

## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

А. А. БРАНДТ, В. Н. КАМИНСКИЙ, А. В. ТЯГУНОВ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО УМНОЖИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

За последнее десятилетие значительно возрос интерес к исследованиям применения газоразрядной плазмы в качестве нелинейного элемента для умножителей частоты [1—10]. Подобный элемент, будучи весьма прост в изготовлении, способен работать в широком диапазоне волн вплоть до миллиметровых, а устойчивость его к большим уровням входного сигнала позволяет надеяться и на получение значительной мощности гармоник на выходе. Последнее нашло свое подтверждение в работах [1, 7]. Однако до настоящего времени еще полностью не ясны нелинейные механизмы, ведущие к эффективному умножению частоты, что связано с чрезвычайной сложностью процессов, происходящих в плазме. По-видимому, таких механизмов несколько. Один из них — модуляция плотности электронов за период высокочастотного поля — сравнительно недавно был предложен и экспериментально осуществлен в работе [10]. В ней авторы, предполагая, что ионизирующая способность электронов линейно зависит от их скорости и что потеря электронов из разряда происходит за счет диффузии, построили теорию этого механизма нелинейности и получили хорошее совпадение теоретических результатов с экспериментальными в диапазоне СВЧ.

Очевидно, подобный механизм будет особенно эффективным в области низких частот, когда время деионизации плазмы много меньше периода колебания возбуждающего разряд электрического поля или хотя бы сравнимо с ним. В настоящей работе экспериментально исследуется эффективность умножения именно в этом диапазоне частот.

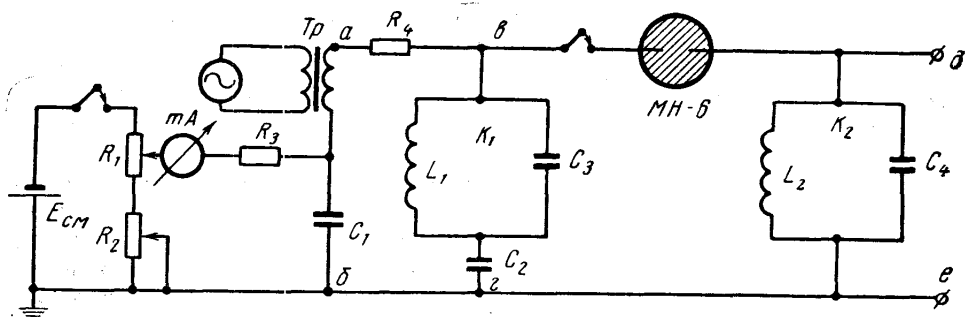


Рис. 1

Электрическая схема умножителя приведена на рис. 1. В качестве нелинейного газоразрядного элемента использовалась неоновая лампочка типа МН-6. Контуры  $K_1$  и  $K_2$  настраивались на частоты  $\omega$  и  $n\omega$  соответственно ( $n$  — номер гармоники). Вместо контура  $K_2$  можно было подключать анализатор спектра типа С4-8.

Эффективность преобразования определялась по формуле

$$K = \frac{P_{n\omega}}{P_{\omega}} = \frac{m_{\omega}RC}{Q} \cdot \frac{u_1 u_{n\omega}^2}{u_0 u_2 (u_1 - u_2)}$$

где  $P_{\omega}$  и  $P_{n\omega}$  — мощность, рассеиваемая разрядом на основной частоте и  $n$ -й гармоники на выходе умножителя соответственно,  $R$  — сопротивление в цепи питания разря-

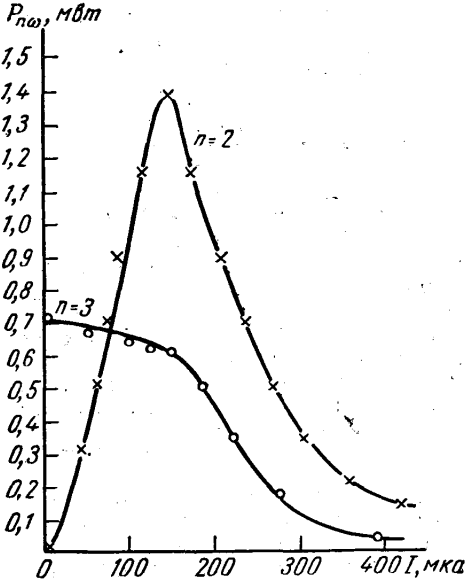


Рис. 2

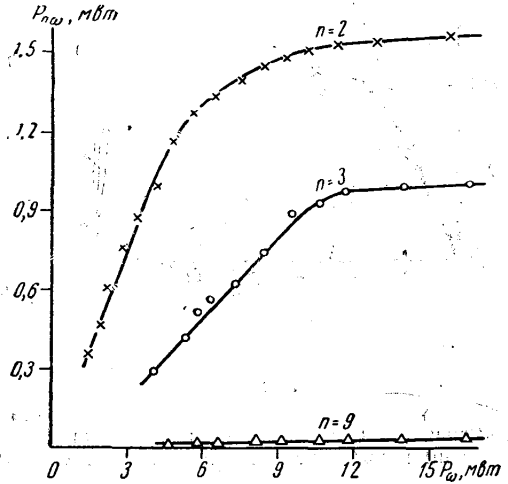


Рис. 3

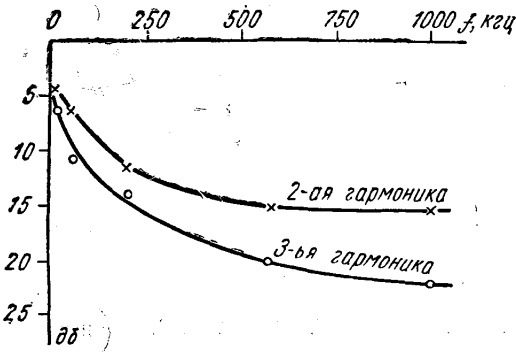


Рис. 4

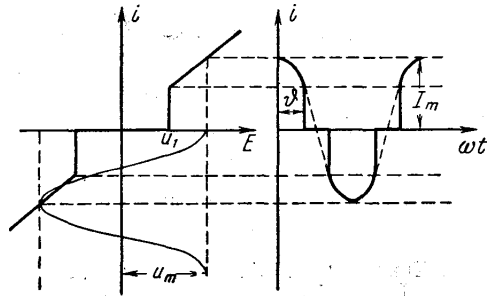


Рис. 5

да,  $Q$  — добротность,  $C$  — емкость контура,  $u_0$  — напряжение генератора основной частоты,  $u_1$  и  $u_2$  — амплитуды напряжений на электродах лампочки в отсутствие разряда и при его горении. Напряжение  $u_0$  при этом поддерживалось неизменным, а поджигание лампочки осуществлялось путем подачи на ее электроды постоянного напряжения.

Эффективность умножения  $K$  зависит от величины постоянного тока смещения, задаваемого в цепь разряда от источника постоянного напряжения (рис. 2). Поэтому в дальнейшем под эффективностью умножения будет подразумеваться эффективность при оптимальном для данной гармоники постоянном смещении.

Характер зависимости мощности 2, 3 и 9-й гармоник от мощности основного сигнала представлен на рис. 3.

Уменьшение эффективности преобразования с ростом номера гармоники определялось на анализаторе спектра и составляло примерно 4 дБ на гармонику.

Из рис. 4 видно, что с повышением основной частоты эффективность умножения сначала быстро падает, а затем стремится к некоторому постоянному значению, величина которого, возможно, определяется каким-то другим механизмом нелинейности разряда.

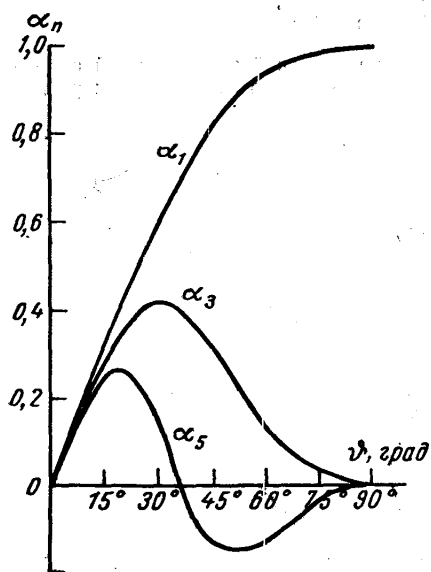


Рис. 6

Все экспериментальные результаты трудно получить и теоретически. На рис. 5 представлены идеализированная вольтамперная характеристика газоразрядного элемента и искаженный ток в его цепи. Разлагая последний в ряд Фурье, получим для амплитуды тока  $n$ -й гармоники

$$J_{mn} = \alpha_n(\phi) J_m,$$

где

$$\alpha_n(\phi) = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{\sin(n+1)\phi}{n+1} + \frac{\sin(n-1)\phi}{n-1} \right] [1 + (-1)^{n+1}].$$

Зависимость  $\alpha_n$  от  $\phi$  приведена на рис. 6. Реальная вольтамперная характеристика лампочки МН-6 на различных частотах, снятая экспериментально, представлена на рис. 7, из которого видно, что с повышением частоты происходит линейризация характеристики и, следовательно, падение эффективности умножения.

В заключение необходимо отметить, что все результаты были получены со стандартной лампочкой, наполненной неонем, процесс деионизации плазмы в котором затруднен. При использовании лампочки с другим заполнением, например водородом, получим повышение частотного порога эффективного преобразования в несколько раз.

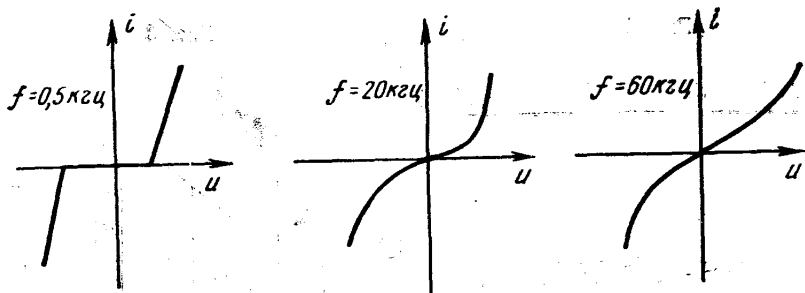


Рис. 7

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Hanley T. E., Rubbig A. J. Naval Res. Lab., D. C. Wash. NRL Progress Rept., 1953.
2. Yonohara M. Proc. IRE, 45, 1419—1420, 1957.
3. Inada K., Yonohara M., Masutani T. Proc. of the 4th Internatl. Conf. on Ionization. Phenomena in Gases, 2, 768—773, 1960.
4. Bierrum N. R., Walsh D. J. of Electronics and Control, 8, 81—90, 1960.
5. Froome K. D. Nature, 186, 959, 1960.
6. Froome K. D. Nature, 188, 43, 1960.
7. Swan C. B. Proc. IRE, 49, 12, 1961.
8. Bierrum N. R., Walsh D. Nature, 186, 626, 1960.
9. Rosen P. Phys. Fluids, 4, No. 3, 1961.
10. Baird J. R., Coleman P. D. Proc. IRE, 49, 12, 1961.

Поступила в редакцию  
1. 4 1964 г.

Кафедра  
физики колебаний