

ПОЛУЧЕНИЕ МЕГАГАУССНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ
СЖАТИЕМ ГАЗОВЫХ ЛАЙНЕРОВА.В. Лучинский, Н.А. Ратахин, С.А. Сорокин,
С.А. Чайковский

Одним из методов получения мегагауссных магнитных полей является сжатие начального аксиального магнитного поля плазменным цилиндрическим лайнером [1]. Начальное аксиальное магнитное поле B_0 предварительно создается между электродами сильного генератора. Затем лайнер сжимается под действием магнитного поля аксиального тока $I(t)$. При условии сохранения магнитного потока внутри лайнера соотношение между магнитным полем внутри лайнера B и радиусом лайнера r имеет вид:

$$Br^2 = B_0 r_0^2,$$

где r_0 и B_0 — начальные значения радиуса лайнера и магнитного поля внутри него.

Эксперименты по получению мегагауссных магнитных полей указанным методом проведены на установке СНОП-3. Установка СНОП-3 имеет следующие основные электрические параметры: энергия, запасенная в накопительной емкости импульсного трансформатора до 180 кДж, волновое сопротивление водяной передающей линии $\rho \approx 0.6$ Ом, индуктивность разделительного (вода-вакуум) секционированного изолятора и вакуумной магнитноизолированной линии ~ 30 нГ, амплитуда тока I через лайнер до 1.5 МА, время нарастания тока $\tau \approx 80$ нс.

Начальное магнитное поле B_0 (0–35 кГс) создавалось с помощью катушек Гельмгольца, которые запитывались от конденсаторной банки ($C = 200$ мкФ, $U = (0-5)$ кВ) и содержали по 9 витков эмалированного провода $\varnothing 1.8$ мм каждая. Средний диаметр витка был ~ 56 мм. Время нарастания магнитного поля до максимума составляло ~ 45 мкс.

Газовый цилиндрический лайнер создавался с помощью сопла Лавалья (число Маха $M = 4$) кольцевого сечения, которое одновременно служило катодом. Газ на вход сопла Лавалья подавался с помощью быстродействующего электромагнитного клапана [2]. Средний радиус газового лайнера у катода r_0 и длина лайнера l составляли соответственно 1 и 1.8 см. Анодом служила сетка из нержавеющей стали, которая крепилась к обратному токопроводу из двенадцати стальных стержней диаметром 0.4 см. Радиус обратного токопровода был 2 см.

В качестве рабочего газа применялись аргон и азот. Газовый лайнер предыонизовался за ~ 2 мкс до прихода токового импульса ультрафиолетовым излучением от многозарядного разрядника (скользящий разряд по поверхности полиэтилена).

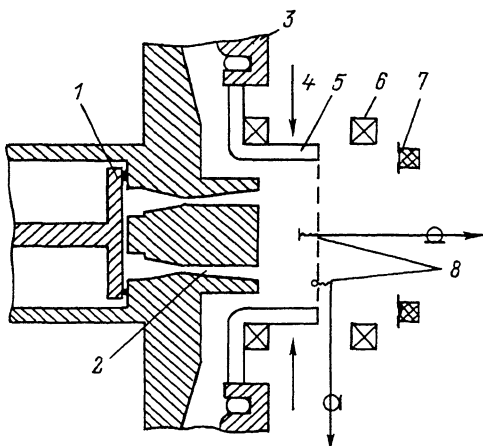


Рис. 1. Схема блока нагрузки.

1 - электромагнитный клапан, 2 - сопло Лавалья, 3 - пояс Роговского, 4 - диагностические окна, 5 - обратный токопровод, 6 - катушки Гельмгольца, 7 - многогазовый разрядник, 8 - магнитные датчики.

Для диагностики применялись магнитные датчики, пояса Роговского, вакуумный рентгеновский диод (ВРД), камера-обскура, болометр и ЭОП „Агат“ с временной разверткой изображения плазмы в оптическом диапазоне спектра.

Для измерения сжимаемого аксиального магнитного поля применялся одновитковый магнитный датчик диаметром 200 мкм, помещенный в стеклянную трубку диаметром 1.5–3 мм. Датчик вводился по оси лайнера со стороны сеточного анода и располагался на расстоянии 6–8 мм от анода.

На рис. 2 показаны ток через лайнер и сигнал с магнитного датчика в стеклянной трубке диаметром 1.5 мм для выстрела с начальным полем $B_0 = 18$ кГс. Интегрирование по времени сигнала с магнитного датчика дает амплитуду магнитного поля 2.5 МГс, что соответствует 150-кратному сжатию магнитного поля и, при пренебрежении диффузией магнитного поля через стенки лайнера, 12-кратному сжатию лайнера. Кратность сжатия лайнера ограничивалась, скорее всего, наружным диаметром стеклянной трубки, т.к. „точка поворота“ лайнера массой $m = 35$ мкг/см сжимаемым магнитным полем, согласно нульмерным расчетам, составляет $r_n = 0.35$ мм.

В нульмерном расчете численно интегрировалось уравнение движения бесконечно тонкого лайнера с массой m на единицу длины, начальным радиусом r_0 и начальным аксиальным магнитным полем B_0 под действием давлений собственного магнитного поля ($B_{\text{л}}$) и сжимаемого магнитного поля ($B_{\text{в}}$)

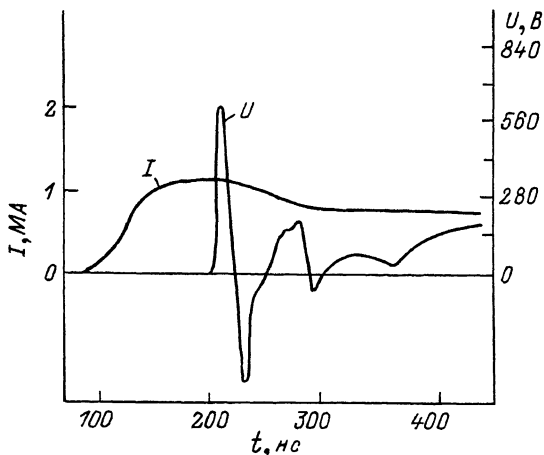
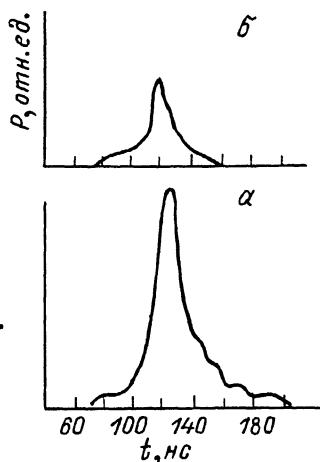


Рис. 2. Осциллограммы тока через лайнер и сигнала с магнитного датчика для выстрела с начальным магнитным полем $B_0 = 18$ кГс.

Рис. 3. Сигналы с ВРД для выстрелов: а - без начального магнитного поля, б - с начальным магнитным полем $B_0 = 20$ кГс.



$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{1}{c^2} \frac{I^2(t)}{r} + \frac{B_0^2}{4} r \left(\frac{r_0^4}{r^4} - 1 \right).$$

Здесь r и $I(t)$ - текущий радиус лайнера и ток через лайнер, который брался из характерных рабочих осциллограмм.

Как и в работе [3], даже относительно слабое начальное магнитное поле значительно повышало устойчивость сжатия лайнера. При начальном магнитном поле $B_0 = 5$ кГс наблюдалось (на эпограмме и сигнале с магнитного датчика) три последовательных сжатия лайнера. Об улучшении устойчивости сжатия лайнера с начальным магнитным полем говорит также сравнение интегральных обскурোগрамм и сигналов с ВРД (с фильтром из лавсановой пленки толщиной 3 мкм) для выстрелов без магнитного поля и с магнитным полем $B_0 = 20$ кГс.

Излучающий в рентгеновском диапазоне спектра плазменный пинч в случае с начальным магнитным полем становится однороднее, а сигнал с ВРД короче во времени и меньше по амплитуде (рис. 3). Уменьшение энергии излучения в полном спектре в выстреле с магнитным полем $B_0 = 20$ кГс наблюдалось также с помощью открытого болометра (~ 400 Дж против ~ 650 без начального магнитного поля) и связано с торможением лайнера сжимаемым магнитным полем в финальной стадии сжатия.

- [1] F e l b e r F.S., L i b e r m a n M.A. and V e l i k o v i c h A.L. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 46. N 11. P. 1042-1044.
- [2] Ф и ш е р, М а к о, Ш и л о // Приборы для научных исследований. 1978. № 6. С. 206-207.
- [3] W e s s e l F.J., F e l b e r F.S., W i l d N.C. et al. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 48. N 17. P. 1119-1121.

Институт сильноточной
электроники СО АН СССР,
Томск

Поступило в Редакцию
9 ноября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 18

26 сентября 1989 г.

КВАЗИРЕЗОНАНСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СО СТРАННЫМ АТТРАКТОРОМ

В.В. А ф а н а с ь е в, Ю.Е. П о л ь с к и й

Особенностью открытых нелинейных динамических систем (ДС) является возможность протекания в них качественно отличающихся процессов – образование устойчивых структур, возникновение колебательных и хаотических режимов [1-5]. ДС различной физической природы описываются аналогичными системами нелинейных дифференциальных уравнений, что указывает на присущую им общность протекающих в них процессов. Так, динамика процессов генерации в квантовом генераторе [2, 3], гидродинамические процессы возникновения турбулентности в слое жидкости [4, 5] и процессы в автоколебательных системах с инерционным возбуждением [6, 7] описываются одной и той же системой уравнений Лоренца:

$$\begin{cases} \dot{X} = -\sigma(X - Y) \\ \dot{Y} = rX - Y - XZ \\ \dot{Z} = XY - bZ \end{cases}, \quad (1)$$

где σ, r, b – параметры системы, инвариантной относительно преобразований $X \rightarrow -X, Y \rightarrow -Y, Z \rightarrow Z$.

Анализ решений (1), проведенный с использованием численных методов, показывает [3-5], что при $r > 1$ в системе имеются два аттрактора: $A_{1,2} = (\pm X_0, \pm Y_0, Z_0)$, где $X_0 = Y_0 = \sqrt{b(r-1)}$, $Z_0 = r-1$

С увеличением r стационарный режим генерации сменяется хаотическим с последующим возникновением странного аттрактора (СА). Возникновение СА сопровождается квазипериодическим движением в трехмерном фазовом пространстве по раскручивающейся