

EN KƏSİYİ MÜNTƏZƏM DƏYİŞƏN NEON PLAZMASININ DİNAMİK XASSƏLƏRİ

T. X. HÜSEYNOV, E. A. RƏSULOĞ, Ş. A. ALLAHVERDİYEV

Bakı Dövlət Universiteti

Azərbaycan, AZ-1148, Bakı, Z. Xəlilov küç, 23.

htarlan@mail.ru, eldarasul@gmail.com, shams_1954@mail.ru

En kəsiyi müntəzəm dəyişən konus şəkilli boşalma borusunda neon plazmasının dinamik müqaviməti ölçülmüş və məlum olmuşdur ki, anod geniş hissədə olduqda “plato” tipli voltamper xarakteristikalarına oxşar olaraq, aşağı tezliklərdə qodoqraf koordinat başlanğıcından başlanır. Tezlik artdıqca, impedansın aktiv hissəsi kiçilir, tezliyin $5 \cdot 10^3$ Hz qiymətində sıfırdan keçir, sonra müsbət qiymət alaraq, monoton artır. Tezlik artdıqca, impedansın reaktiv toplananı artır, $8 \cdot 10^3$ Hz qiymətində maksimumdan keçir, sonra sıfıra qədər azalır.

Eyni boşalma şəraitində anod dar hissədə olduğu halda, aşağı tezliklərdə qodoqraf koordinat başlanğıcından başlanır. İmpedansın reaktiv və aktiv hissələri bütün tezliklərdə müsbət qiymətlərə malik olurlar. Yüksək tezliklərdə impedansın həm həqiqi, həm də xəyali hissələrinin dəyişmə xarakteri yuxarıdakı hala uyğun gəlir və qaz boşalması plazması düşən statik voltamper xarakteristikasına malik olub, neqatron xassəli olur.

Açar sözlər: qaz boşalması plazması, müsbət sütun, impedans, qodoqraf, həyəcanlaşma, ionlaşma, birbaşa ionlaşma rejimi, pilləli ionlaşma rejimi.

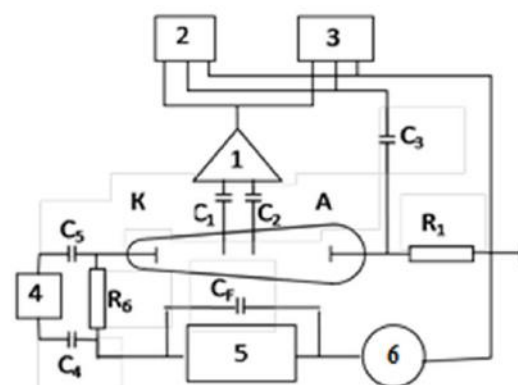
UOT: 537.562

Plazmada rəqsi proseslər fluktuasiyalara, stratların və intensiv lazer şüalarında rəqslərin yaranmasına səbəb olur ki, həmin proseslər də öz növbəsində optik kvant generatorlarının astana gərginliyinə, şüalanma parametrlərinə və digər xassələrə təsir edir.

Ona görə də, silindrik borular əvəzinə diametri müntəzəm dəyişən konusşəkilli boşalma borularından istifadə etdikdə, boşalma cərəyanının və təzyiqin qiyməti dəyişdikcə, qaçan stratların və digər rəqsi proseslərin mövcudluq oblastını məhdudlaşdırmaq mümkün olur. Başqa sözlə desək, konusşəkilli boşalma borularına keçməklə, qaz lazerlərinin stabilliyini təmin etmək olar [1-4]. Odur ki, konusşəkilli boşalma borularında yaranan müxtəlif növ rəqslərin öyrənilməsi böyük maraq kəsb edir. Bu baxımdan impedansın (və ya dinamik müqavimətin) köməyi ilə konusşəkilli elektrik boşalmasının dinamik xassələrinin öyrənilməsi də aktualdır. Plazmanın parametrlərinin funksiyası olan impedansı təyin edərək, boşalmanın məxsusi rəqslərinin xüsusiyyətlərini qabaqcadan proqnozlaşdırmaq və ya həmin rəqslərin aradan qaldırılması yollarını təyin etməyə imkan verir [5, 6].

Təqdim etdiyimiz bu işdə boşalma cərəyanının müxtəlif qiymətlərində konusşəkilli boşalma borusunda neon təsirsiz qazın elektrik boşalmasında dinamik müqaviməti ölçülmüş və boşalma şəraitindən asılı olaraq, dinamik xarakteristikaların fərqli olması aşkarlanmışdır. Həmin fərqləri izah etmək məqsədi ilə konusşəkilli boşalma borusunda alınan plazma kompleks şəklində öyrənilmişdir. Yüklü zərrəciklərin konsentrasiyası, elektronların enerjiyə görə paylanma funksiyası (EPPF), həmçinin spektral xəttlərin udulması əsasında neon atomlarının dörd həyəcanlaşma səviyyəsində atomların məskunlaşması ölçülmüşdür. Təyin edilmiş paylanmalar və ölçülmüş məskunlaşmalar əsasında plazmanın bəzi xarakteristikaları hesablanmış, birbaşa və pilləli ionlaşmaların sayı qiymətləndirilmiş, həmçinin pilləli ionlaşmalara cavabdeh olan metastabil

atomların dağılma mexanizmləri öyrənilmişdir. Məlum olmuşdur ki, elektrik boşalması anod tərəfə daraldığı halda yüklü zərrəciklərin yaranmasının əsas mexanizmi neytral haldan elektron zərbəsi ilə neon atomlarının birbaşa ionlaşması prosesi həlledici rol oynayır. Əks halda, yəni anod boşalma borusunun geniş hissəsində olduqda, yüklü zərrəciklərin yaranmasında I_{S5} metastabil səviyyəsindən pilləli ionlaşma prosesi üstün rol oynayır. Qeyd edək ki, pilləli ionlaşma rejimində boşalma cərəyanı artdıqca, pilləli ionlaşmalara cavabdeh olan metastabil atomların dağılma mexanizmi dəyişir. Müxtəlif rejimlərdə ölçülmüş impedans əyriləri keyfiyyətcə bir-birindən fərqlənir. Silindrik boşalma boruları üçün məlum olan nəticələrdən istifadə etməklə, həmin xarakteristikalara uyğun olan elementar proseslərə əsaslanaraq, bir-birindən fərqlənən xarakteristikalar izah edilmişdir.



Şəkil 1. İki zonddan istifadə etməklə, plazma impedansının ölçmə sxemi, 1 – differensial gücləndirici, 2 – ikişüahlı ossilloqraf, 3 – fazalar fərqini ölçən cihaz, 4 – aşağıtezlikli generator, 5 – sabit cərəyan mənbəyi, 6 – mikroampermetr, C_1 , C_2 , C_3 – kondensatorlar, C_F – şuntlayıcı kondensator, R_1 və R_6 – müqavimətlər, K – катод, A – анод.

Ölçmələr spektral təmiz neon təsirsiz qazında, təzyiqin $p = (6,67 \div 133,32)$ Pa və boşalma cərəyanının $(0,015 \div 0,5)$ A intervallarında aparılmışdır. Konussəkilli boşalma borusunun kiçik diametri 0,02 m, böyük diametri 0,045 m və uzunluğu isə 0,5 m götürülmüşdür. Plazmanın elektrokinetik parametrlərini ölçmək üçün boşalma borusuna radial istiqamətində bir-birindən 0,01 m məsafədə yerləşən iki zond daxil edilmişdir. Həmin zondların köməyi ilə neon plazmasının vahid uzunluğuna düşən dinamik müqavimət ölçülmüşdür. Boşalma borusuna daxil edilmiş elektrodlar yarımşilindr formasında nikeldən hazırlanmışdır. Ölçmə aparmaq üçün elektrik sxemi elə yığılmışdır ki, hər hansı bir elektrodu lazım olduqda ya anod, ya da katod kimi istifadə etmək mümkün olsun.

Şəkil 1-də plazmanın dinamik müqavimətini ölçmək üçün istifadə edilən ölçmə sxemi göstərilir. Boşalma mənbəyi olaraq, C_{ϕ} – tutumu ilə şuntlanmış gərginlik mənbəyindən istifadə edilmişdir. Boşalma dövrəsinə R_6 və R_1 – müqavimətləri ardıcıl daxil edilmişdir. R_6 – ballans müqavimətinin və C_4 , C_5 – kondensatorlarının köməyi ilə boşalma dövrəsinə aşağıtezlikli generatorundan dəyişən siqnal verilir. Modullaşma tezliyi $(20 \div 20 \cdot 10^4)$ Hs intervalında dəyişdirilir. R_1 – kiçik müqaviməti boşalma cərəyanının dəyişən toplananını ölçməyə xidmət edir və onun qiyməti ele

seçilir ki, o, boşalma cərəyanına az təsir etsin. Bizim halda R_6 ballans müqaviməti $(2 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^3)$ Om və $R_1 = 50$ Om təşkil etmişdir. Uzun potensial qiymətində bir-birindən izolə olunmuş iki zonddakı siqnal differensiallayıcı gücləndiricinin girişinə verilməmişdir. Aksial elektrik sahəsinin intensivliyi ilə düzmütənasib olan differensiallayıcı gücləndiricinin çıxışında alınan siqnalların fərqi, eynizamanda, həm ikişüalı ossilloqrafın, həm də fazalar fərqi ölçən cihazların girişinə verilmişdir. Boşalma cərəyanını, gərginliyi və şüalar arasındakı faza sürüşməsinə bilərək, Z – dinamik müqavimət, onun həqiqi $Re Z$ və xəyali $Im Z$ hissələri təyin edilmişdir.

Baxdığımız hər iki halda, impedans induktiv xarakter daşıyır. Aşağı tezliklər oblastında impedans əyriləri neqatron xassəli olur və keyfiyyətcə bir-birindən fərqlənirlər. Tezlik yüksəldikcə, impedansın modulu $|Z|$ artır, elektronların və metastabil atomların tərs yaşama müddətlərinin orta həndəsi qiymətlərində özünün maksimal qiymətinə çatır. Yüksək tezliklər oblastında impedans əyriləri təqribən oxşar şəkildə dəyişir. Tezlik artdıqca, impedansın induktiv toplananı kiçilik və tezliyin $\omega = \infty$ qiymətində, müsbət sütunun sabit cərəyana qarşı xüsusi müqavimətinə bərabər olan həqiqi müsbət qiymətini alır.

- [1] *A.C. Бугаев, А.А. Гончаров, В.И. Гушенец, и др.* Плазменно-оптические системы формирования и транспортировки интенсивного электронного пучка. Известия вузов. Физика, 2016, т. 59(9-3), с. 27-31.
- [2] *I.V. Roudskoy.* General features of highly charged ion generation in laser-produced plasmas. Laser and Particle Beams. 1996, v.14, № 3, p. 369-384.
- [3] *A.C. Мустафаев, А.Ю. Грабовский.* Низковольтный пучковый разряд в легких инертных газах для решения проблем стабилизации напряжения. Теплофизика высоких тем-

ператур. 2017, 55:1, с. 24–30.

- [4] *И.И. Пахомов, А.Ф. Ширанков.* К анализу и синтезу зеркально-линзовых резонаторов. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2007, № 2, с. 95-103.
- [5] *А.Н. Ключарев, В.Г. Мишиаков, Н.А. Тимофеев.* Введение в физику низкотемпературной плазмы. М: СПбГУ, – 2008, – 224 с.
- [6] *Т.Х. Гусейнов, Э. А. Расулов, Р.Ф. Бабаева.* Двойной электрический слой гелиевого разряда в режиме модуляции. Изв. вузов. Физика, Россия, Гомск, 2019, т. 62, № 9, с. 132-138.

Т.Х. Гусейнов, Э.А. Расулов, Ш.А. Аллахвердиев

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕОНОВОЙ ПЛАЗМЫ С РАВНОМЕРНО МЕНЯЮЩИМСЯ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ

Измерено динамическое сопротивление неоновой плазмы в конической разрядной трубке с непрерывно меняющимся поперечным сечением, и установлено, что в случае, когда анод расположен в широкой части, годограф при низких частотах начинается с начала координат, как на вольтамперной характеристике вида «плато». С ростом частоты активная составляющая импеданса уменьшается, проходит через нуль при частоте $5 \cdot 10^3$ Гц, затем приобретает положительные значения и монотонно возрастает. Реактивная составляющая с ростом частоты увеличивается, достигает своего максимального значения при $8 \cdot 10^3$ Гц, затем уменьшается до нуля.

При тех же условиях разряда, в случае, когда анод расположен в узкой части, годограф при низких частотах начинается с начала координат. Реактивная и активная части импеданса при всех частотах имеют положительные значения. При высоких частотах характер изменения как действительной, так и мнимой частей импеданса соответствует описанному выше случаю, плазма газового разряда имеет падающую статическую вольтамперную характеристику и обладает негатронным свойством.

T. KH. QUSEYNOV, E. A. RASULOV, SH. A. ALLAKHVERDIYEV

**DYNAMIC CHARACTERISTICS OF NEON PLASMA WITH CONSTANTLY VARYING
CROSS-SECTION**

The dynamic resistance of neon plasma in a conical discharge tube with a constantly varying cross-section has been measured, and it has been found that in the case when the anode is located in a wide part, the hodograph at low frequencies starts from the origin of coordinates, as in the current-voltage characteristic of the "plateau" type. With increasing frequency, the active component of the impedance decreases, passes through zero at the frequency $5 \cdot 10^3$ Hz, then monotonically increases getting positive values. The reactive component increases with increasing frequency, reaches its maximum value at $8 \cdot 10^3$ Hz, then decreases to zero.

Under the same discharge conditions, while the anode is located in a narrow part, the hodograph at low frequencies starts from the origin. The reactive and active parts of the impedance have positive values at all frequencies. At high frequencies, the nature of the change in both the real and imaginary parts of the impedance corresponds to the above case, and the gas discharge plasma has a falling static current-voltage characteristic and is of negatron property.