

ИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В РАЗРЯДЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Исследованы два типа ионных колебаний в разряде низкого давления с накаленным катодом: 1) колебания в минимуме потенциала вблизи катода и 2) колебания, локализованные в области рассеяния первичных электронов, выходящих из области катодного падения потенциала.

В многочисленных экспериментальных работах по колебаниям в разряде низкого давления в прошлом большое внимание уделялось электронным колебаниям в плазме. Колебания положительных ионов изучены гораздо хуже. Это в значительной степени объясняется трудностью, связанной с выделением их из шума и колебаний иного происхождения, возбуждающихся обычно в газовых разрядах в той же области спектра частот, в котором могут наблюдаться ионно-звуковые волны.

В настоящей статье описаны условия опытов и приведены экспериментальные данные, полученные при изучении колебаний в интервале частот от нескольких сот килогерц до мегагерц. Разряд осуществлялся в гелии, неоне и аргоне. Хотя о наблюдении низкочастотных колебаний плазмы в условиях, подобных описываемым, уже сообщалось [1, 2], изучение их не было проведено.

Использованная конструкция разрядного устройства сходна с применявшейся раньше для колебаний электронов [3]. Стеклянная трубка диаметром 7 см снабжена плоским оксидным или пресованным катодом диаметром 3 мм и параллельным его поверхности плоским анодом диаметром 6 см. Анод перемещался с помощью внешнего магнита, так что он мог быть расположен в любом месте на расстоянии 2 см от катода. Трубка имела также передвижной зонд из проволоки диаметром 0,08 мм и длиной активной части 5 мм. Регулируемый выпуск газа позволял поддерживать в трубке постоянное давление в продолжении каждого измерения. Величина тока в разряде достигала 150 мА. Колебания снимались с зонда или анода и исследовались при помощи анализатора спектра С4-8.

В данных опытах появление ионизационных колебаний типа анодных и стратных было исключено. Анодные колебания возникают при наличии положительного скачка потенциала вблизи анода [4]. В нашем случае при помешении анода на расстоянии 2 см от катода потенциал анода был ниже потенциала плазмы на 1—1,5 в. Подвижные страты (в неоне и аргоне) не могли возникать вследствие малости межэлектродного пространства. В гелии при использованных давлениях и токах страты вообще не возникают, если даже в трубке образуется длинный положительный столб [5].

В таких условиях в разряде наблюдаются два типа колебаний, сгруппированные в относительно узкой полосе вокруг определенных частот, лежащих в диапазоне от сотен килогерц до мегагерц. Один из них имеет место в свободном режиме разряда, когда величина тока меньше термоэлектронного тока насыщения. По мере того как увеличивается ток через трубку, приближаясь к области насыщения, интенсивность колебаний спадает. При приближении анода к катоду колебания продолжают существовать вплоть до межэлектродных расстояний в 0,5—1 мм, что сравнимо с шириной пространства катодного падения для использованных давлений. Данный тип колебаний обусловлен явлениями в катодной области разряда. Можно было предположить, что

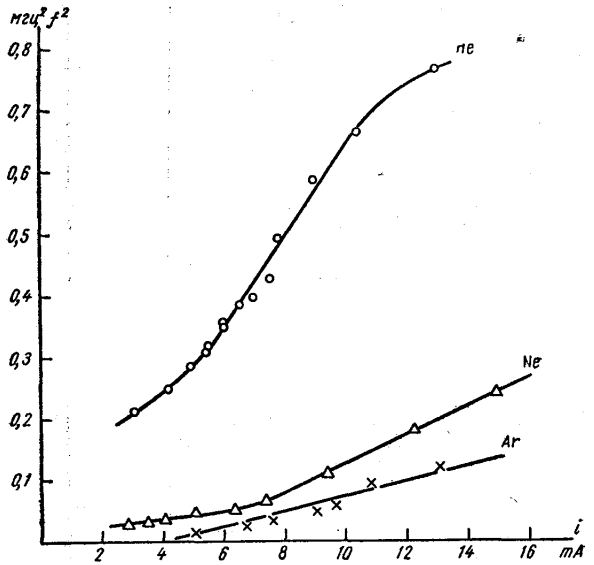


Рис. 1. Зависимость квадрата частоты от разрядного тока для колебаний первого типа. Давление $p = 2,3 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.

они возникают благодаря образованию минимума потенциала перед катодом. Положительные ионы могут захватываться в области этого минимума и совершать колебания [6, 7]. В первом приближении частота такого типа колебаний должна изменяться пропорционально корню квадратному из тока разряда [8]. На рис. 1 показана зависимость квадрата частоты колебаний, на которую приходится максимум их интенсивности, от силы тока. Ход кривых качественно согласуется с данными, полученными в работе [9] для колебаний ионов в минимуме потенциала при других условиях опыта. Заметного влияния давления на частоту не наблюдалось.

Другой тип колебаний обычно наблюдается при сравнительно больших токах. Эти колебания всегда присутствуют, и они бывают наиболее интенсивными, когда разряд имеет «менсковую» форму [10]. Эта форма характеризуется тем, что цилиндрический пучок первичных электронов из катода на расстоянии нескольких милли-

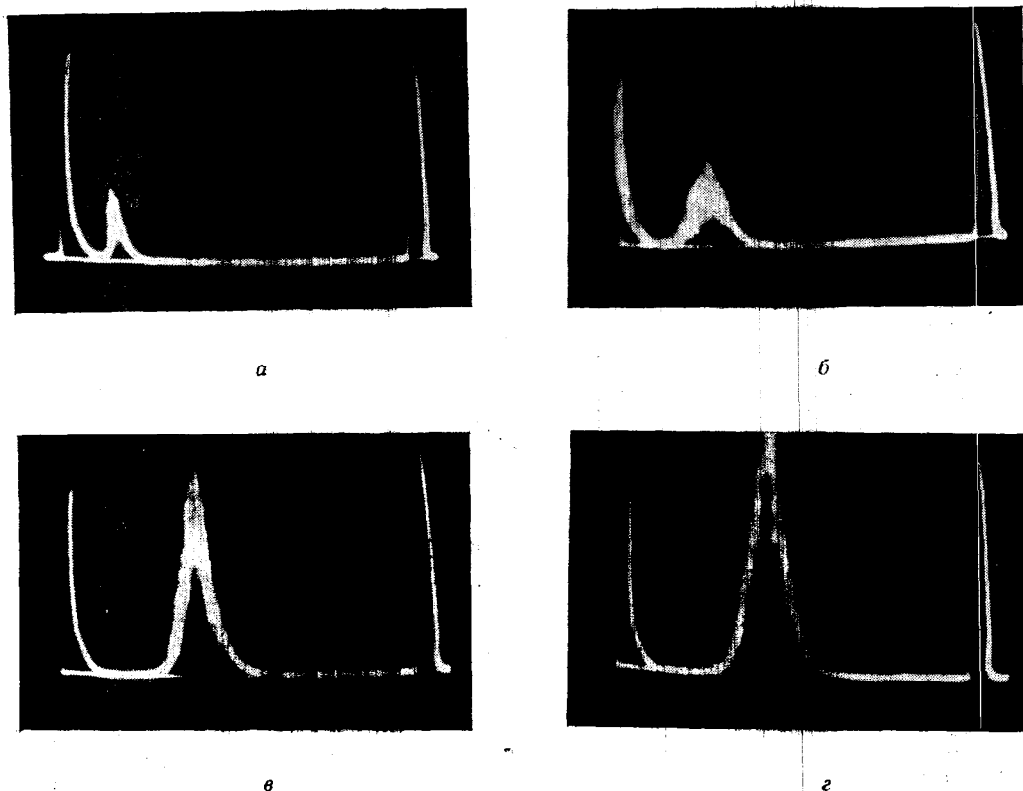


Рис. 2. Спектры колебаний, наблюдавшихся в аргоновом разряде при различных токах. $p=2 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. а — $i=19$ ма, б — 38 ма, в — 77 ма, г — 89 ма

метров (зависит от давления газа) от границы прикатодной оболочки пространственного заряда разделяется на центральный поток — вдоль направления первичного пучка, и на рассеянные под углом «крылья».

При использовании прессованного катода, имеющего распределенные по поверхности в определенном порядке центры эмиссии, наблюдаются некоторые особенности во внешнем виде разряда, хотя характер колебаний при этом таков же, как и в трубке с оксидным катодом. В этом случае первичный поток состоит из отдельных более мелких пучков [11]. Около зоны электронного рассеяния пучки внезапно размываются. Последнее может служить указанием на то, что в области рассеяния в разряде существуют поперечные переменные поля. Если анод приблизить к катоду на такое расстояние, при котором область рассеяния зарядов пропадает и первичные электроны долетают до анода в цилиндрическом потоке, то колебания не возникают. С другой стороны, положение анода при больших расстояниях его от катода в основном не влияет на характер колебаний. Поэтому следует считать, что колебания локализованы в малой зоне рассеяния.

На рис. 2 показаны типичные спектры колебаний разряда в аргоне при различных токах (справа указана метка, соответствующая частоте 2,4 мгц). Из них виден рост интенсивности колебаний с увеличением тока. Найденная зависимость квадрата частоты от тока приведена на рис. 3.

Здесь обнаруживается влияние давления на частоту (см. табл.).

Частота колебаний при различных давлениях. Аргон, $i = 52$ ма

p , мм	4	6,4	17	53
f , мгц	0,45	0,6	0,8	0,85

По своим характеристикам эти колебания могут быть отнесены к ионным колебаниям плазмы. Необходимо отметить, что при тех же условиях в плазме одновременно с ионными наблюдались электронные колебания. Среди них имеются и такие, у которых частота связана с ионной частотой по формуле

$$f_e = f_i \sqrt{\frac{m_i}{m_e}}, \quad (1)$$

где m_e и m_i — соответственно масса электрона и положительного иона. Однако доминирующими во всех случаях были колебания, соответствующие примерно в два раза большей частоте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kojima S., Kato K., Hagiwara S., J. Phys. Soc. of Japan, 12, 1276, 1957.
2. Garscadden A. J. Electr. and Control, 14, 303, 1963.
3. Савченко И. А., Зайцев А. А. «Вестн. Моск. ун-та», № 2, 19, 1961.
4. Зайцев А. А., Эфендиев К. «Изв. АН СССР», 23, 1012, 1959.
5. Зайцев А. А., Васильева М. Я. ДАН СССР, 127, 63, 1959.
6. Kingdon K. Phys. Rev., 33, 1075, 1929.
7. Emeleus K., Daly W. Proc. Phys. Soc., 69B, 114, 1956.
8. Ballantine N. Physics, 4, 294, 1933.
9. Габович М. Д., Кириченко Г. С. ЖТФ, 32, 1376, 1962.
10. Allen T. Proc. Phys. Soc., 68A, 696, 1956.
11. Зайцев А. А., Леонов Г. С., Савченко И. А. ЖЭТФ, 36, 1332, 1959.

Поступила в редакцию
9. 9 1964 г.

Кафедра
электроники

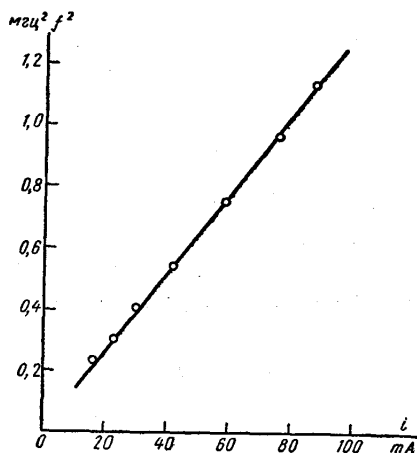


Рис. 3. Зависимость квадрата частоты от разрядного тока для колебаний второго типа в аргонном разряде. Давление $p = 1,3 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.

А. А. БРАНДТ, А. В. ТЯГУНОВ

УДК 621.374.4 : 533.99

УМНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ НА ПЛАЗМЕ В НЕОДНОРОДНОМ ПОЛЕ СВЧ

Плазменные умножители частоты, работающие на нелинейных свойствах плазмы, обеспечивают весьма низкую эффективность преобразования, значительно уступающую эффективности работы умножителей с обычными нелинейными элементами. Это, по-видимому, связано с тем, что плазма представляет собой слабо нелинейную среду по крайней мере для напряженностей электрических полей, использованных в соответствующую