór R_s ma jedynie na celu ustalenie wyjściowego punktu pracy A. Przy właściwym doborze tego punktu prądy siatkowe mogą być utrzymane znacznie poniżej minimalnego prądu siatkowego w wyniku czego wzrasta dokładność pomiarów.

Jeśli fluktuacja napięcia na odporze i siatce lampy są rzędu $50 \mu \text{ V}$, (3) (4) to zgodnie z (8), odpowiadające im fluktuacje prądu siatkowego wynoszą około $5 \cdot 10^{-16} \text{ A}$. Prądy jonowe o natężeniu 100 razy większym, rzędu $5 \cdot 10^{-14} \text{ A}$ można więc w podanych warunkach wyznaczać z dokładnością do kilku procent.

Dokładne pomiary prądów jonowych zgodnie z (8) można przeprowadzać tylko na prostoliniowej części charakterystyki prądu siatkowego. Jak wynika z podanego na rys. (1) wykresu, dla lampy T 113 proporcjonalność ta jest zachowana dla zakresu potencjału siatki około 0,2 V.

Podana metoda pomiaru słabych prądów pozwala na wyznaczenie prądów jonowych o natężeniu ok. 100 razy mniejszym od prądu siatkowego. Może ona mieć zastosowanie w przypadku lamp elektrometrycznych o prostoliniowym i niezbyt stromym przebiegu charakterystyk prądu siatkowego w pobliżu potencjału siatki swobodnej.

Omówiona metoda jest przystosowana do pomiaru dodatnich prądów jonowych. W tym przypadku przyrost potencjału siatki powoduje zmniejszenie się prądu siatkowego i wzrost dokładności pomiaru.

PIŚMIENNICTWO

1. Wallace, Leland T. — Phys. Rev. 77, 634 (1949).
2. Coggeshall N. D. i Jordan E. B. — Rev. Sci. Instr. 14, 125 (1943).
3. Szintlmeijster I. — Elektronnaja lampa kak pribor dla fizycznych izmierienij. G. I. T. T. Ł. Moskwa, 1940.
4. Łopatin B. A. — Łampowyje galwanometry postannogo toka. Gosenergoizdat. 1952.

РЕЗЮМЕ

Темой работы является измерение слабых положительных ионов при помощи электрометрических ламп с неособенно слабым сеточным током. Для измерений автор пользовался лампой T 113 с сеточным током $1,6 \cdot 10^{-12}$ А при помощи которой измерялись токи порядка 10^{-14} А с точностью нескольких процентов. Такой точности измерений сравнительно слабым токам можно было достигнуть, работая на прямолинейной части характеристики сеточного тока, вблизи точки плавающего потенциала.

SUMMARY

The aim of the present investigation has been to measure low intensities of positive ion beams by means of an electrometer tube for large grid currents

The lamp T 113 with $1,6 \cdot 10^{-12}$ A grid current was used and the intensity of streams of positive ions down to 10^{-14} A was determined to within a few percent. This comparatively high accuracy has been obtained owing to the rectilinear part of the grid current characteristics being used in the neighbourhood of the potential of the free grid.

