

ЭЛЕКТРОДНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОРОДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ОБЪЕМЕ, ОГРАНИЧЕННОМ ПРОВОДЯЩИМИ СТЕНКАМИ

А. В. Болотов, А. В. Козырев, Ю. Д. Королев, Л. И. Лучинская
(Томск)

При исследовании газовых и вакуумных разрядов, при создании различных электрофизических устройств возникает необходимость обеспечения однородного электрического поля в системе двух электродов. Используются как осесимметричные электроды, так и электроды, у которых линейный размер в одном направлении существенно превышает размеры в двух других. Задача выбора профиля удовлетворительно решается для электродов, находящихся в свободном пространстве [1] (профиль Роговского, Чанга и др.).

Размещение электродной системы в металлическом корпусе приводит к существенному искажению распределения напряженности поля. Численные расчеты полей с учетом металлической стенки разрядной камеры для некоторой модельной ситуации приведены в [2]. Однако представленные результаты, относящиеся к осесимметричному случаю, не позволяют дать практические рекомендации по выбору профиля электродов и по минимизации размеров разрядной камеры. В настоящей работе предложена конфигурация разрядной камеры с расположенными в ней электродами, обеспечивающая на поверхности потенциального электрода относительное отклонение напряженности поля от максимальной в пределах единиц процентов. Рекомендации даны на основе численного моделирования различных межэлектродных конфигураций на ЭВМ БЭСМ-6 с применением компилирующей системы КСИ-БЭСМ [3]. Результаты относятся к плоской двумерной модели, т. е. к конструкциям, где продольный размер электрода существенно больше поперечного.

Типичная конструкция для зажигания газовых разрядов включает в себя потенциальный электрод, помещенный внутрь металлической камеры, и соединенный со стенкой заземленный электрод. Задача состоит в том, чтобы обеспечить однородность поля в рабочей части межэлектродного зазора и удалить стенку камеры для предотвращения пробоя с боковой поверхности электрода на стенку. Ясно, что профиль внутреннего потенциального электрода должен описываться плавной кривой с достаточно большими радиусами кривизны.

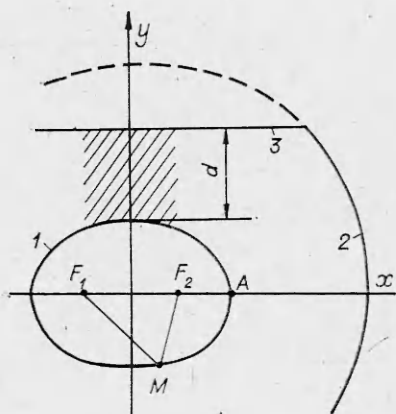
Для оптимизации электродной системы на ЭВМ необходимо как-то ограничить класс возможных варьируемых параметров. Поэтому предлагается профиль внутреннего электрода в виде овала Кассини [4] (рис. 1, кривая 1). Это геометрическое место точек M , обладающих следующим свойством: произведение длин отрезков F_1M и F_2M — величина постоянная a^2 , расстояние между точками F_1 и F_2 , называемых фокусами, равно $2c$. Здесь a и c — параметры кривой. Уравнение овала

$$(1) \quad y^2 = (4c^2x^2 + a^4)^{1/2} - x^2 - c^2.$$

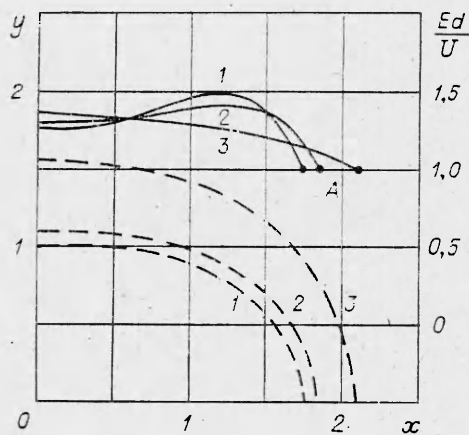
Далее для удобства будем полагать $c = 1$, тогда длина малой полуоси овала равна $(a^2 - 1)^{1/2}$, а большой $(a^2 + 1)^{1/2}$. При $a \gg c$ получим кривую, близкую к окружности.

Рассмотрим систему двух софокусных овалов (кривые 1 и 2 на рис. 1), отличающихся параметром a . Внутренняя поверхность имеет потенциал U , а внешняя — заземлена. Тогда напряженность поля на поверхности кривой 1 будет описываться выражением

$$(2) \quad E_1 = 2U(x^2 + y^2)^{1/2} / [a_1^2 \ln(a_2^2/a_1^2)],$$



Р и с. 1



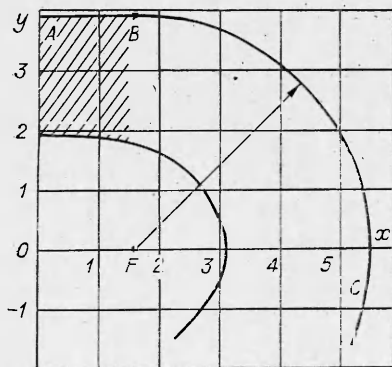
Р и с. 2

где a_1 и a_2 — параметры линий 1 и 2. Из уравнения (2) видно, что напряженность достигает максимума E_m в точке A и логарифмически зависит от параметра a_2 . Если задать значение a_1 и величину E_0 такую, что $E_m \leq E_0$, то из (2) можно определить параметр a_2 , а следовательно, и размер внешней стенки:

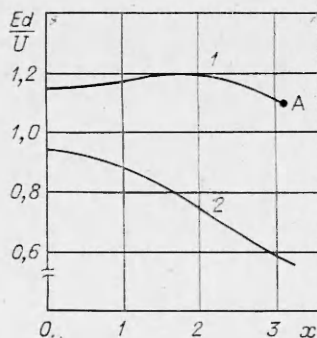
$$(3) \quad a_2 = a_1 \exp [U (a_1^2 + 1)^{1/2} / E_0 a_1^2].$$

Формула (3) использовалась для предварительных оценок при оптимизации системы электродов. В качестве потенциального электрода предлагается брать овал Кассини, а второй заземленный электрод сделать плоским (линия 3 на рис. 1). Межэлектродное расстояние $d = 2c$ такое, что область однородного поля близка к квадратной (заштрихована на рис. 1).

Выбиралось значение a_1 , по формуле (3) определялось a_2 , причем $E_0 = U/d = U/2$. Результаты численного расчета поля на поверхности внутреннего электрода показаны на рис. 2, где профили электродов — штриховые линии, а соответствующие им напряженности поля — сплошные. Если электрод сильно вытянут (линия 1, $a_1^2 = 2$), то на краю рабочей зоны существует значительное усиление поля, с увеличением a_1 неоднородность уменьшается (линия 2, $a_1^2 = 2,3$) и при $a_1^2 = 3,4$ (линия 3) поле близко к однородному. Отметим, что в точке A напряженность всегда ниже, чем в рабочей зоне. Это позволяет ближе придвинуть боковую стенку (кривая 2 на рис. 1) к внутреннему электроду и уменьшить габариты системы. В результате такой оптимизации получена система, которую нетрудно изготовить на практике (рис. 3). Внутренний электрод — овал Кассини с параметрами $c = 1,7$, $a = 2,58$. Его форма задается уравнением (1). Заземленная стенка состоит из плоского участка AB полуши-



Р и с. 3



Р и с. 4

риной $c = 1,7$ и дуги окружности BC радиуса $R = 3,94$ с центром в фокусе овала F . Распределение напряженности электрического поля на поверхности электродов изображено на рис. 4 (1 — на поверхности внутреннего потенциального электрода, 2 — на поверхности внешнего заземленного электрода). Отметим, что поле на внутреннем электроде заметно сильнее, чем на стенке, и вариация напряженности не превышает 5%.

Здесь рассмотрен случай протяженной в направлении z системы электродов, что позволило ограничиться расчетом полей в плоскости xy . Однако при создании конкретной разрядной камеры необходимо выбрать торцевую форму электрода. Из возможных вариантов наиболее простой и плавной является поверхность, образованная вращением овала вокруг его малой оси. Усиление поля на торце можно скомпенсировать удалением торцевой стенки на расстояние $\sim 2d$ от внутреннего электрода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чанг Т. Улучшение профиля электродов, применяемых для создания однородного поля в лазерах с поперечным разрядом и других высоковольтных устройствах. — Приборы для научных исследований, 1973, № 4.
2. Pearson J. S., Harrison J. A. A uniform field electrode for use in a discharge chamber of restricted size: design and performance. — Brit. J. Appl. Phys., 1969, v. 2, p. 77.
3. Ильин В. П. Численные методы решения задач электрооптики. — Новосибирск: Наука, 1974.
4. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. — М.: Наука, 1966.

Поступила 17/VI 1985 г.

УДК 621.365.94

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА МЕЖДУ ШИНАМИ ПЛОСКОГО МК-ГЕНЕРАТОРА

В. П. Исаков, А. С. Нуждов
(Красноярск)

Изучение течения воздуха между сталкивающимися с большой скоростью (порядка нескольких километров в секунду) металлическими пластинами представляет большой интерес в связи с задачами, возникающими при исследовании процессов, происходящих при работе взрывоманитных генераторов, взрывных плазменных компрессоров [1], при сварке взрывом [2]. В результате столкновения пластин перед движущейся точкой контакта создается область ударно-сжатого газа (газовая пробка), размеры которой увеличиваются с ростом расстояния от начала столкновения. Особо сильное влияние нагретый газ должен оказывать на работу цилиндрических взрывоманитных генераторов, поскольку у них нет боковой поверхности, через которую может вытекать газ.

Измерение температуры газа проводилось яркостной методикой по относительному почернению фотопленки при одновременном фотографировании скоростным фоторегистратором источника и эталона [3, 4]. Эталоном служила ударная волна (УВ), возбуждаемая в цилиндрическом канале при взрыве шашки ВВ, постоянство скорости и температуры свечения которой доказано в [5].

В экспериментах, схема которых представлена на рис. 1, детонатор 1, подрывая промежуточный заряд 2, возбуждает детонационную волну в газокумулятивной шашке 3, и образующийся плазменный ступок выталкивается в цилиндрическую трубку 4. Проходящий мимо щелей 5 ступок фотографируется; одновременно с этим с помощью зеркала 6 изображение УВ с торца трубки проецируется через окно 7 взрывной камеры 8 и ступенчатый ослабитель 9 на пленку фоторегистратора 10. Далее, на следующий участок пленки проводится фотографирование свечения пробки газа, сжатого соударяющимися пластинами. Схема экспериментов по фоторегистрату соударения стальных либо дюралюминиевых пластин при их параллельном расположении приведена на рис. 2, где пластина 1 с сечением $100 \times 2,8$ мм металась слоем гексогена 2 толщиной 10 мм на пластину 3 с сечением 80×10 мм. Перед соударением пластины располагались параллельно друг другу с различными зазорами. Свечение области