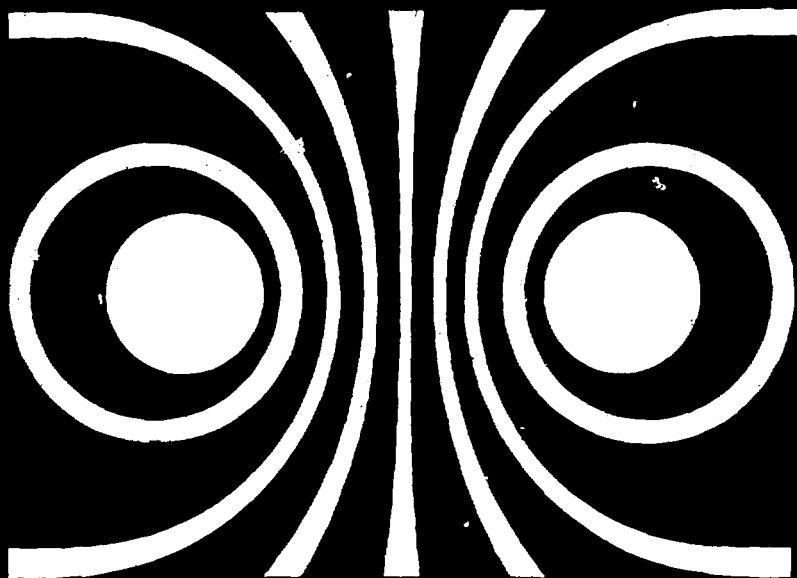




ДОКЛАДЫ

ВТОРОЙ ВСЕСОЮЗНОЙ
К О Н Ф Е Р Е Н Ц И И
ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ПРОБЛЕМАМ
ТЕРМОЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ
■ Июнь 23-25 1981. Ленинград. ■

ТОМ 3



Ленинград, 1982

8408392 - 8405

Государственный комитет по использованию
атомной энергии СССР

Научно-исследовательский институт
электрофизической аппаратуры
имени Д.В.Варшавского

inis - 50 - - 273

ДОКЛАДЫ
ВТОРОЙ ВСЕСОЮЗНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ
ПРОБЛЕМАМ ТЕРМОЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ
(Ленинград, 23-25 июня 1961 г.)

Том III

Ленинград, 1962

Доклады Второй Всесоюзной конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов (23-25 июня 1981 г.). Т. II. Л., НГЭМА, 1982, 446 с., с ил., цена 3 р.36 к.

Вторая Всесоюзная конференция по инженерным проблемам термоядерных реакторов проходила в Ленинграде с 23 по 25 июня 1981 г. В работе Конференции приняло участие более 300 специалистов, в том числе из зарубежных стран.

На Конференции обсуждались проекты термоядерных реакторов и термоядерных установок различных возможных направлений, проблемы получения и нагрева плазмы, создания электромагнитных систем и систем питания. Много внимания уделялось проблемам вакуумной технологии и первой стенки, вопросам подготовки и подачи топлива, проблемам blankets, тепловым экранам и системам преобразования энергии, системам управления и контроля.

В сборник включены доклады, отобранные оргкомитетом Второй Всесоюзной конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов из числа представленных на Конференцию.

Ответственным редактор Б.Н.Буков

Доклады отпечатаны с оригиналов, подготовленных организациями - участниками Конференции.

127. РАСПАД ПЛАЗМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ ПРИ УДАРНОМ СЖАТИИ ПРОДУКТАМИ ДЕТОНАЦИИ

П.И.Зубков, Л.А.Лукьяничков,
И.Н.Насров, К.А.Тен

Институт гидродинамики им. М.А.Лаврентьева
Сибирского Отделения Академии Наук СССР

При ударном сжатии плазмы электрической дуги умеренными ударными волнами температура, а вместе с ней и электропроводность из-за процессов ионизации растут значительно медленнее сжатия. В результате сопротивление промежутка с электрической дугой, по которой распространяется ударная волна, увеличивается. Последующее сжатие дуги отраженными ударными волнами вызывает дальнейший рост сопротивления.

Термодинамическое состояние плазмы дуги зависит также от взаимодействия с ограничивающими ее стенками и толкающим поршнем, которым являются более плотные продукты детонации. Уход энергии через стенки и в толкающий поршень может еще в большей степени увеличить сопротивление дуги. На характер процессов в плазме может сильно повлиять протекающее по дуге тока. Это воздействие будет определяться, по-видимому, величинами токов, протекающих по дуге, и характером нарастания напряжения на промежутке, определяемом параметрами электрической цепи.

В [1,2] увеличение сопротивления плазмы используется для переключения тока из индуктивного накопителя энергии в нагрузку, причем в [2] после ударного сжатия происходит полный распад плазмы. Уровень коммутируемых мощностей в этих работах таков, что для распада плазмы скорость диссипации энергии должна превышать 10^8-10^9 Вт/см². Механизм теплоотвода таких мощностей из плазмы до сих пор не ясен.

Ниже излагаются результаты экспериментов, поставленных с целью изучения причин распада плазмы и возможностей для использования выключения сильных токов.

Постановка экспериментов. Исследование ударного сжатия плазмы электрической дуги осуществлялось в промежутке

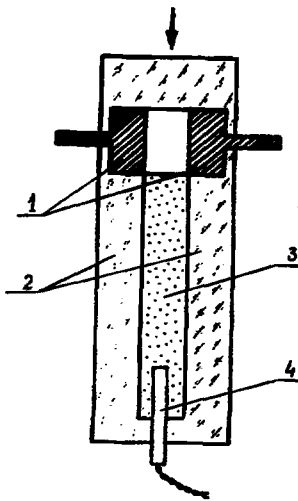


Рис. 1. Схема скетта плазмы дуги. 1 - электроды, 2 - оргстекло, 3 - ВВ, 4 - детонатор представляющем собой прямоугольный канал (рис. 1), образованный токоподводящими электродами 1 и стенками из оргстекла 2. Одна из изолирующих стенок была выполнена из заряда конденсированного взрывчатого вещества 3, инициируемого детонатором 4.

Исследуемый промежуток был включен в цепь индуктивного накопителя энергии (рис. 2) со следующими параметрами:

$C = 876 \text{ мкФ}$, $L_0 = 11,6 \text{ мкГ}$, $L_1 =$

$= 2,0 \text{ мкГ}$, $R_1 = 1,1 \text{ Ом}$, $L = 2,3 \text{ мкГ}$. Измерялись ток, протекающий по цепи и его производная, ток в нагрузке, синхронно процесс взаимодействия регистрировался на СФР. Погреш-

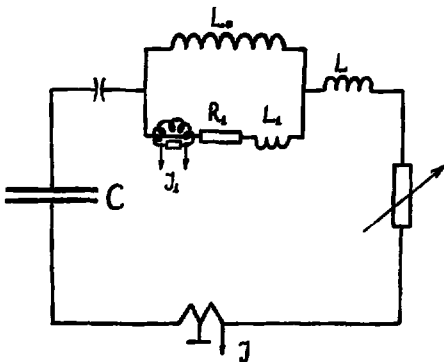


Рис. 2. Схема индуктивного накопителя энергии.

ность измерения токов и временных интервалов составляла 5%, точность синхронизации не хуже

0,1 мкс. Для определения напряжения на промежутке измеренные ток в цепи и его производная задавались дискретным образом и обрабатывались численно на ЭВМ совместно с уравнениями цепи. Контроль счета велся по

совпадению вычисленного значения тока в нагрузке с измеренным в эксперименте. Точность определения напряжения таким образом, оценивается величиной 1С%.

Перед экспериментом электроды закорачивались тонким проводником, который после начала разряда взрывался и в промежутке загоралась электрическая дуга. Плотность в дуге была нормальной, то есть 10^{-3} г/см³, а давление и температура при токе 18 кА соответственно 100 е.м и 10^4 К. Сжатие дуги ударной волной отсутствовало в момент достижения током в цепи максимального значения.

Результаты экспериментов. Осциллограмма выключения тока 14 кА представлена на рис. 3. Время полного распада плазмы ~ 4 мкс. С увеличением тока время растет, а начиная с 18 кА на спаде тока имеется характерный излом, который

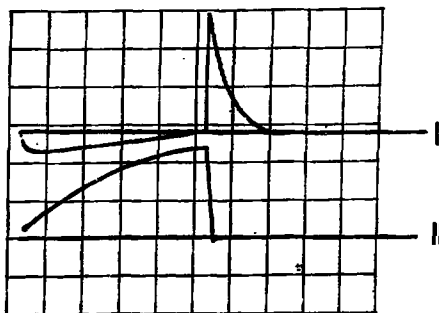


Рис. 3. Осциллограмма переключения тока (II луч, 6,1 кА/дел) в нагрузку (I луч, 3,6 кА/дел.). Разветка 25 мкс/дел.

классифицируется, как пробой. Напряжение на электродах в этот момент достигает своего максимального значения 20 кВ и в дальнейшем резко падает. При выключении его больших токов, величина максимального напряжения не изменяется.

На фотопазвертках видно сжатие плазмы дуги в прямой ударной волне, которая движется с практически постоянной скоростью 10 км/с,

и последующее сжатие в отраженной от стенки ударной волне. Сжатие в прямой волне оказывается ~ 4, в отраженной ~ 15, но увеличения сопротивления промежутка оказывается его не достаточным, чтобы повлиять на протекающий ток. Синхрони-

зация фоторазверток с осциллограммами показывает, что ток начинает спадать через 0,2 - 0,3 мкс после достижения ударной волной стенки. Свечение дуги уменьшается и через некоторое время полностью исчезает, хотя по ней еще течет значительный ток. Повторные пробы на снимках тоже не видны, видимо, их закрывают непрозрачные продукты детонации.

С ростом сопротивления промежутка начинает расти электрическая мощность, выделяющаяся в дуге. Ее максимальное значение на два порядка превышает начальный уровень. За первые 3 мкс в плазме дуги выделяется более 300 Дж.

Распад плазмы в таких условиях возможен лишь при еще большей скорости диссипации энергии из дуги. Анализ возможных механизмов теплоотвода показал, что при малых плотностях плазмы, в области оптической прозрачности, распад плазмы можно объяснить объемным излучением. При плотностях, больших нормальной, поток излучения пропорционален площади и, если считать границы сжатой дуги плоскими, оказывается значительно меньшим, чем необходимым для распада плазмы. Обеспечить нужный теплоотвод можно лишь увеличением площади контакта с продуктами детонации в 30 раз.

На рис. 4 приведена фоторазвертка съемки в торец промежутка (на рис. 1 направление съемки обозначено стрелкой).

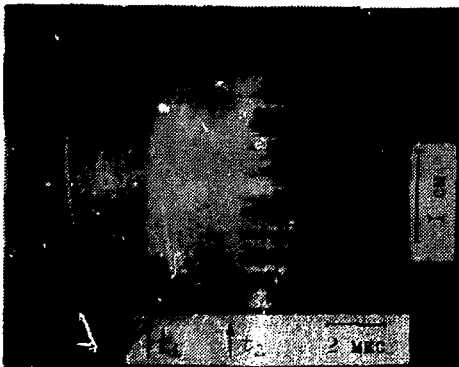


Рис. 4. Фоторазвертка, снятая в торец промежутка.

В момент времени t_1 ударная волна начинает сжимать дугу, в t_2 волна достигает стенки. Спад тока начинается после сильного перемешивания плазмы дуги с продуктами детонации. Таким образом, поверхность плазма дуги- продукты детонации оказывается неустойчивой, обеспечивая необходимое увеличение площади контакта. Оценки показы-

авят, что продукты детонации в этой постановке могут поглотить 600 Дж.

Характерный размер неустойчивостей зависит от начальной плотности плазмы и длины промежутка в направлении движения волны. С уменьшением плотности и длины он уменьшается.

Причина возникновения неустойчивости контактной поверхности, видимо, связана с ее градиентным ускорением вследствие начальной неоднородности плотности плазмы. Более плотные продукты детонации тормозятся менее плотной плазмой дуги, что приводит к неустойчивости типа Рэлея-Тейлора. Другой причиной может быть неустойчивость самой контактной поверхности после прохождения через нее ударных волн. Теоретически это показано в [3].

Выявление причин распада плазмы привели к использованию конструкции с цилиндрическим каналом (рис. 5). В ней дуга

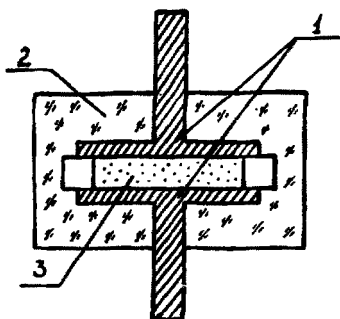


Рис. 5. Конструкция с цилиндрическим каналом. 1 - электроды, 2 - оргстекло, 3 - ВВ

поджигается между электродами 1 по периметру заряда ВВ 3, диаметром 30 мм и толщиной 10 мм. После инициирования в центре заряда происходит сжатие дуги к стенкам изолятора 2. В этой постановке площадь контакта плазмы дуги с продуктами детонации, при том же начальном объеме, что в прямоугольном канале, увеличивается почти на порядок. Более быстрому распаду

плазмы способствует также шунтирование промежутка проводящими продуктами детонации.

Зависимость сопротивления утечки от времени определяется составом ВВ, геометрией заряда, условиями инициирования и

разлета продуктов. Наиболее надежно прямое определение этой зависимости в эксперименте. На уяс. 6 дана осциллограмма пропорциональная величине $R_x(t) \cdot R_{ш} / (R_x(t) + R_{ш})$, где $R_x(t)$ зависимость сопротивления продуктов detonации смеси тена с парафином ПИ 90/10 от времени, $R_{ш} = 4,02$ см сопротивле-

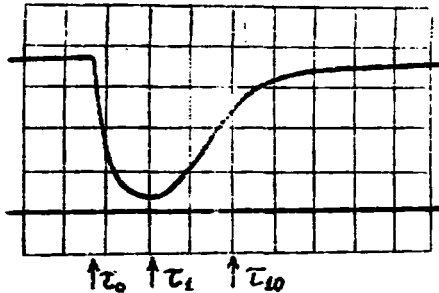


Рис. 6. Зависимость проводимости продуктов от времени.

Развертка 1 мкс/дел.

увеличивается в 10 раз. Заметно влияние содержания тротила

это извлекательного шунта. В τ_0 произошло инициирование, к моменту τ_1 сопротивление продуктов минимальное, а затем растет приблизительно по экспоненциальному закону. В таблице I приведены минимальные значения сопротивлений R_{min} для разных смесей ВВ в момент времени τ_1

τ_{10} - время за которое сопротивление

Табл. I. Экспериментальные данные для смесей ВВ.

В.В.	R_{min} , Ом	τ_0 , мкс	τ_{10} , мкс	$E_{м.л.}$, кВ/см	τ_1 , мкс
Тротил	0,15	1,6	6,0	20	8,0
ТГ 75/25	0,22	1,5	3,9	24	4,1
ТГ 50/50	0,26	1,0	1,7	30	2,2
ТГ 25/75	0,67	0,75	1,3	32	1,7
ГП 90/10	0,41	1,5	2,4	35	1,5
ТИ 90/10	0,55	1,5	2,0	40	1,3
ПФ 90/10	3,4	1,5	1,8	61	0,6
ФФ 90/10	4,2	1,1	1,6	70	0,5

Т - тротил
Г - гексоген
П - парафин
Ф - фторопласт

на R_{min} и время спада проводимости, которое для смесей с большим его содержанием гораздо больше, чем характерное

газодинамическое время 1 мкс. Продукты детонации тена и гексогена с добавками парафина обладают сопротивлением в 7 - 8 раз меньшим, чем у их смесей с фторопластом. В целом результаты согласуются с выводами [4].

На рис. 7 приведены осциллограммы выключения тока 18 кА с использованием зарядов из тротила и тена с добавками парафина и фторопласта. У зарядов с плохо проводящими продуктами

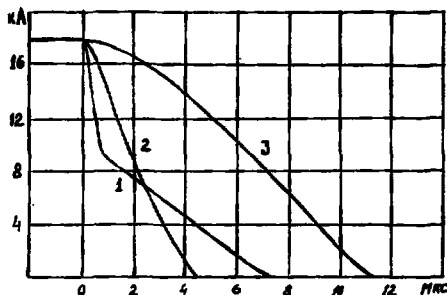


Рис. 7. Спад тока при использовании разных ВВ. Развертка 2 мкс/дел. 1 - ТФ90/10, 2 - ПФ90/10, 3 - тротил.

испытанных взрывчатых веществ. Максимальное значение разрывной мощности в экспериментах достигало $1,6 \cdot 10^9$ Вт.

Наилучшее шунтирование дуги в этой постановке наблюдалось у зарядов с добавками парафина и ТТ 25/75, проводимости которых сравнимы с проводимостью ударно сжатой плазмы дуги, а τ_{10} близко к времени выключения. В продуктах детонации ПТ 90/10, например, выделяется до 2/3 всей энергии, выделяющейся на промежутке.

Заключение. Приведенные результаты показывают, что распад плазмы, вызванный гидродинамической неустойчивостью контактной поверхности плазмы дуги - толкающей газообразной поршень при ее ударе от сжатия может эффективно использоваться при коммутации сильных токов.

тена и фторопласта. У зарядов с плохо проводящими продуктами (тена, гексоген с фторопластом) ток в течение 0,5 - 0,6 мкс от начала спада резко падает. Напряжение к этому моменту достигает максимального значения $E_{max} = 70$ кВ/см. У зарядов из тротила спад тока плавный,

$E_{max} = 20$ кВ/см достигается через $\tau = 8$ мкс после начала спада тока. В таблице I приведены E_{max} и τ для

Л и т е р а т у р а

1. Павловский А.И., Васюков В.А., Руссков А.С. Формирование быстро нарастающих мегаамперных импульсов от магнитокумулятивных генераторов. - "Письма в Журнал Технической Физики", т. 3, вып. 16, 1977, стр. 789-792.
2. Зубков П.И., Лукьянчиков Л.А., Тен К.А. О гашении электрической дуги с помощью взрывчатых веществ. - "Прикл. Мех. и Техн. Физ.", 1978, № 4, стр. 40-46.
3. Сизонов В.С. Поведение поверхности раздела двух жидкостей конечной глубины в переменных силовых полях. - "Прикл. Мех. и Техн. Физ.", 1970, № 5, стр. 62-68.
4. Ершов А.П., Зубков П.И., Лукьянчиков Л.А. Электрофизические свойства детонационной плазмы и быстродействующие взрывные размыкатели тока. - "Прикл. Мех. и Техн. Физ.", 1977, № 6, стр. 19-23.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

IV. Системы питания	3
III. Принципы построения системы питания "ТИГОР" (Ф.М.Спевакова, А.М.Столлов)	3
II2. Система питания обмотки тороидального поля токамака Т-15 (В.Р.Андреев, М.М.Аталиков, Б.В.Корнаков, Ф.М.Спевакова, А.М.Столлов, А.Х.Явно)	10
II3. Быстродействующая система питания обмоток управления равновесием плазмы установок типа токамак (В.Р.Андреев, М.М.Аталиков, И.В.Лав- ров, Б.А.Ларионов, А.А.Руденко, А.М.Столлов)	18
II4. Экспериментальное исследование системы пита- ния токамака Т-10 (Е.В.Корнаков, Г.С.Дяпичев, А.Г.Ромаль, Ф.М.Спевакова, А.М.Столлов, С.Н.Уралов, Н.Н.Бритусов, В.С.Узлов, В.М.Шадров)	24
II5. Электромашинные агрегаты кратковременного действия для питания физических установок (М.А.Глебов, Э.Г.Кашарский, Ф.Г.Рутберг, Г.М.Хуторецкий)	32
II6. Электромашинный компрессорный генератор (М.Н.Быстров, А.С.Друженин, В.Г.Кучинский, Б.А.Ларионов, А.П.Накешин, В.П.Силин)	39
II7. Проблемы создания систем электрического пита- ния инжекторов для термоядерных установок (А.Н.Владимиров, Н.Н.Семалко)	47
II8. Индуктивно-емкостные накопители энергии для электрофизических установок (А.Б.Андрезен, В.А.Бурцев, В.М.Водозовов, А.А.Дроздов, Н.В.Калинин, Г.М.Макеев, В.Ф.Проконенко)	52
II9. Сильноточный электронный ускоритель микросе- кундного диапазона (В.И.Борисов, О.А.Гусев, Б.А.Иванов, В.Г.Ковалев, В.Б.Марков, Б.М.Меллах, Е.П.Павлов, О.П.Печерский, К.И.Ткаченко, Ф.А.Федоров)	60
II20. Тиристорные системы питания термоядерных ре- акторов (Л.Е.Батнов, А.К.Гинзбург, Г.Г.Маме- ров)	66
II21. Система питания усилителей многоканального твердотельного лазера (Э.А.Азизов, Д.Г.Гам- дель, Б.В.Захаров, Б.В.Кутравлев, А.Л.Клюпо- товский, А.Е.Мазукин, И.И.Панков, А.В.Пого- марев, В.А.Ягнов, В.А.Крылов, А.Д.Фролов)	75

122. High voltage power supply system for pulsed CO₂ lasers used in thermonuclear research (K. Kosiecka, M. Bielik, A. Jęrzykiewicz, Z. Nawrocki). 83
123. Мощный двухступенчатый размыкатель постоянного тока (В.Р. Андреев, М.М. Атаманков, И.Д. Бенескриптов, В.А. Крылов, Б.А. Ларонов, Н.А. Мососов, Н.Н. Паученко, Ф.М. Сневакова, А.М. Столов, А.Д. Фролов). 91
124. Быстродействующий размыкатель многократного действия с электродинамическим приводом (Б.А. Ларонов, Н.А. Михайлов). 96
125. Мощное размыкающее устройство многократного действия для коммутации цепи индуктивного накопителя (М.Н. Быстров, А.С. Коршунов, В.А. Крылов, Б.А. Ларонов, Н.Н. Паученко, В.П. Селин, А.М. Столов, А.А. Фролов). 103
126. Исследование макета коммутатора многократного действия с гашением дуги жидкой шестигранный серой (Э.А. Азизов, Н.А. Ахмеров, В.А. Годоник). 109
127. Распад плазмы электрической дуги при ударном скачке продуктам детонации (П.И. Зубков, Л.А. Лукьяничков, И.Н. Насыров, К.А. Тен). 117
128. Некоторые вопросы активного экранирования накопителей цилиндрической геометрии (Ф.В. Гальчук, А.С. Дружанин, В.Г. Кучинский, Б.А. Ларонов). 125
129. Запирающее устройство многократного действия с электродинамическим приводом (М.Н. Быстров, А.С. Коршунов, В.А. Крылов, Б.А. Ларонов, С.Е. Павлик, Н.Н. Паученко, В.П. Селин). 133
130. Надежность высоковольтных импульсных конденсаторов, работающих в крупных накопителях энергии (Г.С. Кучинский, В.С. Федорова, О.В. Шилин). 137
131. Мегавольтный коммутатор установки "Ангара-5" (В.В. Вечерковский, О.А. Гусев, Д.А. Истомен, Н.Г. Кулешова, Г.М. Латманисова, А.С. Перлин, О.Л. Печерский, Л.В. Смирнов, Б.М. Ковальчук, В.А. Лавринович, Г.А. Месяц, В.Ф. Поталицын). 143
132. Генератор импульсов напряжения для мощных импульсных систем (А.Н. Басотников, М.И. Воробейко, Б.М. Ковальчук, В.А. Колпаев, В.И. Маняков, А.А. Новиков, В.П. Яковлев). 152

133. Моделирование работы многоступенчатого генератора Аркадьева-Маркса на ЭИИ (Б.М.Ковальчук, В.В.Кремнев, Л.П.Луцинская, В.И.Маньков, В.Н.Шендрик) 160
134. Устройства высоковольтного питания инжекторов (В.В.Топельберг, Ю.Р.Каспари, В.Н.Стельмаков, Э.Э.Шенкман, А.Н.Владимиров) 168
135. Мощный регулирующий тетрод в системе высоковольтного питания инжектора (А.Н.Владимиров, В.Р.Мельников, Н.Н.Семашко, И.С.Лисман, В.И.Осиновская) 176
136. Система питания ионного источника с использованием высоковольтного коммутатора на электронно-лучевом вентиле (А.Н.Владимиров, В.Р.Мельников, В.С.Липатов, В.И.Переводчиков, Д.А.Скибытинский, Н.Н.Старшинов, В.И.Шапенко, К.М.Козлов) 180
137. Быстродействующие высоковольтные коммутаторы с использованием электронно-лучевых вентилей (В.С.Липатов, В.И.Переводчиков, И.Г.Хомский, В.Н.Шапенко) 187
138. Быстродействующий ключевой преобразователь для питания корректирующей обмотки установки "Туман-3" (С.Н.Васильев, С.В.Горюстаев) 196
139. Коммутация тока из быстродействующего размыкателя в кунтирующий проводник (Н.А.Ахмеров, В.А.Лебедев, Д.П.Лепер, В.А.Ягнов) 204
140. Система формирования длинных прямоугольных импульсов большой мощности (Э.А.Азизов, Н.А.Ахмеров, Ю.А.Кареев, Г.В.Рябцев) 213
141. Влияние динамики движения среды на скорость роста напряжения во взрывных коммутаторах постоянного тока (Э.А.Азизов, Б.Д.Янковский, В.В.Семченко) 221
142. Мощные сверхпроводящие размыкатели из фольги, управляемые перпендикулярным магнитным полем (Н.М.Колядин, Ю.Д.Куроедов, В.Д.Пигугин, С.Г.Солодовников) 227
143. Реверсивный переключатель в системе питания обмотки индуктора токамака (В.В.Рысьев, Ф.М.Спевакова, С.Н.Уралов) 233
144. Численные и экспериментальные исследования концентрации РЭП в сходящихся линиях (Г.Т.Головин, А.В.Гордеев, В.В.Замышкин, В.Д.Королев, В.П.Смирнов, М.В.Тулушов, В.А.Царфин, А.С.Черненко) 239

145. Создание регулируемого быстрого предимпульса на установке "Ангара-1" и его влияние на электрические характеристики диода (И.П.Аюнин, М.В.Бабинкин, К.А.Байгалин, Н.У.Баринков, А.В.Бартов, А.Г.Бельцевич, А.В.Губарев, В.Н.Киселев, В.И.Макирацкий, В.А.Трещин). 249
146. Искровой газовый разрядник на 200 кВ (Е.П.Большаков, В.В.Ершов, Ю.А.Истомин, Н.Г.Кулемова, Г.М.Латманнизова, А.С.Перлин, О.П.Печерский, Л.В.Смирнов, Л.Е.Фролов, Н.П.Шеголихин, Ю.В.Коба, В.Г.Лужнов, И.Р.Ямпольский). 256
147. Генератор импульсных напряжений установки "Ангара-5" (А.Г.Волкович, Е.В.Грабовский, В.А.Каленский, Ю.В.Коба, В.Г.Лужнов, Г.М.Олейник, А.М.Пасечников, В.П.Павчев, А.Ю.Соколов, В.П.Смирнов, И.Р.Ямпольский, Е.П.Большаков, Н.Г.Беручев, Т.С.Гостева, Ю.А.Истомин, Г.М.Латманнизова, А.С.Перлин, О.П.Печерский) 264
148. Установка "МОДУЛЬ" для получения горячей плазмы методом ИГД-обжата (А.С.Ельчанинов, Ф.Я.Загулов, Б.М.Ковальчук, Н.Ф.Ковшаров, В.А.Лавринович, А.В.Лучинский, Г.А.Месяц, Ю.Ф.Поталыцин, С.Д.Сорокин, В.Ф.Федулак). 273
149. Малоиндуктивный конденсаторный модуль энергоемкостью до 150 кДж с высокоточным коммутирующим вакуумным выключателем (Р.Г.Бигматов, Ф.Р.Хамидуллин, С.С.Череватинов). 279
150. Новые разрядники для коммутации больших импульсных токов (В.М.Яшкова, А.М.Арш, С.Ш.Зайдман, В.И.Иванкин, С.А.Ильин). 287
151. Низкоиндуктивный коллектор (В.А.Чураев, С.И.Дашкина, Ю.А.Чубанова). 295
152. Pulse power supply system for megajoule plasma focus device (A.Jerzykiewicz, W.Budkowski, K.Kocielecka, L.Kocinski, B.Lipinski, Z.Nawrocki, J.Stradomski, J.Witkowski, W.Wyszynski) 303
153. Numerical method of calculations of multisectional impulse generators supplying plasma experiments (B.Bartolik, Z.Jankowicz, A.Jerzykiewicz, K.Przybylski). 312
154. Numerical analysis of temperature distributions in the electrode system of plasma-focus device (M.Rabinski, Z.Jankowicz). 320

155. Структура системы управления параметрами плазмы токамака Т-15 (В.А.Беляков, В.Г.Ивкин, А.В.Кузнецов, Р.Н.Литвиновский, И.В.Мозин, В.П.Смирнов, И.П.Теплов, А.А.Тункин) 328
156. Исследование динамики плазменного шнура в токамаке Т-15 (В.И.Васильев, А.Г.Колчин, Р.Н.Литвиновский, А.В.Кузнецов, И.В.Мозин, И.П.Теплов) 336
157. Результаты экспериментального исследования управления положением шнура в токамаке с адiabотическим сжатием "Туман-3" (В.А.Беляков, С.Н.Васильев, С.В.Горностаев, А.Г.Колчин, В.А.Косцов, А.В.Кузнецов, Р.Н.Литвиновский, О.А.Миняев, И.П.Теплов, Г.М.Воробьев, В.Е.Голант, М.П.Грязневич, Н.В.Сахаров, К.Т.Шаховцев) 344
158. Интегральные методы расчета равновесия плазмы в токамаке при наличии ферромагнетика (Т.Т.Келоватая, В.Н.Патов) 353
159. Система автоматического регулирования положения плазменного шнура на Токамаке-10 (Н.Н.Ермишов, С.Ф.Валухин, Г.И.Сычев, В.М.Ледров) 361
160. The control system of megajoule plasma focus experiment (M. Bielik, A. Jerzykiewicz, G. Kornelak) 369
161. Измерение положения плазменного шнура в установках токамак методами магнетометрической диагностики (В.А.Белкин, С.С.Бендер, К.М.Степанов, И.А.Зырянов, С.А.Миняев, Р.Н.Литвиновский, В.В.Трофимов) 377
162. Помехозащищенная электронная аппаратура обработки сигналов датчиков в установках токамак (В.А.Засенко, В.Г.Ивкин, В.Н.Попов, Е.Е.Трифонов) 384
163. Измерительные каналы передачи электрических сигналов для автоматизированных систем управления (АСУ) и систем авторегулирования (АР) термоядерных установок типа "Токамак" (В.А.Арсеньев, И.М.Бондаренко, В.П.Герасимов, С.С.Ренин, В.Б.Туркин) 390
164. Принципы построения системы синхронизации термоядерной установки типа "Токамак" (А.К.Ваганов, В.С.Васильев, В.П.Герасимов, В.И.Гордиш, И.М.Смирнов) 398

165. Измерительные системы экспериментального модуля установки "Ангара-5" (А.В.Батлики, А.В.Богоров, В.И.Зайцев, Ю.В.Коба, И.Г.Ларин, Г.М.Александров, А.М.Пасечников, В.Д.Сасвички, В.П.Смирнов, И.Р.Ямпольский, Н.Г.Беручев, Т.С.Гостева, В.А.Иванов, Г.М.Латыanzeва, О.П.Печерский, В.И.Чернобровин, Д.А.Копьев, С.С.Курочкин, Г.Н.Николаев, В.М.Панкратов). 404
166. Компоновка диагностического комплекса Т-15 (Е.В.Александров, Д.В.Орминский, Н.И.Соколов) 412
167. Система управления для импульсных энергоустановок (Э.А.Азизов, В.А.Ворообьев, Ю.Г.Гендель, Б.В.Журавлев, В.А.Ягнов). 420
168. Организация измерений неэлектрических величин в системе сбора технологической информации установки Т-15 (В.П.Герасимов, В.Ф.Грачев, В.Ф.Комина, В.А.Скосарев) 426
169. Автоматическая система стабилизации неустойчивости на установке Т-12 с дивертором (И.М.Аверин, С.М.Нафтулин). 433