

Поступило в Редакцию  
14 апреля 1988 г.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе  
АН СССР, Ленинград

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 13

12 июля 1988 г.

## АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПЛАЗМЕННЫЙ КРОУБАР

А.К. Сойка

При генерации сильных импульсных магнитных полей (СИМП) разрядом батареи конденсаторов на соленоид возникает проблема получения униполярных импульсов магнитного поля, когда направление его в соленоиде не меняется.

Известны два способа получения униполярных СИМП: 1) последовательное включение в разрядный контур сопротивления, величина которого нелинейно растет при убывании тока [1]; 2) параллельное включение в контур специального управляемого разрядника-замыкателя (так называемого кроубара), закорачивающего соленоид в максимуме или минимуме разрядного тока [1-3].

В первом случае удается получать униполярные импульсы, близкие по форме к первой полуволне разрядного тока при потерях в амплитуде порядка 30-40%. Еще более существенны здесь ограничения на длительности импульсов (до нескольких микросекунд) и на плотности токов (до 1 кА/см<sup>2</sup>), которые выдерживают известные нелинейные сопротивления.

Осуществление второго способа технически весьма трудно и требует сложной аппаратуры, особенно при закорачивании соленоида в первом максимуме тока, что представляет как раз наибольший практический интерес, т.к. в этом случае в соленоиде создается импульс поля с коротким (синусоидальным) фронтом нарастания и медленным (экспоненциальным) спадом напряженности. Главная трудность заключается в обеспечении поджига кроубара, который должен выдерживать максимальное напряжение разрядного контура, но надежно включаться при почти нулевом напряжении, которое соответствует максимуму тока в нем.

Настоящая работа посвящена принципиально новому решению проблемы получения униполярных СИМП. Оно основано на явлении расширения радиуса плазменного канала искрового разряда в газах [4-6], которое дает возможность использовать обычный управляемый искровой разрядник (тригatron) одновременно в качестве коммутирующего элемента контура и в качестве кроубара.

На рис. 1 приведена схема разрядного LC-контура, поясняющая принцип работы предлагаемого плазменного кроубара [7]. Из

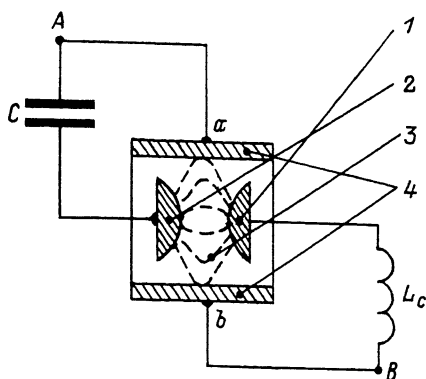


Рис. 1. Принципиальная схема разрядного  $LC$ -контура с автоматическим плазменным крубаром.

рисунок видно, что токопровод АВ, соединяющий соленоид и батарею конденсаторов, на участке „ав” имеет сквозное цилиндрическое отверстие 4, внутри которого коаксиально расположены электроды 1 и 2 тригatrona (поджигающий электрод не показан). Рабочие поверхности электродов сферические, благодаря чему разряд между ними возникает вблизи оси отверстия. При срабатывании разрядника расширяющаяся плазма 3 разряда через некоторое время достигает металла токопровода, осуществляя тем самым закорачивание соленоида. Радиус отверстия 4 выбирается таким, чтобы плазма достигала его стенок в максимуме или минимуме тока. Для перехода к обычному колебательному разряду достаточно поместить в указанное отверстие втулку из изоляционного материала, препятствующую контакту плазмы с токопроводом.

Скорость расширения канала разряда зависит от рода и давления газа, амплитуды и частоты тока. Однако, что здесь чрезвычайно важно, она практически постоянна в течение первой четверти периода разряда, а величина ее в этом промежутке времени к тому же еще и слабо зависит от мощности и частоты разряда [4]. При переходе через максимум тока скорость расширения плавно изменяется (несколько уменьшается или увеличивается в различных разрядах), но затем расширение опять происходит с почти постоянной скоростью, по крайней мере до первого минимума тока. Величина диаметра искровых каналов при этом может достигать значений в несколько десятков сантиметров [6].

Нами экспериментально установлено, что в воздухе при атмосферном давлении и частоте порядка  $10^4$  Гц искровой канал в первой четверти периода расширяется со скоростью 1 мм/мкс, остающейся практически неизменной в диапазоне энергий разряда от  $10^3$  до  $5 \cdot 10^4$  Дж, что соответствовало изменению амплитуды тока примерно от  $7 \cdot 10^4$  до  $5 \cdot 10^5$  А.

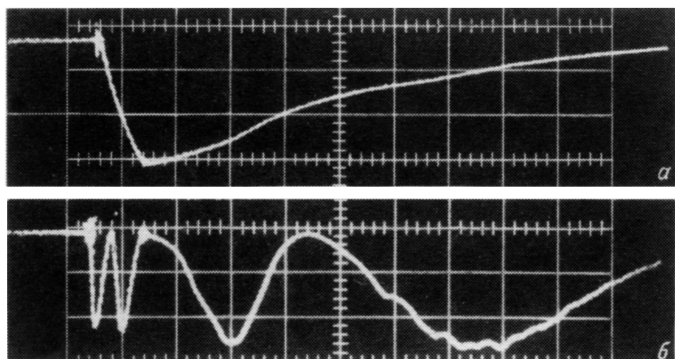


Рис. 2. Униполярный импульс тока в соленоиде (вверху), полученный с помощью пояса Роговского, и соответствующее ему фарадеевское вращение плоскости поляризации излучения  $Ne-Ne$  лазера в стекле ТФ-5 в магнитном поле соленоида. Масштаб развертки для обеих осциллограмм 20 мкс/дел.

На рис. 2 приведена осциллограмма одного из униполярных импульсов магнитного поля, полученных закорачиванием плазменным кроубаром соленоида в первом максимуме тока. Диаметр отверстия в токопроводе был равен 40 мм, диаметр латунных электродов тригatrona в их рабочей части – около 25 мм, напряжение батарей конденсаторов – до 5 кВ.

Многолетняя эксплуатация установки для получения СИМП [8] с использованием плазменного кроубара показала его исключительную надежность, стабильность и удобство в работе. Заметим, что ограничений на амплитуды разрядных токов практически не имеется: плазменный кроубар сработает одинаково надежно при токах от нескольких килоампер до нескольких мегаампер. К тому же возможно параллельное включение нескольких разрядников.

Очевидно, что при очень больших и очень малых частотах разряда применение описанного кроубара может оказаться проблематичным. Однако в наиболее широко используемой при генерации СИМП области частот (например, от 25 до 2.5 кГц, что соответствует четвертям периодов разряда от 10 до 100 мкс) плазменный кроубар можно использовать без каких-либо затруднений.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Дашук П.Н., Зайенц С.Л., Комельков В.С., Кучинский Г.С., Николаевская Н.Н., Шкуропат П.И., Шнеерсон Г.А. Техника больших импульсных токов и магнитных полей / Под ред. В.С. Комелькова. М.: Атомиздат, 1970. 472 с.

- [2] К н о п ф е л ь Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. М.: Мир, 1972. 391 с.
- [3] W a r i c h L.P. - Zeitschr. für Angew. Phys., 1964, v. 17, N 5, s. 348-350.
- [4] М и к Дж., К р э г с Дж. Электрический пробой в газах. Пер. с англ. под ред. В.С. Комелькова. М.: ИЛ, 1960, с. 472-485.
- [5] А н д р е е в С.И., О р л о в В.И. - ЖТФ, 1964, т. 35, в. 8, с. 1411-1418.
- [6] Г и т е р м а н В.Л., З е н к о в Д.И., П а в л о в - с к и й А.И., П е т р о в Н.Н., С м и р н о в Е.Н., С п и р о в Г.М. - ЖТФ, 1982, т. 52, в. 10, с. 1983-1986.
- [7] Б о й к о Б.Б., С о й к а А.К., К а ч а н А.И. Авт. свид. № 1250057 (СССР), 1986.
- [8] С о й к а А.К., В а л я в к о В.В. - ЖПС, 1977, т. 27, в. 1, с. 177-181.

Институт физики твердого тела  
и полупроводников  
АН БССР, Минск

Поступило в Редакцию  
22 сентября 1987 г.  
В окончательной редакции  
22 декабря 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 13

12 июля 1988 г.

## ПАРАМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ (ОБЛАСТЬ МАЛЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ)

Ю.И. В е с н и н, В.Е. И с т о м и н,  
Э.Г. К о с ц о в

Ранее было установлено, что в оксидных сверхпроводниках  $Y-Ba-Cu-O$ ,  $Eu-Ba-Cu-O$  при температуре  $T = 77-93$  К в области малых магнитных полей наблюдается линия парамагнитного поглощения, имеющая характерную для свободных носителей заряда дайсоновскую форму, интенсивность которой при изменениях  $T$  коррелирует с поведением сопротивления образца [1].

Подобная линия поглощения описана и в ряде других работ [2-4], но ее появление связывается либо с джозефсоновскими переходами, либо с проявлением параэлектрического резонанса.

Целью настоящей работы является исследование основных закономерностей, характерных для указанной части спектра парамагнитного резонанса.

Объектом исследования служила керамика  $YBa_2Cu_3O_y$  с температурой перехода в сверхпроводящее состояние  $T_c = 93-94$  К и протяженностью области перехода  $\Delta T_c \approx 2-4$  К, полученная по методу [5]. Изменение спектра ЭПР производилось с помощью радио-