

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С345e5

Г-52

2/VI-7

9 - 7084

2471/2-73

А.А.Глазов, Ю.М.Мареев, Н.Г.Шакун

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ВАННА

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

9 - 7084

А.А.Глазов, Ю.М.Мареев, Н.Г.Шакур

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ВАННА

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

При исследовании электростатических полей сложной конфигурации до настоящего времени одним из наиболее удобных и точных инструментов является электролитическая ванна /1-8/. Появление прецизионных цифровых вольтметров с высоким входным сопротивлением открыло новые возможности использования электролитических ванн не только и не столько для получения графической картины поля, сколько для подготовки данных расчета движения заряженных частиц в этом поле. Последнее обстоятельство связано с тем, что вольтметры являются аналого-цифровыми преобразователями, и результаты измерений могут поступать либо на цифropечать, либо на перфоратор, либо непосредственно в ЭВМ, давая цифровые значения потенциалов в узлах удобной для расчета полей координатной сетки.

Универсальность электролитической ванны с цифровым вольтметром в качестве измерительного устройства обусловила выбор этой схемы для автоматической электролитической ванны Отдела новых ускорителей ЛЯП.

Проблема создания прецизионной системы перемещения зонда была решена путем использования двухкоординатного регистрирующего прибора ДРП-1 в качестве основы установки.

В плите ДРП, где раньше крепилась бумага, был сделан вырез и в нем размещена ванна размером 580 x 380 x 300 мм³. Вместо пера на каретке ДРП установлено устройство для крепления зонда. Механика перемещения каретки с зондом оставлена почти без изменения.

Измерения ведутся в декартовой системе координат. Сканирование поля зондом осуществляется при его равномерном движении по оси X и дискретном по оси Y, когда полный проход вдоль X завершается изменением координаты по Y.

Равномерное движение каретки вдоль оси X достигается с помощью дополнительного двигателя с редуктором РД-09, скорость вращения которого меняется в соответствии с величиной подводимого напряжения от автотрансформатора.

Переменное напряжение, снимаемое зондом, выпрямляется на конверторе ТР-1751 /Венгрия/ с входным сопротивлением не менее 1 *Мом* и замеряется пятиразрядным цифровым вольтметром ТР-6515 /Япония/, имеющим прямой выход на цифropечать, либо перфоратор.

Запуск вольтметра на измерение осуществляется с помощью электромеханической системы, связанной с конструкцией ванны.

Контакт запуска укреплен непосредственно на каретке. Он замыкается от соприкосновения с витками проволоки, навитой на металлическом стержне, установленном неподвижно на плите ДРП. Шаг витков /5,0 мм и 2,5 мм/ определяет шаг измерения поля вдоль оси X . Импульс от этого контакта, сформированный с помощью схемы на реле и триггере Шмидта, запускает одновибраторы из стандартных ячеек от БЭСМ-6, формирующие два запускающих вольтметр импульса длительностью 500 мксек и сдвинутых относительно друг друга на 0,6 мсек. При приходе первого импульса вольтметр подключен на измерение координаты, а при приходе 2-го импульса - на измерение поля. Переключение осуществляется с помощью реле, причем на время его коммутации, до 50 мсек, импульсы непосредственного запуска вольтметра задерживаются. Задержка необходима, чтобы измерения не попадали на фронты напряжений.

Для сопоставления точки измерения с координатой используется напряжение с движка прецизионного проволочного потенциометра, положение которого однозначно связано с перемещением каретки вдоль оси X .

Цифровой вольтметр устанавливается в режим автоматического выбора шкалы измерения. В том случае, когда напряжение на потенциометре приходится на границу шкалы, время отсчета заметно затягивается. Чтобы этого не происходило, напряжения выбираются укладываемыми в пределах одной рабочей шкалы.

Перемещаемыми контактными группами можно задавать зону движения каретки в направлении оси X . При касании их кареткой срабатывает блок реверса, меняется направление вращения двигателя и каретка с зондом движется в обратном направлении.

Дискретное перемещение зонда вдоль оси Y осуществляется с использованием следящей системы от ДРП, на вход которой подается ступенчатое напряжение. Это напряжение получается путем деления опорного стабилизированного напряжения на автоматическом делителе сопротивлений. Коэффициент деления может задаваться в пределах до 100. Для согласования входа следящей системы с выходом делителя применен катодный повторитель, состоящий из двух ламп, первая из которых для увеличения входного сопротивления работает в режиме малых токов.

Срабатывание автоматического делителя сопротивлений происходит в момент изменения направления движения каретки по X .

В схеме делителя применены реле РЭС-9 /25 шт./ и РЭС-52 /2 шт./. Напряжение делится на сопротивлениях типа СП-5-0,05 с линейностью не хуже 0,5%.

Напряжение с автоматического делителя сопротивлений может быть выдано как в виде спадающей ступеньки, так и в виде возрастающей, причем любой полярности. Благодаря этому, а также тому, что возможно смещать нулевое положение зонда путем изменения опорного напряжения на следящей системе, можно свободно выбирать область перемещения зонда по Y , а также легко задавать шаг сдвига.

При движении каретки вдоль X -направления, X -координата точки запуска вольтметра отстоит от X координаты точки измерения поля из-за необходимых задержек на срабатывание автоматики. Разница тем больше, чем больше скорость передвижения каретки. Время задержки известно, и, измерив скорость передвижения каретки, легко найти эту разницу. Обычно она не превышает 0,5 мм.

С помощью автоматической электролитической ванны процесс измерения можно вести двумя способами.

Первый из них предполагает следующую последовательность действий:

Измерение при движении каретки по X вправо - сдвиг по Y - измерение при движении каретки по X влево - сдвиг по Y - измерение при движении каретки по X вправо и т.д.

Из-за указанных ранее задержек, при такой последовательности X - координаты точек измерения поля будут отличаться при движении каретки вправо от X - координат тех же точек, но при движении каретки влево. К недостатку такого способа можно отнести еще то, что участок порядка 15 мм, движения каретки по X сразу после поворота используется для установки нового положения по Y, т.е. фактически из измерений выпадает.

Для быстрых прикидочных измерений поля, когда точность фиксирования точки измерения может быть в пределах $\pm 0,5$ мм, можно использовать этот способ измерения.

Второй способ измерения поля предполагает следующую последовательность действий, резко повысившую точность:

Измерение при движении каретки по X вправо - сдвиг по Y - установка зонда при движении каретки по X влево - измерение при движении каретки по X вправо и т.д.

В этом случае X координаты точек измерения поля накладываются друг на друга при любом заходе на измерение.

Установка зонда по Y-координате в крайних положениях каретки происходит в момент, когда измерение не ведется. Координата фиксируется в этом случае с точностью не хуже $\pm 0,05$ мм.

На время измерений следящая система, посредством которой осуществляется сдвиг по Y, отключается.

Электроды и зонд выполнены из нержавеющей стали. Диаметр зонда - 0,5 мм. Электролитом служит обычная водопроводная вода, удельное сопротивление которой в рассматриваемом случае составляет около 3000 ом.см.

На помещенные в электролит электроды подается переменное напряжение с частотой 1000 гц и амплитудой 1 в от генератора звуковых частот ГЗ-33.

Общий вид установки показан на рис. 1.

Калибровочные эксперименты с ванной проводились на модели цилиндрического конденсатора, распределение потенциала в поперечном сечении которого дается соотношением:

$$\frac{V(r)}{\ln(r/R_{\text{внутр}})} = \frac{V_0}{\ln(R_{\text{нар.}}/R_{\text{внутр}})} = \text{const.}$$

Оказалось, что отклонение экспериментальных данных от расчетных составляет менее одного процента, если исключить приграничный слой / 5 мм/, где уже начинают сказываться менисковые явления. Наибольшую погрешность в измерения вносит дрейф амплитуды генератора, который составляет приблизительно 10 мв в час при напряжении 1 в. Это означает, что для измерения поля с точностью 1%, необходимо, чтобы время эксперимента не превышало 1 часа.

Моделирование электрических полей центральной области ускорителя У-120М и установки "Ф"

С помощью автоматической электролитической ванны моделировались поля центра ускорителя У-120М и центра установки "Ф". За основу были взяты наиболее вероятные размеры будущих установок. Вид макета можно видеть на фотографии рис. 2.

Электрические поля снимались с шагом 5 мм по X и 5 мм по Y. На рис. 3 показан один из результатов измерения электрического поля установки "Ф", представленный в графической обработке. Линии на графике показывают потенциал в точках равномерного прохождения зондом параллельно оси X с фиксированным значением Y. Переход зонда вдоль оси Y на шаг соответствует новой линии.

Анализ электрических полей центральных областей, снятых на электролитической ванне, привел к следующим практическим выводам:

Электрическое поле в щели между филерами можно считать однородным, начиная с расстояния 75 мм от конного источника для обеих машин.

Если расстояние в горизонтальной плоскости между филерами 40 мм для установки У-120 М и 50 мм для установки "Ф", то вследствие провисания поля внутрь, эффективная ширина щели для У-120 М равна 60 мм, а для установки "Ф" 70 мм.

В области, казалось бы, однородного электрического поля значение E_x падает при приближении к заземленному электроду. Это объясняется тем, что часть силовых линий идет не к заземленному филеру, а к крышке вакуумной камеры, имеющей тоже нулевой потенциал.

Отдельно моделировался участок между пуллером и источником ионов, в масштабе 4 : 1. Размеры пуллера были выбраны на основе анализа расчетных траекторий движения частиц, при условии однородности электрического и магнитного полей. На модели изучалось влияние на электрическое поле размеров вводного окна пуллера, а также расстояния от пуллера до источника ионов.

На рис. 4 представлен один из результатов таких экспериментов.

Как и предполагалось, вариация размеров окна отразилась на глубине провисания потенциала близ окна, в результате чего менялись как E_x , так и E_y -компоненты электрического поля.

Наряду с исследованиями электрического поля в центральной области установки "Ф" и У-120М, на автоматической электролитической ванне исследовались поля электростатических выводных систем и распределение поля в районе расположения петли связи ВЧ системы У-120М.

Использование ванны позволило во всех случаях быстро получить результаты, удобные для анализа и обработки.

В качестве дальнейшего развития метода предполагается задействование ванны в системе с ЭВМ Напри-2 для решения как чисто полевых задач, так и задач по движению заряженных частиц в поле электродов заданной конфигурации.

Литература

1. И.М.Тетельбаум. Электрическое моделирование. М., 1959.
2. В.М.Кельман, С.Я.Явор. Электронная оптика. М., 1968.
3. У.Карплюс. Моделирующие устройства для решения задач теории поля. М., 1962.
4. K.F.Sander, J.G.Yates. The Accurate Mapping of Electrical Fields in an Electrolytic Tank. Proc. IEEE, 100, p. 167 (1953).
5. K.F.Sander, J.G.Yates. A New Form of Electrolytic Tank. Proc. IEEE, 104C, p. 81 (1957).
6. H.I.Pizer, J.G.Yates, K.F.Sander. An Automatic Trajectory Tracer. J.Electronics and Control. 2, p. 65 (1956).
7. E.R.Hartill. The Use of a Deep Electrolytic Tank for the Solution of Field Problems in Engineering, part. 1, Electr.Energy., 2, p. 118 (1958).
8. D.L.Holloway. An Electrolytic Tank Equipment for the Determination of Electron Trajectories, Potential and Gradient. Proc. IEEE, 103B, p.155 (1956).

Рукопись поступила в издательский отдел
19 апреля 1973 года.

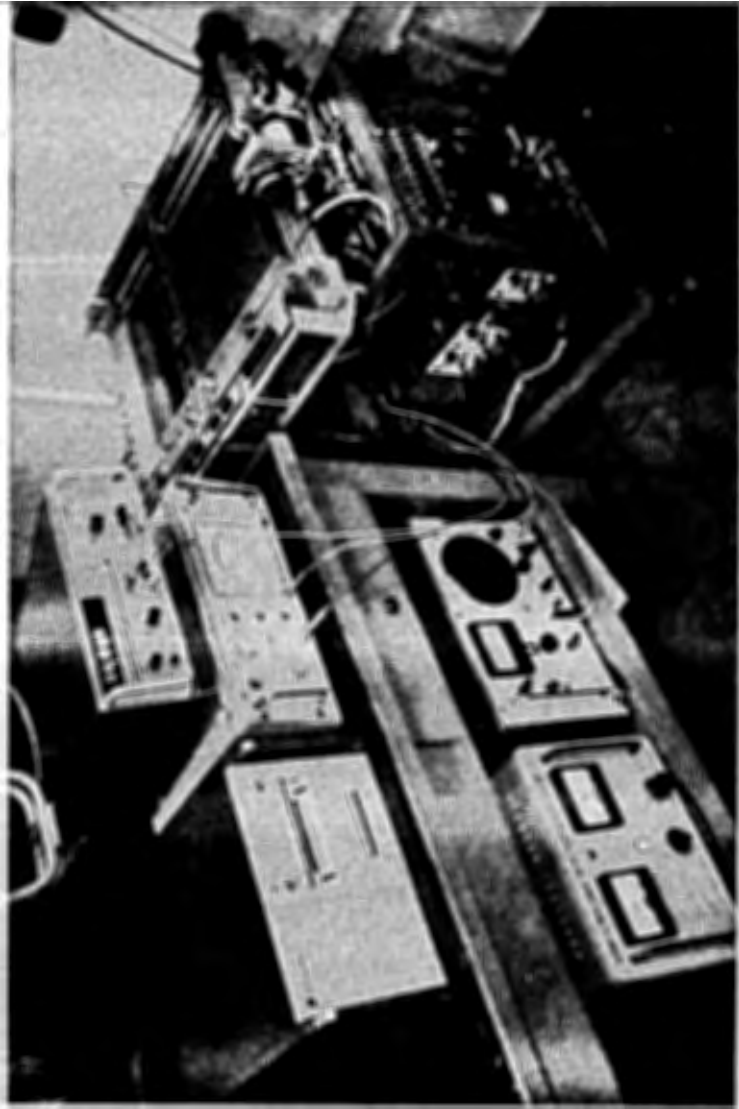


Рис. 1. Общий вид автоматической электролитической ванны.

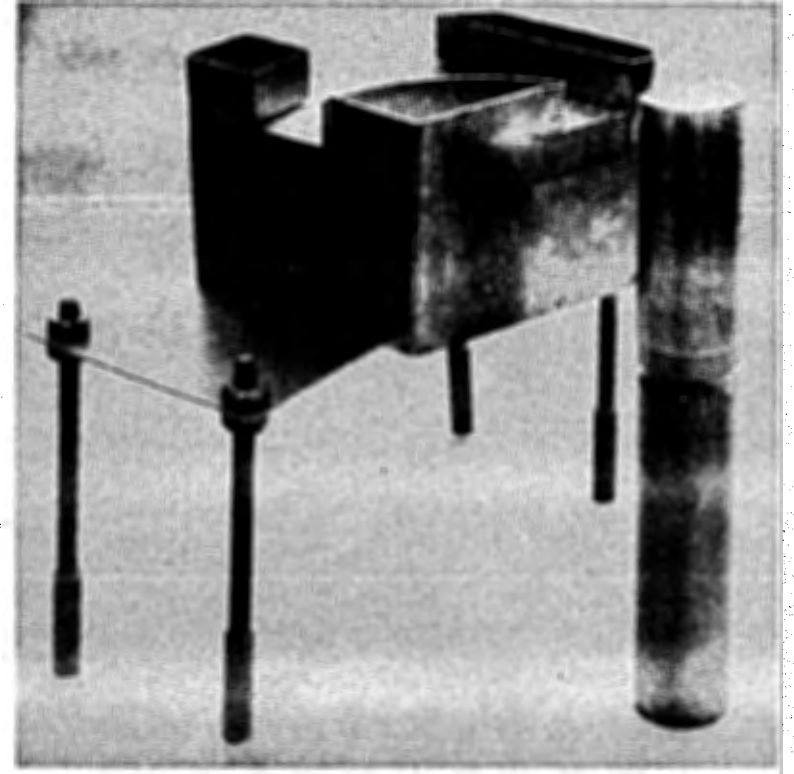


Рис. 2. Система электродов. Модель центра ускорителя У-120 М.

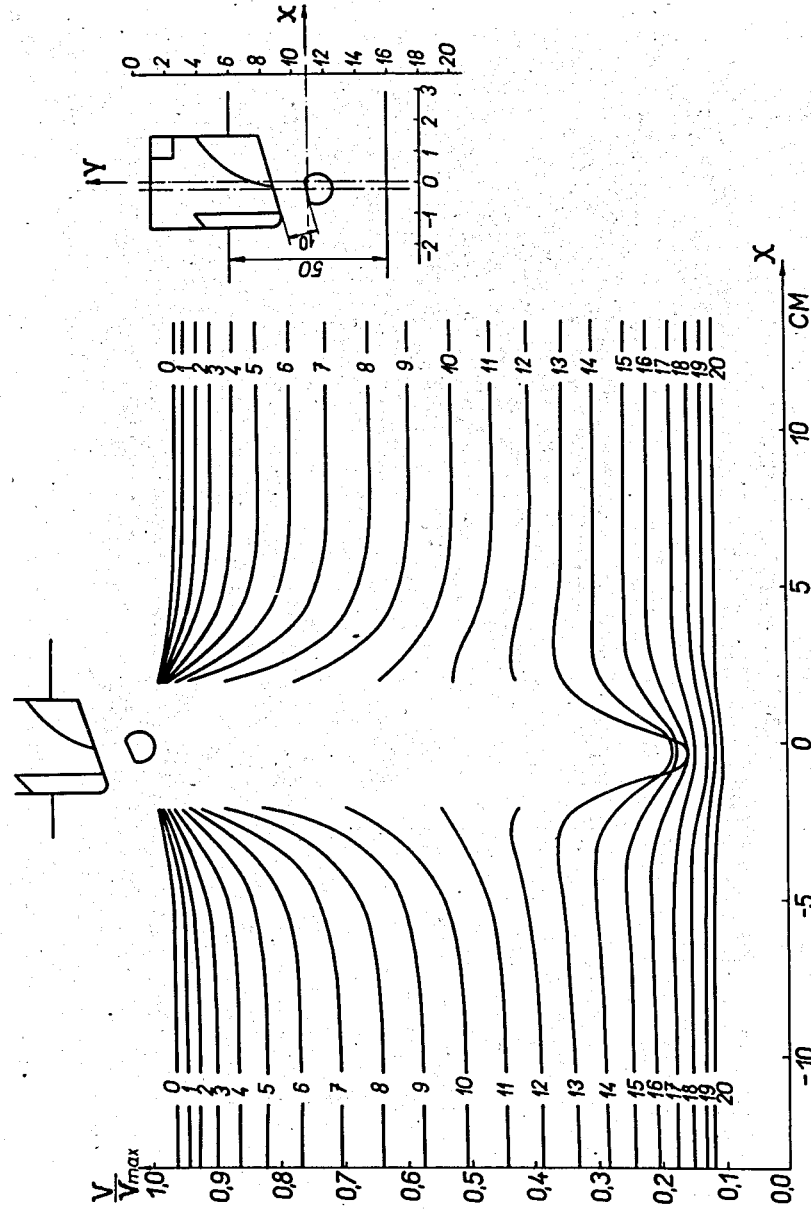


Рис. 3. Электрическое поле в медянной плоскости между дуантом и противодуантной рамкой. Апертура дуанта 50 мм.

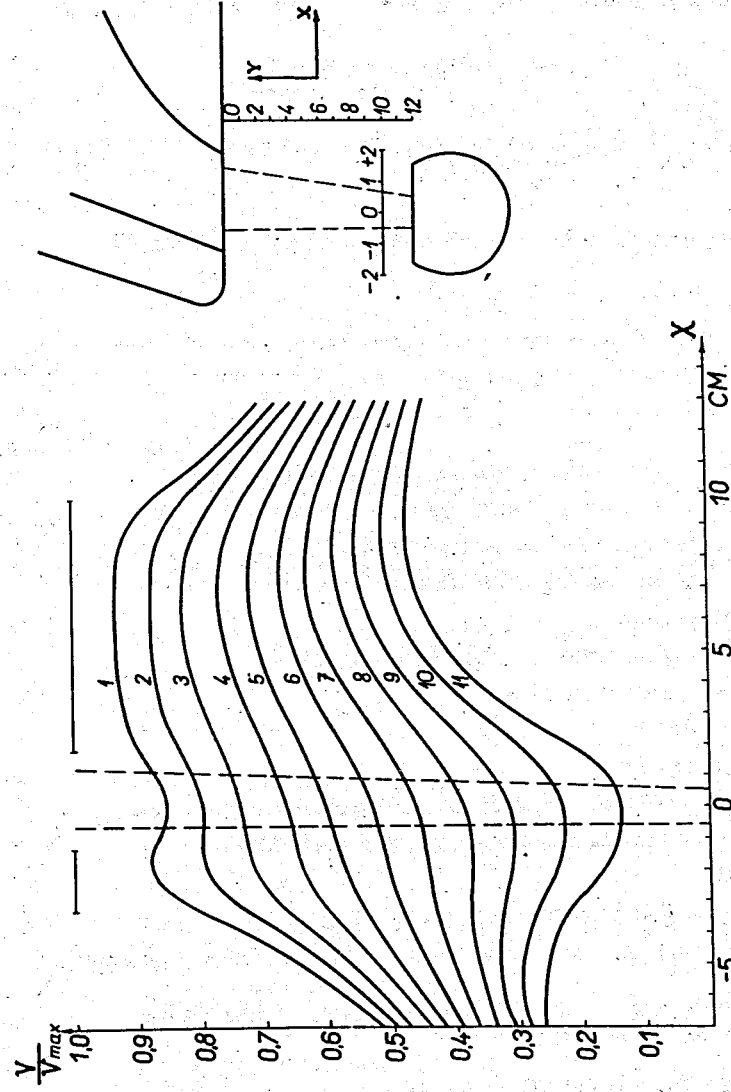


Рис. 4. Электрическое поле в медянной плоскости между нонным источником и пуллером. Высота щели в пуллере - 20 мм, диаметр источника - 10 мм.