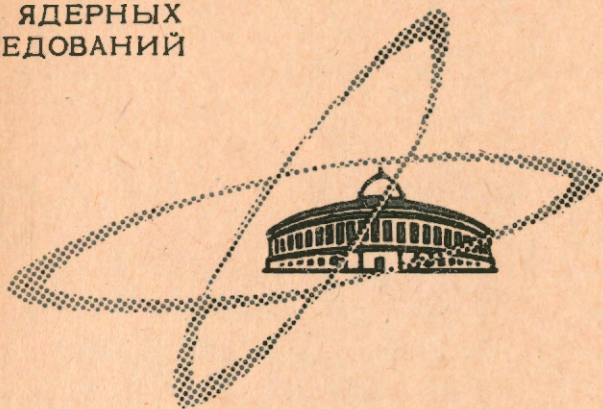


ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2844



З.Д. Гришквив, А.Д. Педан, В.Н. Шкунденков

ФОКУСИРУЮЩЕ-ОТКЛОНЯЮЩИЙ КОМПЛЕКС
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ
СКАНИРУЮЩЕГО АВТОМАТА ДЛЯ ОБМЕРА
ФОТОСНИМКОВ С ИСКРОВЫХ КАМЕР

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1966

З.Д. Грицкий, А.Д. Педан, В.Н. Шкунденков

ФОКУСИРУЮЩЕ-ОТКЛОНЯЮЩИЙ КОМПЛЕКС
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ
СКАНИРУЮЩЕГО АВТОМАТА ДЛЯ ОБМЕРА
ФОТОСНИМКОВ С ИСКРОВЫХ КАМЕР

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

В в е д е н и е

В настоящее время в экспериментальной ядерной физике для регистрации ядерных процессов все более широкое применение находит методика, основанная на использовании различных трековых камер. Большой поток информации с этих камер в виде фото - снимков делает актуальным вопрос о создании сканирующего автомата по их обмеру. Одним из перспективных решений данного вопроса является создание сканирующего автомата, основанного на использовании электронно-лучевой трубки по методу бегущего луча. Принцип действия такого автомата поясняется рис. 1. На экране электронно-лучевой трубки формируется световое пятно, образующее при перемещении телевизионный растр. С помощью фотообъектива световое пятно проецируется на исследуемый кадр фотопленки, а затем свет конденсорной линзой собирается на фотоэлектронном умножителе. При пересечении перемещающегося светового пятна с изображением трека на фотоснимке резко меняется количество света, попадающего на ФЭУ, и на выходе последнего формируется электрический сигнал. Используя этот сигнал, осуществляют тем или иным способом измерение координат точки пересечения^{4-8/}, и затем эти данные передаются для обработки в электронную вычислительную машину.

В данной работе рассматривается один из основных вопросов создания такого автомата - формирование сканирующего светового пятна достаточно малых размеров по всему растру (по всему исследуемому полю фотоснимка). Ввиду сложности этого вопроса на первом этапе внимание было направлено на решение простейшей задачи: на обмер фотоснимков с искровых камер, размер которых, как правило, не превышает $18 \times 24 \text{ мм}^2$. Требуемое разрешение при этом соответствует 30-40 телевизионным линиям на $\text{мм}^{1/8/}$, т.е. диаметр светового пятна должен быть порядка 25-30 мкм). Решение такой задачи может быть осуществлено путем использования электронно-лучевой трубки высокого разрешения и создания специального фокусирующе-отклоняющего комплекса.

Фокусирующе-отклоняющий комплекс электронно-лучевой трубки сканирующего автомата для обмера фотоснимков с искровых камер

Процесс фокусировки и отклонения луча в электронно-лучевых трубках связан с возникновением искажений формы раstra, а также с изменением формы и размеров светящегося пятна. Последнее вызывает снижение разрешающей способности электронно-лучевой трубки, т.е. уменьшает количество информации, которая может быть считана с экрана трубки. Поэтому фокусирующе-отклоняющий комплекс электронно-лучевой трубки с высокой разрешающей способностью должен выполняться таким образом, чтобы, с одной стороны, вносимые им искажения были минимальными, с другой — чтобы в нем была предусмотрена возможность коррекции неизбежно возникающих искажений. Следует учитывать, что условия устранения различных искажений, как правило, не совпадают.

Ниже приводится описание фокусирующе-отклоняющего комплекса электронно-лучевой трубки сканирующего автомата для обмера фотоснимков с искровых камер. В автомате применена трубка с магнитными фокусировкой и отклонением пучка.

Основным элементом комплекса, обеспечивающим высокую разрешающую способность трубки, является главная фокусирующая линза или катушка фокусировки (КФ). Она должна обеспечивать создание в центре экрана трубки светящегося пятна минимального размера. Форма пятна должна максимально приближаться к кругу. КФ представляет собой многослойную цилиндрическую катушку, которая с целью повышения эффективности и уменьшения протяженности фокусирующего поля помещена в экран из магнитомягкого материала. Весьма существенна точность изготовления экрана. При нарушении аксиальной симметрии экрана возникает характерный вид искажений сфокусированного пятна — так называемый присевоидный астигматизм, проявляющийся в том, что пятно на экране имеет форму эллипса или штриха. При этом существует в пространстве изображения плоскость, в которой пятно имеет круглую форму (плоскость средней кривизны), однако диаметр пятна в этой плоскости больше получаемого при отсутствии присевоидного астигматизма. Исследования показали, например, что непостоянство зазора линзы диаметром 40 мм по периметру в 0,25 мм при ширине зазора 15 мм приводит к возникновению заметного присевоидного астигматизма, в результате чего диаметр пятна в плоскости средней кривизны возрастает почти в 2 раза. Аналогичные искажения вызывает неточность сборки электронной пушки.

Поскольку точность изготовления экрана и сборки электронной пушки всегда ограничены, целесообразно введение в фокусирующе-отклоняющий комплекс элемента для коррекции астигматизма фокусировки. В рассматриваемом комплексе эта коррекция выполняется с помощью стигматора в виде магнитной квадрупольной линзы, питаемой постоянным током соответственно подобранной величины. Конструктивно стигматор может

быть расположен как в области зазора КФ, так и вне ее. Для коррекции астигматизма необходимо не только подбирать величину тока в стигматоре, но также изменять ориентацию плоскостей симметрии и антисимметрии квадрупольной линзы относительно пучка, или, иными словами, поворачивать квадрупольное поле вокруг его оси. Это можно осуществить простым механическим поворотом стигматора вокруг оси на требуемый угол (как это сделано в автомате) или электрически. В последнем случае стигматор выполняется в виде двух совмещенных квадрупольных со взаимно повернутыми на 45° плоскостями симметрии. Соответствующее изменение величин и направлений токов в каждом из квадрупольных позволяет осуществить поворот поля в пределах $0^\circ - 360^\circ$.

Важным является также вопрос взаимной юстировки пучка и КФ. При отсутствии юстировки (несоосность фокусирующего поля и пучка) возникают искажения типа "кома": пятно на экране принимает форму, близкую к треугольнику, и возрастает в размере ^{/3/}. Измерения показали, что, например, взаимное смещение оси пучка и оси КФ на 1,5 мм при сохранении их параллельности приводит к увеличению размера пятна в 1,5 раза. К такому же увеличению размера пятна приводит взаимный перекося осей в 1° .

Обычно применяемый способ юстировки КФ состоит в соответствующем механическом перемещении катушки относительно луча. В описываемом комплексе применен электрический способ юстировки, в котором, собственно, луч юстируется относительно КФ. Это значительно упрощает систему юстировки. Способ заключается в применении двух коротких отклоняющих систем, расположенных на горловине трубки в области между электронной пушкой и КФ. Каждая из систем состоит из двух пар катушек, питаемых регулируемым по величине и направлению постоянными токами и осуществляющих отклонение пучка в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Направления и величины токов в первой (по ходу пучка) системе подбираются так, чтобы пучок пересекал ось КФ в области второй отклоняющей системы юстировки. Соответствующий подбор направлений и величин токов во второй системе позволяет совместить ось пучка с осью КФ, т.е. сфокусировать пучок относительно КФ. Контроль качества юстировки осуществляется известным способом по картинке на экране трубки ^{/1/}.

Вторым основным элементом комплекса является отклоняющая система. Она определяет собой геометрические искажения раstra, нелинейные искажения изображения, а также разрешающую способность трубки, поскольку вносит искажения в форму и размеры отклоненного светящегося пятна. Известно, что характер и величина этих искажений зависят в основном от закона распределения ампервитков по периметру отклоняющей системы ^{/2/}. Однако подобранное распределение ампервитков, например с точки зрения геометрии раstra, не является оптимальным с точки зрения искажений формы и размеров пятна.

В рассматриваемом комплексе распределение ампервитков подобрано с точки зрения

обеспечения правильной геометрии раstra. При этом возникли искажения формы пятна, известные под названием "астигматизм отклонения". Эти искажения аналогичны астигматизму фокусирующей системы, т.е. проявляются в образовании на экране трубки штрихового фокуса. При этом с изменением угла и направления отклонения пучка изменяется величина штрихового фокуса и его ориентация относительно осей раstra. Естественно, что для коррекции астигматизма отклонения может быть применен стигматор. Однако при этом он должен работать в "динамическом" режиме, т.е. соответственно подобранные по форме и величине токи в катушках стигматора должны изменяться синхронно и сдвинуто с развертками и обеспечивать как соответствующее изменение напряженности поля квадруполья, так и его поворот на требуемый угол. В качестве "динамического стигматора" можно применить описанный выше стигматор в виде квадрупольной линзы. Поворот плоскостей симметрии и антисимметрии также можно осуществлять механически или путем применения двух сдвинутых на 45° квадрупольных линз, питаемых соответственно подобранными по амплитуде токами коррекции. Исследования показали, что для эффективной коррекции астигматизма отклонения величина корректирующего поля должна изменяться по закону, близкому к параболическому. В простейшем случае коррекцию можно осуществить, используя ток в виде синусоидальных полуволи. Форма тока, обеспечивающая соответствующий поворот поля стигматора, близка к пилообразной. Применение динамического стигматора позволяет практически полностью устранить астигматизм отклонения. Второй вид искажений формы пятна при отклонении пучка — "кома отклонения" — оказывает незначительное влияние на разрешающую способность трубки.

В автомате применена динамическая коррекция астигматизма строчного отклонения и статическая коррекция астигматизма кадрового отклонения. Коррекция астигматизма строчного отклонения осуществляется с помощью двух параллельных квадрупольных линз, одна из которых питается синусоидальным током, синхронным и сдвинуто с разверткой, вторая — постоянным током, величина и направление которого подбираются так, чтобы суммарная напряженность полей от обеих квадрупольей при прохождении лучом центра экрана равнялась нулю. Коррекция астигматизма кадрового отклонения осуществляется с помощью квадрупольной линзы, питаемой постоянным током, величина которого подбирается так, чтобы обеспечивалась максимальная равномерность разрешающей способности по полю раstra. Ориентация стигматоров как строчного, так и кадрового отклонений осуществляется механически.

Отметим, что закон распределения ампервитков по периметру отклоняющей системы определяет собой также нелинейные искажения разверток (дисторсия отклонения). Устранение влияния дисторсии отклонения на точность измерения координат осуществляется в автомате благодаря использованию специальной системы координатных решеток ^{/8/}, а также путем внесения сравнительно небольшого числа поправок в работу вычислительной машины ^{/5/}.

Как и в случае фокусирующей системы, важным моментом при настройке комплекса является юстировка отклоняющей системы. При несовпадении оси неотклоняемого пучка с осью отклоняющей системы возможны значительные искажения формы светящегося пятна, что приводит к резким изменениям разрешающей способности в различных частях экрана трубки ^{/3/}. С целью обеспечения юстировки отклоняющая система может крепиться жестко к КФ, которая юстируется, как указывалось выше. Более точная юстировка возможна при отдельном закреплении отклоняющей системы, обеспечивающем ее перемещение относительно пучка. В автомате осуществлен первый вариант юстировки.

Следующим элементом фокусирующе-отклоняющего комплекса является применение динамической фокусировки. В электронно-лучевых трубках с отклоняемым пучком существует поверхность оптимальной фокусировки, т.е. поверхность, в которой пятно имеет минимальные размеры. Как правило, эта поверхность не совпадает с плоскостью экрана, следовательно, разрешающая способность трубки по полю экрана оказывается ниже той, которая могла бы быть обеспечена при данных КФ и отклоняющей системе. Для устранения этого недостатка и вводится динамическая, т.е. синхронная и сдвинуто с развертками, фокусировка пучка. Форма сигнала динамической фокусировки в первом приближении совпадает с формой тока динамического стигматора (параболическая или в виде синусоидальных полуволи с частотой развертки). Более точное выполнение динамической фокусировки может потребовать также периодического с кадровой частотой изменения амплитуды строчного сигнала.

В связи с незначительностью угла отклонения по кадру в описываемом автомате применена только строчная динамическая фокусировка. Синусоидальная форма тока динамической фокусировки и сравнительно низкая частота строчной развертки (100 гц) позволили завести сигнал динамической фокусировки непосредственно в КФ.

Следует отметить, что применение токов синусоидальной формы для коррекции астигматизма строчного отклонения и для строчной динамической фокусировки существенно упрощает схемы формирования корректирующих токов. Правда, это вызывает необходимость делать обратный ход развертки равным прямому, что увеличивает время обмера фотоснимка. Однако, с другой стороны, длинный обратный ход позволяет вводить считанную на прямом ходу информацию в вычислительную машину за время обратного хода, что значительно сокращает объем промежуточной памяти автомата.

Подбирая соответствующим образом фазу синусоидального тока коррекции (что также является сравнительно легко осуществимым), можно в определенных пределах компенсировать механический перекус системы.

Последним элементом комплекса, выполняющим вспомогательную роль, является магнит вывода пучка трубки. Он размещается в области электронной пушки таким образом, чтобы обеспечить максимальную яркость нефокусированного неотклоняемого пятна

на экране трубки при равномерной засветке всех его участков. Магнит может быть заменен короткой отклоняющей системой с двумя парами катушек, отклоняющими пучок в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Оптимальное прохождение пучка через диафрагму пушки в этом случае обеспечивается соответствующим подбором величин и направлений токов в каждой из пар катушек. В автомате применен первый вариант.

Несколько замечаний о размещении элементов комплекса. Положение отклоняющих систем юстировки и стигматоров не критично. Выбор положения КФ требует компромиссного решения. Уменьшение расстояния между отклоняющей системой и КФ позволяет увеличить разрешающую способность в центре экрана. При этом снижается разрешающая способность по краям экрана трубки, что обусловлено увеличением диаметра пучка в области отклонения, а также возникновением искажений за счет взаимного наложения фокусирующего и отклоняющего полей^{/3/}. В рассматриваемом комплексе расстояние между отклоняющей системой и КФ имеет порядок 20-30 мм. КФ и жестко связанная с ней отклоняющая система закреплены независимо от горловины трубки, причем преследуется цель выставить их ось строго перпендикулярно плоскости экрана трубки. Объясняется это тем, что при изготовлении электронно-лучевых трубок допуск на отклонение оси горловины от оси, перпендикулярной плоскости экрана, превышает допустимое значение.

Эффект от введения некоторых корректирующих элементов иллюстрируется рис. 2, на котором представлены фотографии увеличенного примерно в 30 раз изображения светового пятна при его отклонении по строке на +30 мм от центра экрана. Верхняя строка "а" рисунка относится к случаю, когда все виды коррекции фокусирующе-отклоняющего комплекса отсутствуют. Неотклоненное пятно соответствует изображению в плоскости средней кривизны фокусирующей линзы. Строка "б" соответствует введению динамической фокусировки. Строка "в" - введению динамической фокусировки, стигматора фокусирующей линзы, а также динамического стигматора строчного отклонения.

Описанный фокусирующе-отклоняющий комплекс представлен на рис. 3. Применение его при размере раstra $30 \times 40 \text{ мм}^2$ позволило получить разрешающую способность, соответствующую 33 телевизионным линиям на мм при 30-40% глубине модуляции. Эти измерения осуществлялись по схеме рис. 1 с применением специального репродукционного фотообъектива и заменой фотоленки штриховой решеткой, представляющей собой набор чередующихся прозрачных и непрозрачных реперных линий шириной 30 мкм. Масштаб передачи изображения при этом соответствовал 1 : 1. В автомате использован фотообъектив "Юпитер -9", позволивший получить то же разрешение при уменьшении изображения раstra в 1,5 раза (автомат рассчитан на обмер фотоснимков площадью $18 \times 24 \text{ мм}^2$). На рис. 4 приведена фотография описанного узла автомата, включающего электронно-лучевую трубку с фокусирующе-отклоняющим комплексом.

Л и т е р а т у р а

1. Электронно-лучевые трубки и индикаторы. Т. 1, "Сов. радио", М., 1948.
2. K.Schlesinger. Anastigmatic Yokes for Picture Tubes, Electronics, 22, no 10 (1949).
3. В. Глазер. Основы электронной оптики. ГИТТЛ, М., 1957.
4. G.R.Macleod. Nuclear Instruments and Methods, 20 (1963).
5. Y.Goldschmidt-Clermont. Preprint, E-1806, Dubna, 1964.
6. В.Н. Шкуяденков. Преприят ОИЯИ, P-2057, Дубна, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 августа 1966 г.

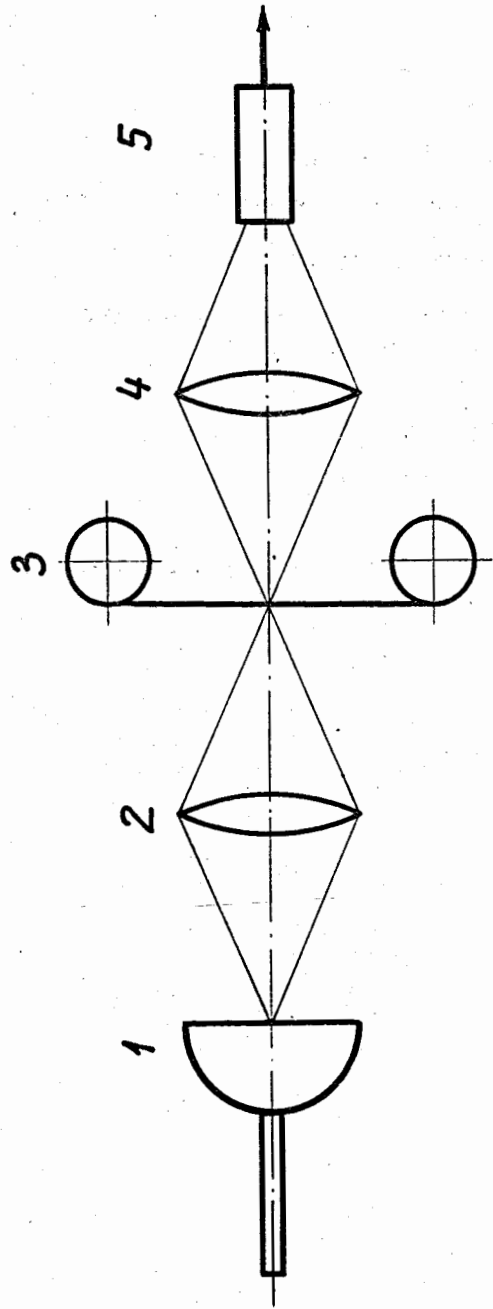


Рис. 1.

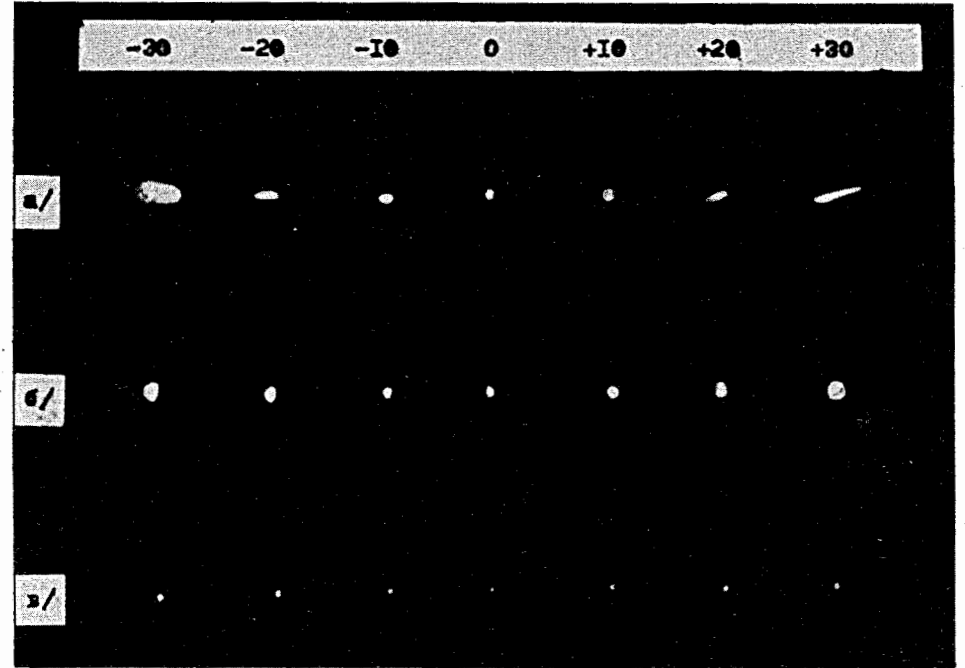


Рис. 2.

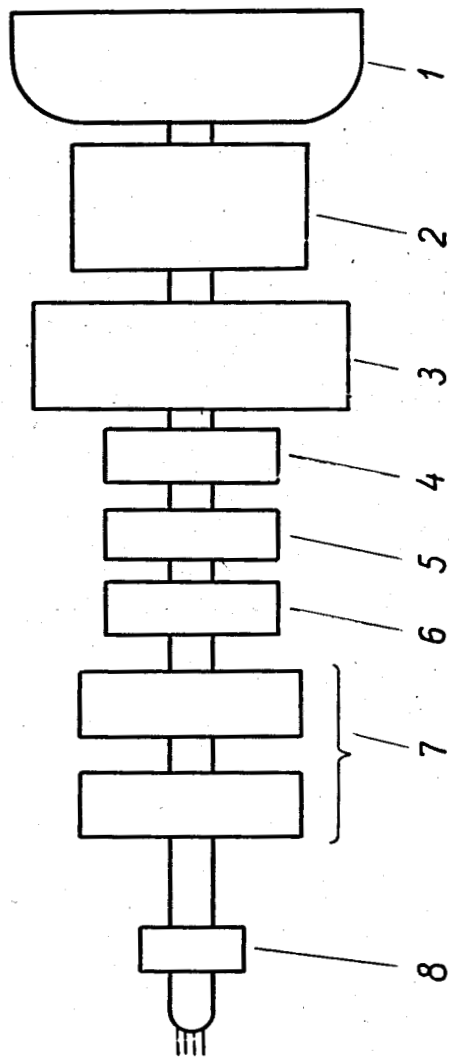


Рис. 3. 1-Электронно-лучевая трубка; 2-отклоняющая система; 3-фокусирующая катушка (КФ); 4-стигматор КФ; 5-стигматор строчного отклонения; 6-стигматор кадрового отклонения; 7-отклоняющие системы юстировки; 8-магнит вывода электронного пучка трубки.

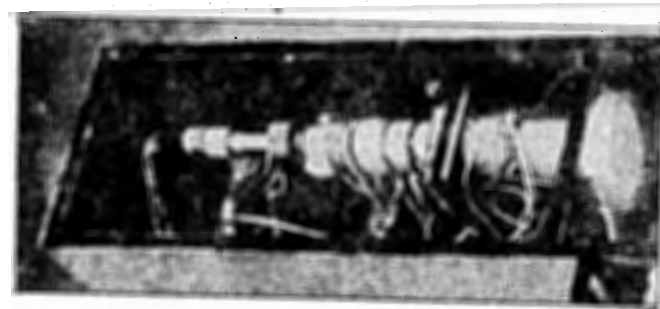


Рис. 4.