

мұнда R_d – қалыпты температурадағы элементтің есептік кедергісі, EN 1992 – EN 1996 и EN 1999 сәйкес анықталған ;

$\eta_{fi,r}$ – өрт кезіндегі жүктеме деңгейін есептеу коэффициенті.

Әдебиет:

1. Кропачев П.А. Контроль качества, обследования и испытания в строительстве: Учебное пособие, Караганда: Изд – во КарГТУ, 2016.
2. Кропачев П.А., Мухаметжанова А.Т., тунгышбаева С.Ж. Ғимараттар мен үймереттердің беріктігі, қауіпсіздігі және бақылауы: техникалық қадағалау: Учебное пособие, Караганда: Изд – во КарГТУ, 2016.
3. Кропачев П.А., Мухаметжанова А.Т. Ғимараттар мен үймереттердің беріктігі, қауіпсіздігі және бақылауы: апаттардың себептерін анықтау: Учебное пособие, Караганда: Изд – во КарГТУ, 2016.
4. Кропачев П.А., Мухаметжанова А.Т. Ғимараттар мен үймереттердің беріктігі, қауіпсіздігі және бақылауы: физикалық тозуын бағалау: Учебное пособие, Караганда: Изд – во КарГТУ, 2016.
5. Технический регламент «Общие требования к пожарной безопасности» Постановление Правительства Республики Казахстан от 16.01.2009 года № 14 «О пожарной безопасности».
6. Технический регламент «Требования к безопасности зданий и сооружений, строительных материалов и изделий», утвержденный Постановлением Правительства Республики Казахстан от 17 ноября 2010 года № 1202.
7. Технический регламент «Требования по оборудованию зданий, помещений и сооружений системами автоматического пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре», утвержденный Постановлением Правительства Республики Казахстан от 29.08.2008 года №7 96.
8. СН РК 1.04 – 09 – 2012 «Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений».
9. РДС РК 2.01 – 05 – 2012 «Положение о расследовании причин аварий зданий, сооружений, их частей и конструктивных элементов».
10. СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 «Основы проектирования несущих конструкций».
11. СН РК EN 1991 – 1 – 7:2006/2011 «Воздействие на несущие конструкции. Часть 1 – 7. Общие воздействия – «аварийные воздействия».

УДК 533.9: 537.5

**АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПЛАЗМЕННОГО ФОКУСА В КИЛОДЖОУЛЕВОМ ДИАПАЗОНЕ**

Усеинов Б.М.

(к.ф. – м.н., доцент, кафедра физики, СКГУ им. М. Козыбаева, г. Петропавловск)

Бекжанова Р.Ж.

(магистрант, кафедра физики, СКГУ им. М. Козыбаева, г. Петропавловск,

email: zhussupova01@gmail.com)

Аңдатпа

Осы жұмыста зерттелген негізгі электрлік параметрлері плазмалық фокус. ВАС плазмалық фокус және графика тербелістер өзгерістер ток күшін LC контуры кестелері келтірілген. Плазмалық фокус назарындағы өрістердің қысқаша сипаттамасы ерекшеліктері берілген.

Жұмыс бүгінгі күні өзекті болып табылады және сұранысқа ие.

Түйінді сөздер: реактор, килоджоуль диапазоны, плазмалық фокус, ток күші, кернеу, индуктивтілік, LC – контур.

Аннотация

В данной работе исследованы основные электрические параметры плазменного фокуса. Приведены графики ВАХ плазменного фокуса и графики колебания изменения силы тока в LC контуре. Дана краткая характеристика особенностям полей возникаемых в плазменном фокусе. Работа на сегодняшний день является актуальной и востребованной.

Ключевые слова: реактор, килоджоулевый диапазон, плазменный фокус, сила тока, напряжение, индуктивность, LC контур.

Annotation

In this paper the basic electrical parameters of plasma focus are investigated. The graphs of CVC plasma focus and graphs of fluctuations in the current in the LC circuit. Gives a brief description of the features of the field arising in the plasma focus. Work today is actual and demanded.

Key words: reactor, kilojoule range, plasma focus, current, voltage, inductance, LC circuit.

Введение

Экспериментальный управляемый термоядерный реактор, исследуемый в данной статье относится к килоджоулевым установкам. Сократим влияние постоянной индуктивности контура на величину разрядного тока, поместив батарею конденсаторов в вакуумную камеру без разрядника и токопроводящих проводов, как показано на Рисунке 1.

Предлагается 2 способа запуска установки по данной схеме: вначале в вакуумную камеру напускается газ до определённого давления и затем постепенно подаётся напряжение. При определённом соотношении напряжении и давления газа в камере в соответствии с кривыми Пашена произойдёт разряд и образуется плазма; при втором способе сначала подаётся напряжение на конденсаторную батарею и затем давление постепенно уменьшается до определённого значения и произойдёт пробой с образованием токовой плазменной оболочки [1].



Рисунок 1 Эквивалентная схема установки ПФ без разрядника и токопроводящих проводов

пренебрегая индуктивностью рабочей камеры и плазменного столба, индуктивность разряда килоджоулевых установок ПФ определяется индуктивностью батареи и подводящих проводов. Для нахождения амплитуды тока для такого LC-контура, запишем закон сохранения энергии для данной цепи:

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} + \frac{CU_0^2}{2},$$

где $\frac{CU_m^2}{2}$ – полная энергия, запасённая в батарее конденсаторов, $\frac{LI_m^2}{2}$ – энергия магнитного поля, $\frac{CU_0^2}{2}$ – оставшаяся энергия конденсаторной батареи вследствие его неполной разрядки. Если учесть, что вся конденсаторная батарея разрядилась, то есть $\frac{CU_0^2}{2} = 0$, то получим:

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}, \quad (1)$$

Из уравнения (1), выразим максимальный разрядный ток:

$$I_m = \sqrt{\frac{CU_m^2}{L}} = U_m \sqrt{\frac{C}{L}}. \quad (2)$$

С учётом того, что все конденсаторы одинаковы имеем

$$I_m = \sqrt{\frac{CU_m^2}{L}} = U_m \sqrt{\frac{nC_1}{L}}, \quad (3)$$

где C – это ёмкость конденсаторной батареи, C_1 – это ёмкость одного конденсатора, n – число конденсаторов, L – индуктивность конденсаторной батареи, проводящих проводов и проводов и плазмы. Таким образом, индуктивность всей системы складывается из постоянной индуктивности и динамической составляющей $L = L_p + L_D$. Теоретическая оценка индуктивности в нашей модели дало значение индуктивности 10^{-7} Гн.

Расчёты приведённые по формуле (2) для различного числа конденсаторов приведены на Рисунке 2.

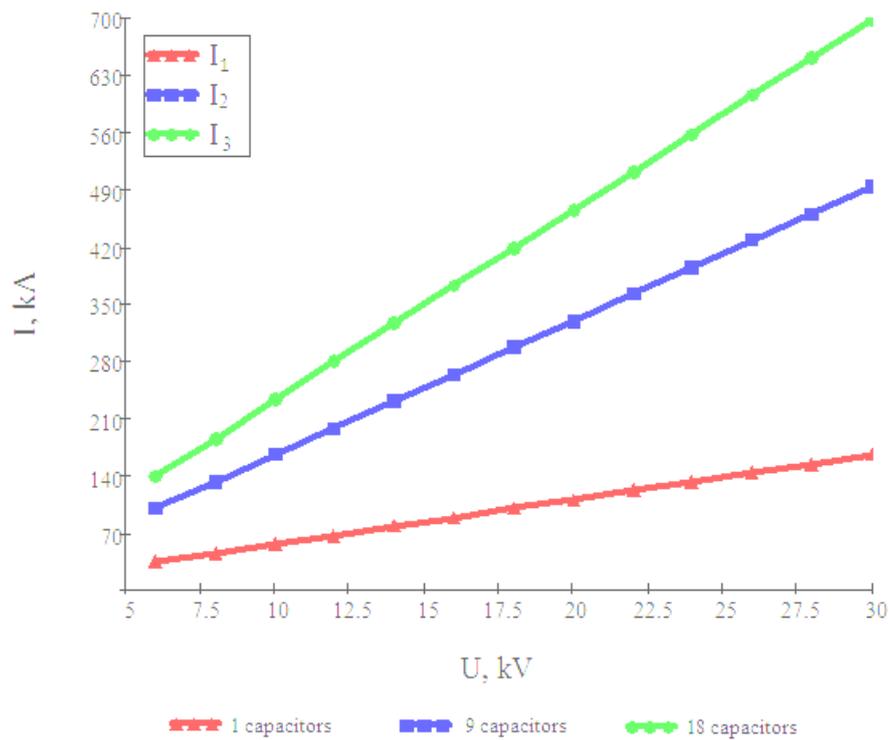


Рисунок 2 График зависимости силы тока от напряжения

Из Рисунка 2 следует 2 вывода:

- с увеличением напряжения ток растёт почти линейно;
- чем больше ёмкость, тем больше сила тока.

Результаты реального эксперимента по исследованию зависимости силы тока от напряжения представлены на Рисунке 3.

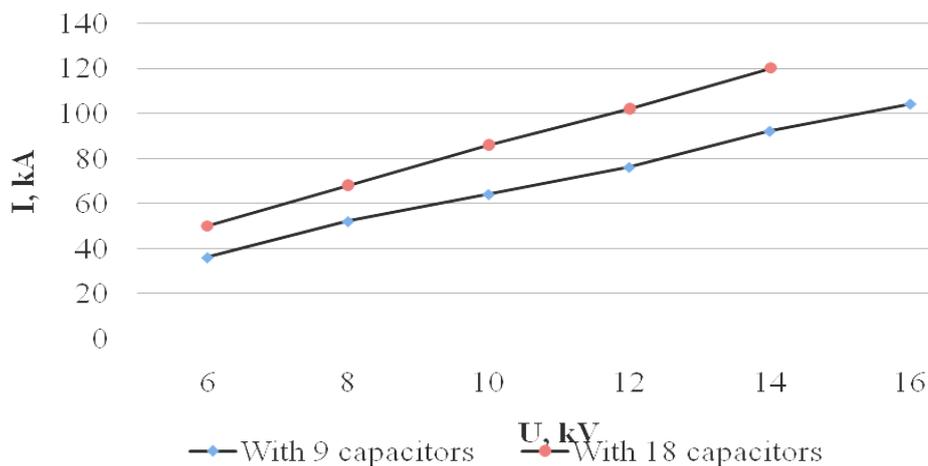


Рисунок 3 Зависимость разрядного тока от напряжения при различном числе конденсаторов

Индуктивность всей системы можно выразить из формулы (3):

$$L = \frac{U^2 n C_1}{I_m^2}. \quad (4)$$

Значения индуктивности, найденные по формуле (4), представлены на Рисунке 4.

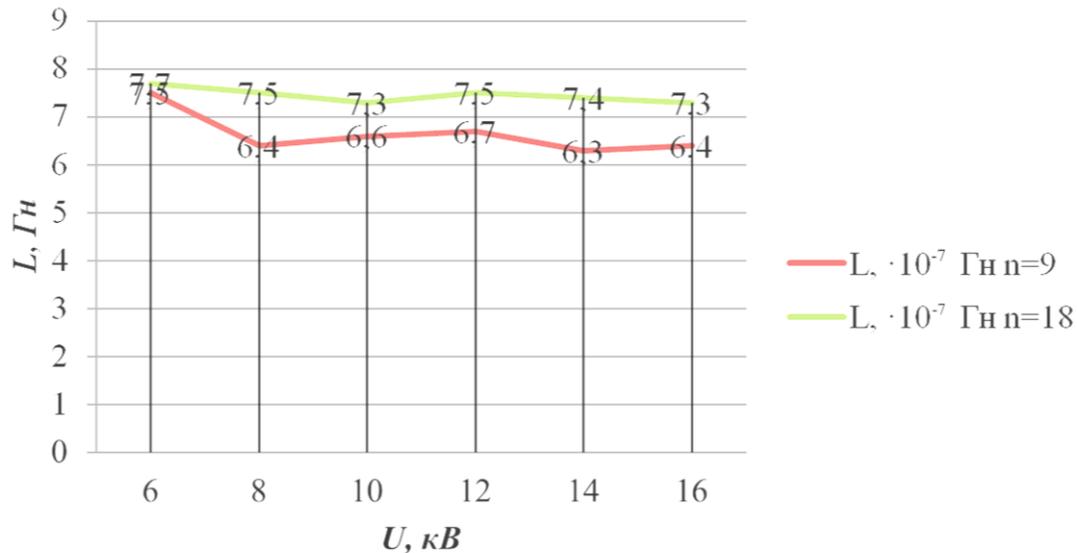


Рисунок 4 Индуктивность всей системы

Из анализа данных Рисунка 4 следует, что с ростом емкости конденсаторной батареи (с увеличением числа конденсаторов) в два раза динамическая индуктивность увеличилась на $0,8 \cdot 10^{-8}$ Гн.

Таким образом, индуктивность всей системы складывается из постоянной индуктивности (конденсаторов, соединительных проводов и т.др.) равной на $6,5 \cdot 10^{-7}$ Гн и динамической индуктивности плазмы равной 10^{-7} Гн, т.е. индуктивность в реальном эксперименте должна быть $7,5 \cdot 10^{-7}$ Гн. На рисунке 5 показано сравнение экспериментальных и теоретических результатов [2].

Ток, протекающий через пинч, характеризует то количество энергии, запасенной в данном плазменном индуктивном накопителе, которое может быть преобразовано в мощные потоки частиц с высокой эффективностью, а напряжение на пинче может характеризует энергию, которую имеют частицы этих потоков [3]. Знание этих двух величин важно для определения полного энергосодержания потоков заряженных частиц.

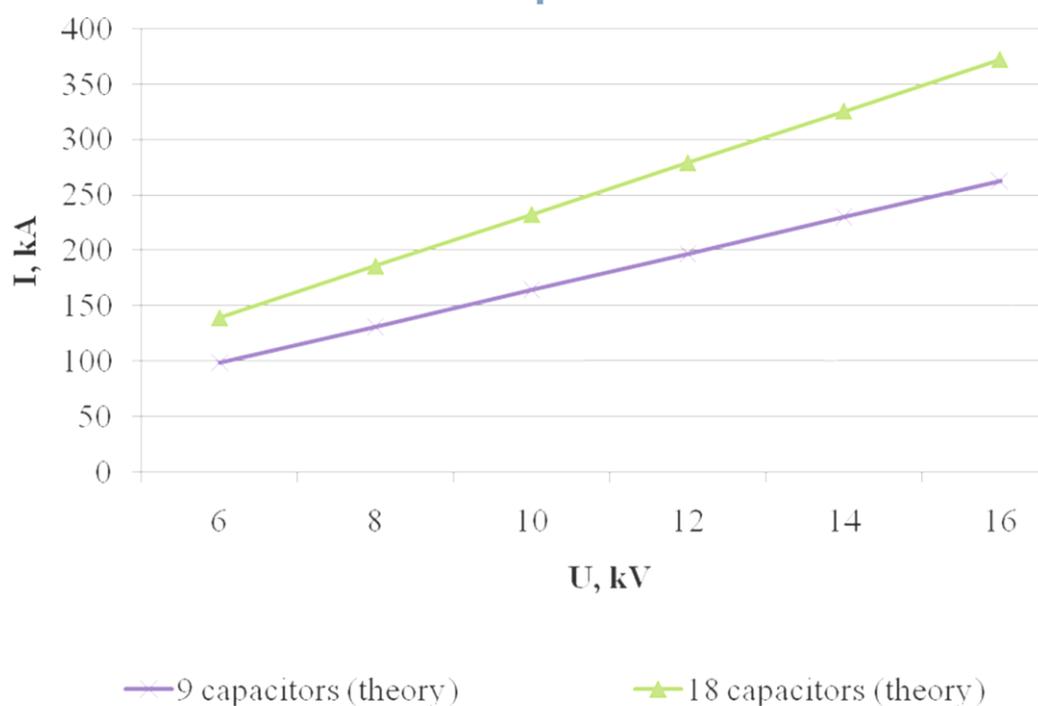


Рисунок 5 Сравнение теоретических результатов

При радиальном сжатии индуктивность ПФ резко возрастает, что приводит к тому, что в цепи делителя происходит повышение напряжения. Начало повышения напряжения принято считать за начало радиального сжатия токовой плазменной оболочки [4].

Увеличение емкости конденсаторной батареи влечет за собой увеличение продолжительности разряда, что приводит к увеличению геометрических размеров разрядной камеры. В результате индуктивность в разрядной камере становится больше индуктивности конденсаторной батареи и как, следствие увеличение емкости не влияет на повышение силы тока это реализуется в установках с мегаджоулевой энергетикой.

В ходе проведения эксперимента величина разрядного тока определялась поясом Роговского и формула для определения тока выглядит как трансформатор тока:

$$I = \frac{nU_0}{R},$$

где n число витков катушки, U_0 величина измеренного напряжения на выходе катушки, и R сопротивление. В данном случае число витков $n = 2000$.

С помощью этого трансформатора тока были получены осциллограммы тока и его производной при напряжении заряда конденсаторной батареи от 6 до 16 кВ, и определены значения амплитуды разрядного тока. На Рисунке 6 приведены осциллограммы тока и его производной.

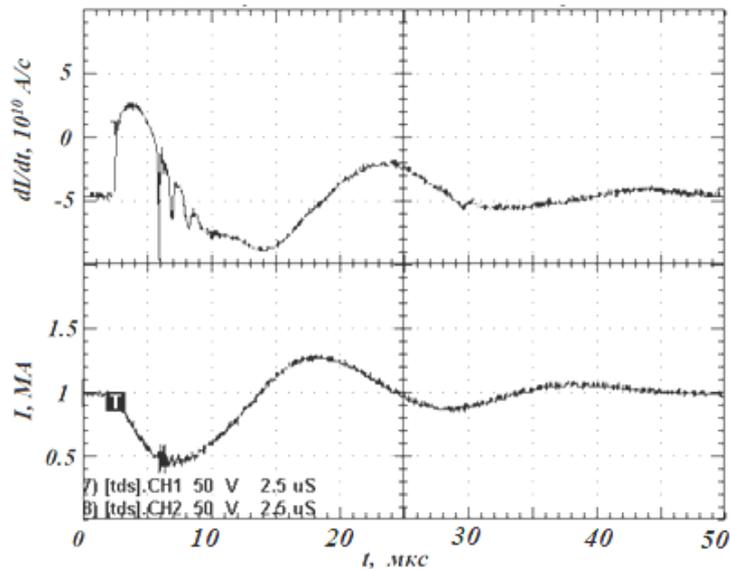


Рисунок 6 Осциллограммы тока и его производной

Расчеты проводились по формуле:

$$I(t) = I_0 e^{-\alpha t} \sin \omega t, \quad (5)$$

где t – время, I_0 – амплитуда тока, α и ω – параметры, подлежащие определению из экспериментальной кривой. Так как отношение $\omega = 2\pi/T$, где T период осцилляций, из осциллограмм определяем значение $\omega = 3,14 \cdot 10^5$ рад/с. Тогда период T составил 20 микросекунд.

Для определения параметра α , были рассмотрены значения тока в первых двух локальных максимумах экспериментальной кривой тока. Взяв t_2 как время второго локального максимума, и t_1 как время первого локального максимума, подставив их в формулу (5), определим отношение:

$$\frac{I(t_2)}{I(t_1)} = \frac{e^{-\alpha t_2}}{e^{-\alpha t_1}} = e^{-\alpha(t_2-t_1)} = e^{-\alpha T} = \eta,$$

где разность $(t_2 - t_1)$ равна периоду T , и η есть отношение тока. Решение для расчета α будет

$$\alpha = \frac{-\ln \eta}{T} = \frac{-\ln\left(\frac{5}{12,5}\right)}{20 \mu s} = 4,58 \cdot 10^4 \text{ c}^{-1},$$

Найденные параметры подставим в форму (5), для оценки разрядного тока. Продифференцировав уравнение (5) по времени найдем производную тока:

$$\frac{dI}{dt} = I_0 e^{-\alpha t} (\omega \cos \omega t - \alpha \sin \omega t).$$

Синусоиды разрядного тока и его производной, построенные по результатам расчета при $T_1=20$ мкс, $\omega=3,14 \cdot 10^5$ рад/с и сравнение экспериментальных и теоретических значений разрядного тока и его производной представлены на рисунке 7.

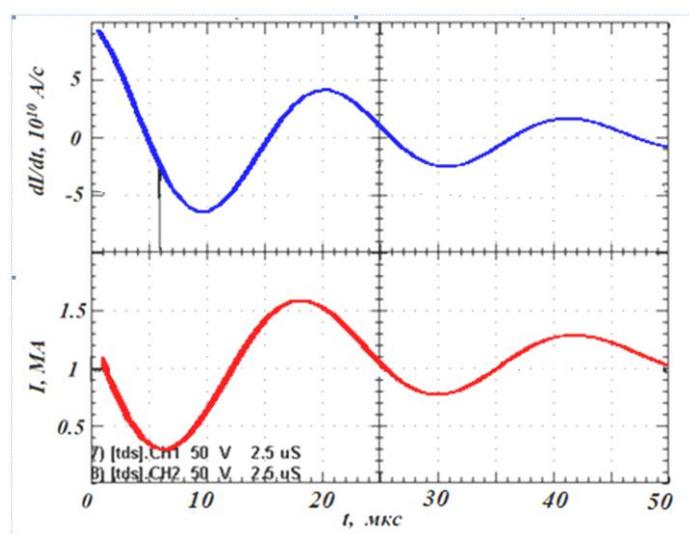


Рисунок 7 Сравнение экспериментальных и теоретических значений разрядного тока и его производной ($T_1=20$ мкс)

Установлено что наибольшее совпадение теоретических и экспериментальных результатов при $T=30$ мкс. На рисунке 8 приведены сравнение экспериментальных значений и результатов расчета разрядного тока и его производной $T_2=30$ мкс, $\omega=2,09 \cdot 10^5$ рад/с.

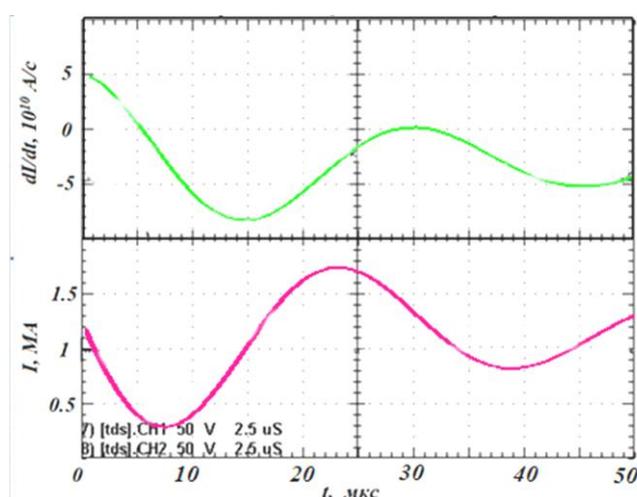


Рисунок 8 Сравнение экспериментальных и теоретических значений разрядного тока и его производной ($T_2=30$ мкс)

Особенностью установок типа плазменный фокус является зависимость нейтронного выхода от энергии E , запасенной в конденсаторной батарее, и соответственно, от величины разрядного тока в момент пинчевания I_p [5]:

$$Y_n = 10E^2, \quad (6)$$

$$Y_n = 10^{-13} I_p^4 \quad (7)$$

Для установок ПФ килоджоульного диапазона можно пренебречь индуктивностью разрядной камеры и плазменного столба, и тогда индуктивность разряда будет определяться индуктивностью батареи и подводящих проводов [6]. Величина максимального тока разряда, для данных установок находится по формуле (2), с учетом того, что энергия запасенная в конденсаторной батарее равна:

$$E = \frac{CU_m^2}{2} \Rightarrow CU_m^2 = 2E,$$

уравнение (2) примет следующий вид:

$$I_m = \sqrt{\frac{2E}{L}}, \quad (8)$$

Выразив из уравнения (8) энергию, и подставив полученное выражение в уравнение (6), получим:

$$Y_n = 2,5 \cdot I_m^4 L, \quad (9)$$

Из уравнения (9) следует, что нейтронный выход для установок с килоджоульной энергетикой определяется величиной максимального тока разряда.

Вычислим величину нейтронного выхода для экспериментальной установки, конденсаторная батарея, которой состояла от 9 до 18 конденсаторов типа ИК-50, каждый емкостью 3 мкФ, индуктивностью 10^{-7} Гн. Максимальное напряжение на батарее 30 кВ.

Максимальный нейтронный выход для установки с конденсаторной батареей емкостью 27 мкФ (9 конденсаторов) составил $1,5 \cdot 10^9$ нейтрон/импульс, а для батареи емкостью 54 мкФ (18 конденсаторов) $5,9 \cdot 10^9$ нейтрон/импульс.

Заключение

Что касается мегаджоулевого диапазона связь между током и энергией установки уже не определяется соотношением (2), а нейтронный выход не зависит от энергии. При постоянном напряжении зарядки батареи рост энергии сопровождается увеличением количества параллельно включенных конденсаторов и приводит к падению индуктивности батареи. А увеличение ёмкости конденсаторной батареи приводит к увеличению длительности разряда и к увеличению длины электродов разрядной камеры. Увеличение длины электродов разрядной камеры неизбежно так, как необходимо сохранение условия согласования момента прихода токовой оболочки к оси установки с максимумом тока [7]. В итоге соотношение между величинами L_c и L_t становится обратным килоджоульному диапазону, то есть $L_c \ll L_t$. Более того, при

дальнейшем увеличении ёмкости батареи уже не происходит повышением тока разряда, вследствие увеличения индуктивности камеры. Максимальное значение тока разряда в этом случае определяется индуктивностью камеры, а не конденсаторной батареи. Происходит насыщение тока разряда, и соответственно насыщение нейтронного выхода.

Литература:

1. Физическая энциклопедия [Электронный ресурс]: база данных. – Режим доступа: <http://allchem.ru/pages/physic/2842> (актуальна на 16.02.18).
2. Плазменный фокус. Физическая энциклопедия. В 5 – ти томах. – М.: Советская энциклопедия. 1988. – С. 1437.
3. Бурцев В.А., Грибков В.А., Филиппова Т.И. Высокотемпературные пинчевые образования. Физика плазмы Т. 2 Итоги науки и техники ВИНТИ. – М., 1981. – С. 226 – 230.
4. Крауз В.И., Войтенко Д.А., Митрофанов К.Н., Мялтон В.В., Аршба Р.М., Астапенко Г.И., Марколия А.И., Тимошенко А.П.. Исследование параметров плазменных потоков и их распространения в фоновой плазме в установках типа «плазменный фокус» с различной конфигурацией разрядной системы. ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез Т. 38. – 2015. Вып. 2. – С. 19 – 31.
5. Лукьянов С.Ю. Горячая плазма и управляемый ядерный синтез. – Наука, 1975 г. – 398 с.
6. Итоги науки и техники: физика плазмы. Т. 5, под ред. В.Д. Шафранова. – М.: ВИНТИ, 1984. – 282 с.
7. Макеев Н.Г., Румянцев В.Г., Черёмухин Г.Н. Разработка и исследование сферических камер с плазменным фокусом [Электронный ресурс]: персональный сайт. – Режим доступа: <http://davaiknam.ru/text/issledovanie-sfericheskikh-kamer-s-plazmennim-fokusom> (актуальна на 20.02.18).