УДК 533.95

DOI: 10.17223/00213411/62/11/14

С.В. ЛОГИНОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ УСТАНОВЛЕНИЕ СКЕЙЛИНГА НАПРЯЖЕНИЯ ПЛАЗМЕННОГО ПРЕРЫВАТЕЛЯ ТОКА

Приведено теоретическое обобщение скейлинга развиваемого на прерывателе напряжения в зависимости от тока проводимости прерывателя. Дана экспериментальная верификация скейлинга на мегаамперной установке ГИТ-4. Показано, что зависимость напряжения на прерывателе от тока проводимости имеет немонотонный характер: участок нарастания напряжения при токе проводимости прерывателя менее ~ 1 МА сменяется снижением напряжения при дальнейшем увеличении тока более ~ 1 МА. Это обусловлено изменением режима работы прерывателя с эрозионного рассасывания плазмы на режим сгребания плазмы давлением нарастающего магнитного поля. В результате мощность развиваемого на прерывателе импульса ограничивается уровнем достигаемого напряжения при токе ~ 1 МА. Обнаруженный скейлинг напряжения подтверждается также аппроксимацией экспериментальных данных мегаамперных установок HAWK и модуля DECADE.

Ключевые слова: мегаамперный импульсный генератор, плазменный прерыватель тока, скейлинги тока и напряжения.

Введение

Для создания тераваттных радиационных источников на исходе XX века интенсивно верифицировалась технология получения мощных импульсов тока в излучающей нагрузке в схеме с промежуточным индуктивным накопителем и плазменным прерывателем. Привлекательность применения прерывателя обусловлена его чрезвычайной простотой в техническом отношении. Он представляет собой отрезок вакуумного коаксиала, заполненный предварительно инжектированной полностью ионизованной плазмой. В стадии проводимости плазменная перемычка позволяет зарядить индуктивный накопитель до некоторого тока, при котором сопротивление прерывателя резко нарастает, обеспечивая генерацию импульса высокого напряжения. Вместе с тем из сравнительного анализа экспериментов с нано- и микросекундным временем проводимости прерывателя следует, что увеличение энергии первичного накопителя с соответствующим увеличением времени проводимости прерывателя приводит к снижению развиваемой прерывателем мощности импульса. Эта негативная тенденция детерминирована изменением механизма транспорта магнитного поля через плазму прерывателя, в результате которого меняется функциональная зависимость возникающего на прерывателе напряжения от величины обрываемого тока.

Теоретический анализ происходящих в плазме прерывателе процессов выявил немонотонную зависимость развиваемого на прерывателе напряжения U_s от плотности плазмы n и/или тока проводимости I_c [1]. Это иллюстрируется рис. 1, дающим обобщение скейлинга $U_s(I_c)$. В прерывателе с низкой концентрацией плазмы ток проводимости $I_c = (m_i / Zm)^{1/2} 2\pi r_c l Z e n_i v_d \propto n$, где m_i и m – масса иона и электрона; Z и e – заряд иона и электрона; $n_i = n / Z$ – плотность ионов в однородной перемычке протяженностью l ; v_d – скорость дрейфа ионов на катод с радиусом r_c . В области выполнения скейлинга возникающее на прерывателе напряжение линейно зависит от достигаемого к моменту обрыва тока проводимости. При повышении плотности плазмы ток проводимости $I_c = (12\pi n_i m_i c^2)^{1/4} (\dot{I}_c l)^{1/2} \propto n^{1/4}$, где $\dot{I}$ – скорость нарастания тока в прерывателе, c – скорость света. В этом случае пик напряжения на прерывателе обратно пропорционален величине тока проводимости I_c .

Рис. 1. Обобщение скейлинга напряжения

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>