

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



Ц848
К-736

31.11-75

10 - 8193

В.М.Котов, А.Е.Селиванов, М.В.Цхварадзе

466/2-75

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ БЛОКИ
СПИРАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ
(ХУ-СТОЛ. КОНТРОЛЛЕР И АЛГОРИТМЫ
УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ)

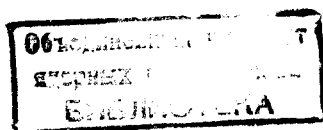
1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

10 - 8193

В.М.Котов, А.Е.Селиванов, М.В.Цхварадзе

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ БЛОКИ
СПИРАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ
(ХУ -СТОЛ. КОНТРОЛЛЕР И АЛГОРИТМЫ
УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ)**



ВВЕДЕНИЕ

Весь комплекс аппаратуры СИ /1/ может быть представлен в виде четырех больших функциональных блоков, каждый из которых состоит из нескольких подблоков вместе со своими контроллерами и программами управления, входящими в операционную систему (ОС). (Например, фильмопротяжное устройство /2/ включает в себя: механизм смены проекций, 4 отдельных лентопротяжных механизма, каждый из них имеет свой контроллер, систему датчиков и обслуживается набором подпрограмм библиотеки ОС).

Измерительный стол XY

Наиболее сложным из функциональных блоков является измерительный стол XY вместе с устройством, называемым "Шар перемещения", которое используется оператором для управления движением измерительного стола (называемого в дальнейшем XY-стол). XY-стол — один из основных блоков СИ, имеет достаточно развитые контроллеры, и большой комплекс программ управления операционной системы отведен для обслуживания его заявок.

XY-стол имеет две независимые каретки, которые могут перемещаться по двум взаимно-перпендикулярным направлениям (общий вид измерительного стола представлен на рис.1). Управление движением XY-стола осуществляется в следующих режимах:

— в полностью автоматическом режиме, когда не только скорость перемещения и все дальнейшее изменение её величины, но и вычисленные расстояния, на которое надо переместить стол, производится программой управления;

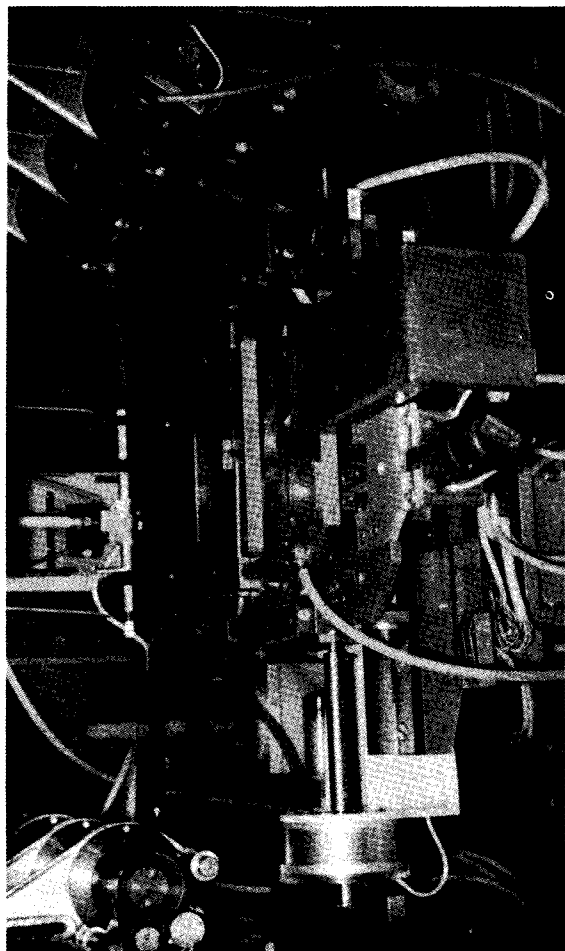


Рис. 1.

- в частично автоматизированном, следящем режиме, при котором программа управления "отслеживает" скорость, задаваемую оператором при помощи шара перемещения, но величина скорости и расстояние, на которое надо передвинуть стол, задается оператором;

- в полностью ручном режиме, осуществляемом при помощи кнопок на блоке усилителей сервоприводов.

Перед тем, как обсуждать работу XY-стола в перечисленных выше режимах, рассмотрим структурную схему этого блока, которая приведена на рис.2.

Перемещение кареток XY-стола по направляющим осуществляется при помощи пары "гайка-винт", микрометрический винт каждой такой пары связан с валом электродвигателя. На каретках XY-стола закреплены датчики линейных перемещений, преобразующие перемещения в последовательность электрических сигналов, цена отсчета составляет 2 мкм.

Для начальной установки показаний счетчика отсчетных систем датчиком перемещений вырабатываются два опорных сигнала, ограничивающих рабочие перемещения в 70 и 200 мм по направлениям y и x осей координат с точностью ± 2 мкм. Аварийное ограничение движения кареток измерительного стола производится при помощи двух пар концевых переключателей на каретку. В момент срабатывания первого из каждой пары концевых выключателей выставляется сигнал прерывания в ЭВМ и обработка его производится программой управления. Вторые выключатели (аварийные) отключают питание сервопривода электродвигателя. Величина скорости перемещения XY-стола в первых двух режимах задается ЭВМ и по командам управления значение кода скорости заносится в 7-II разряды (рис.3) статус-командного регистра соответствующего контроллера.

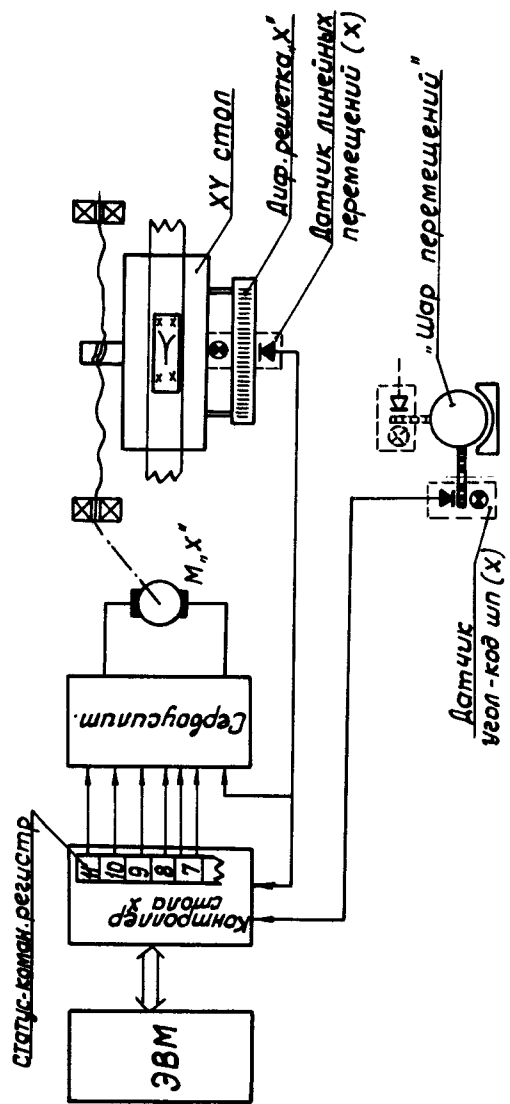


Рис. 2 функциональная схема управления измерительным XY-столом (направление оси X).

КОМАНДЫ			СОСТОЯНИЕ			СКОРОСТЬ					
Запрос прямого доступа и разреш. прерывания	Режим автоматич.	Прерывание по переполнению УХ	Счетчик реального времени выключен	"-" концевой выключатель	"+" концевой выключатель	Знак пара перемещения	Знак скорости	Величина скорости			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Рис. 3. Формат статусного слова контроллера XY-стола (направление X).

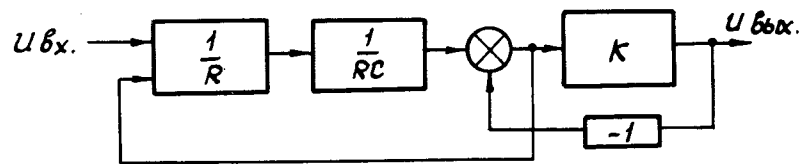


Рис. 4. Структурная схема интегратора.

Выходы регистра скорости связаны с преобразователем код-аналог, который входит в усилитель сервопривода электродвигателя. Усилитель сервопривода охвачен обратной связью и представляет собой систему автоматического регулирования скорости.

Максимальная скорость движения измерительного стола должна быть достаточно высокой, т.к. время перемещения X-Y-стола входит в общее время обработки камерных снимков на СИ. При производительности системы 60-70 событий в час на измерение одной проекции события отводится всего 20-30 секунд. За это время происходит выполнение всех операций по поиску нужного кадра, сканирование его и измерение координат реперных крестов и "особых" точек. На все манипуляции с измерительным столом отводится 7-10 секунд, поэтому режим "больших перемещений" на расстоянии в 80-100 мм, осуществляемый как полностью автоматически по программе управления, так и оператором в следящем режиме при помощи шара перемещения, должен производиться со средней скоростью в 30-50 мм/сек.

Характерной особенностью управления движением измерительного стола является также необходимость получения очень малых (5-7 мкм) перемещений в процессе точного совмещения вершины события с полюсом спиральной развертки. Характеристики этого режима оказывают значительное влияние не только на время центрирования и, следовательно, на производительность системы, но и на точность измерений. Точность центрирования вершины с полюсом развертки играет заметную роль в определении эффективности программ фильтрации, т.к. при плохом центрировании точки следов измеряемого события не составляют прямых линий в прямоугольной системе координат R, θ /1/. Кроме того, фильтрующее действие щели в случае

несовпадения вершины и полюса развертки оказывает отрицательное действие, т.к. при этом в районе вершины отбрасываются точки измеряемого трека.

Для получения удовлетворительных характеристик сервопривода для СИ разработана система регулирования скорости движения X-Y-стола, в которой сигнал обратной связи, пропорциональный скорости перемещения, формируется из импульсов, вырабатываемых в датчике линейных перемещений. Высокая точность регистрации положения стола (цена отсчета равна ± 2 мкм) позволяет очень точно определять и скорость его перемещения. Величина скорости формируется при помощи интегратора с определенным временем разряда, изменяя которое, можно менять интервал интегрирования, что особенно важно для режима "малых перемещений" во время центрирования вершины события. Однако, хотя изменение интервала интегрирования может производиться по программе управления в широком диапазоне, максимальный интервал интегрирования при заданной точности определяется параметрами интегратора. Количественные оценки этих величин могут быть получены из следующих рассуждений:

Для схемы интегрирующего звена с развязывающим операционным усилителем, устраняющим отрицательную обратную связь цепи RC, операторная схема которого приведена на рис.4, можно получить следующую формулу для выходного напряжения:

$$U_{вых} = - \frac{U_{вх} \cdot \frac{K_y}{1+K_y}}{\rho RC + \frac{1}{1+K_y}} \quad (I)$$

Если $K_y \gg 1$, то:

$$U_{вых} = - \frac{1}{\rho RC} \cdot U_{вх}$$

Для скачкообразного изменения напряжения на входе выражение (I) принимает вид:

$$U_{вых} = K_y U_{вх} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right),$$

где: $T = RC(1 + K_y)$.

После разложения этого выражения в ряд получаем:

$$U_{вых} = \frac{K_y U_{вх} t}{RC(1 + K_y)} - \frac{U_{вх} K_y t^2}{2[RC(1 + K_y)]^2}.$$

Второй член правой части является погрешностью интегрирования, относительное значение которой

$$\delta U = -\frac{t}{2RC(1 + K_y)}$$

зависит от времени интегрирования.

В схеме интегратора был применен операционный усилитель IUT401A, коэффициент усиления которого $K_y \approx 10^3$. Тогда интервал интегрирования при погрешности $\delta = 2-3\%$ и $RC = 0.01$ сек составляет: $t \approx 2RC K_y \delta U = 2 \cdot 10^2 \cdot 10^3 \cdot 2.5 \cdot 10^{-2} = 5 \cdot 10^{-1}$ сек.

Для получения заданной точности интегрирования число импульсов n , поступающих на вход интегратора в течение интервала интегрирования, должно быть не меньше 40-50. Учитывая, что шаг перемещения стола соответствует $\Delta X = 2$ мкм, величина минимальной скорости движения стола для этого случая составляет:

$$V_{min} = \frac{\Delta X \cdot n}{t_u} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 2 = 2 \cdot 10^{-1} \text{ мм/сек.}$$

Электродвигатель сервопривода XY-стола типа U9M4 с печатным ротором фирмы "Servalko" имеет постоянную времени 22 мсек. Суммарная постоянная времени сервопривода составляет 40 мсек. Экспе-

риментальная оценка показала, что величина центрирующей скорости $V = 200$ мкм/сек при указанной выше постоянной времени достаточна для получения точности центрирования 4-5 мкм в плоскости пленки.

Режим "больших перемещений" осуществляется при значительно больших скоростях ($V = 30-50$ мм/сек), и заданная точность определения скорости для этого режима заведомо выполняется.

Алгоритм выполнения движения стола на большие расстояния поясняется на рис.5,6. По программе управления движением определяется разница в координатах положения измерительного стола в данный момент времени и координатами точки, в зону расположения которой надо переместить стол XY. В соответствии с номером зоны определяется стартовая скорость движения (для 5 зоны она равна максимальной величине) и вычисляется расстояние до границы соседней зоны. Это значение расстояния преобразуется в единицы отсчета и в обратном коде заносится в специальный счетчик, называемый UX (или YU). Эти счетчики, как и счетчики положения, работают в режиме "увеличения памяти", на вход их также поступают сигналы отсчета координат положения, вырабатываемые датчиком линейных перемещений. После окончания стартовой программы XY-стол начинает движение в направлении заданной точки, а момент пересечения измерительным столом границы зоны определяется по сигналу переполнения счетчика UX или YU. Этот сигнал выставляет заявку на прерывание, по программе обслуживания которой уменьшается скорость движения, а в те же счетчики UX или YU задается значение ширины очередной зоны и продолжается движение XY-стола уже с меньшей величиной скорости до границы следующей зоны. После пересечения границы последней зоны производится останов измеритель-

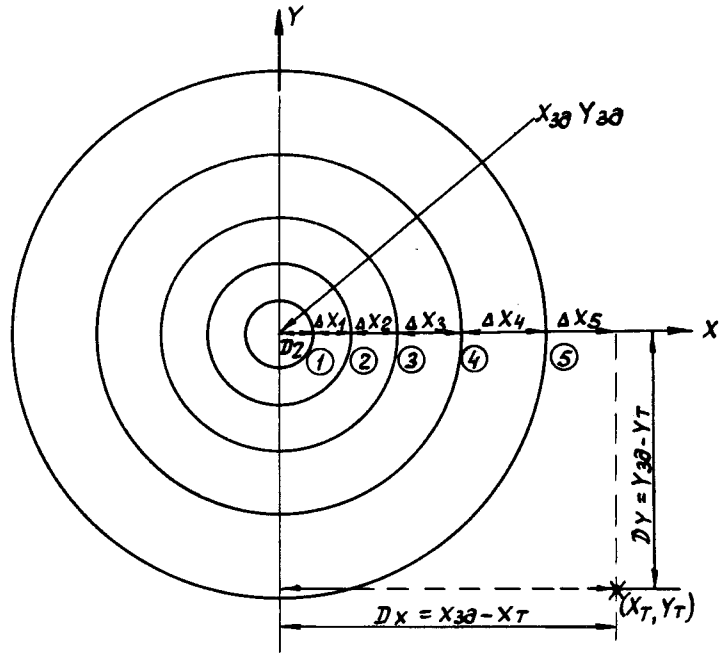


Рис. 5 Диаграмма построения зон для управления перемещением XY-стола в заданную точку.

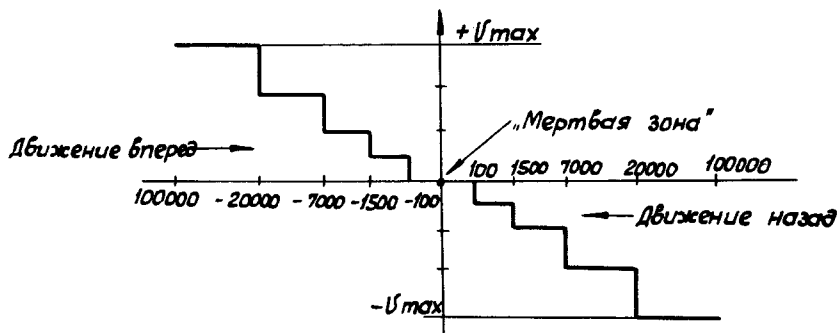


Рис. 6 График изменения скорости XY-стола.

ного стола и считается, что стол находится в зоне заданной точки. Максимальное значение ширины последней зоны определяется коэффициентом увеличения изображения и размерами телевизионного экрана оператора, т.е. вершина события после останова стола в зоне её расположения должна быть видна на телевизионном экране перед оператором. Чем выше точность "попадания" стола в зону вершины, тем быстрее оператор производит центрирование. Однако в общем случае значение ширины последней зоны является также функцией времени, в течение которого происходит перемещение стола в зону, т.е. чем меньше ширина последней зоны, тем медленнее должен двигаться стол перед его остановкой. Для времени движения измерительного стола от дальнего (14) до центрального (7) реперного креста, равного 3 секундам, экспериментально были подобраны количество, величина зон и график изменения скорости. Ширина последней зоны в этом случае составляет 200-250 мкм, а график изменения скорости движения измерительного стола для одного направления координатной оси приведен на рис. 6.

Следящий режим управления перемещением измерительного стола, осуществляемый оператором при помощи шара перемещения, имеет существенные отличия и подразделяется на два подрежима:

- подрежим центрирования, который выполняется после того, как стол остановлен в зоне расположения данной точки;
- подрежим сравнительно больших перемещений, осуществляемый оператором при измерениях координат "особых" точек события.

Для управления этим режимом в состав устройств СИ введен шар перемещения (TRACK BALL), конструкция которого была разработана в Институте физики высоких энергий (Цейтен, ГДР) для измерительного устройства ZMP /3/. Принцип действия этого устройства,

общий вид которого приведен на рис.7, основан на том, что стеклянный шар диаметром 10 см может свободно вращаться в полусферическом основании, поддерживаемый "воздушной подушкой", создаваемой поддувом воздуха снизу, и имеет две системы датчиков угол-код, преобразующих вращение шара в последовательность электрических сигналов. Таким образом, оператор, вращая шар, выдает в управляющую ЭВМ две последовательности импульсов, количество которых пропорционально углу поворота шара по двум направлениям координатных осей.

Режим работы этого устройства разработан специально для СИ и имеет ряд особенностей, связанных со структурой электронных устройств СИ. Шар перемещения, так же как и все остальные блоки СИ, имеет минимальный объем электронных схем, функции которых ограничиваются формированием сигналов, снимаемых с датчиков, и передачей их по мультиплексорным каналам в управляющую ЭВМ.

Управление перемещением измерительного стола осуществляется по функциональным алгоритмам, обеспечивающим следящий режим работы, т.е. движение ХУ-стола производится в соответствии со скоростью и направлением вращения оператором шара перемещения.

Если скорость вращения шара меньше некоторой граничной величины, соответствующей режиму центрирования, то программой управления осуществляется перемещение стола с "почти постоянной" центрирующей скоростью, а количество импульсов, выдаваемых датчиком угол-код при вращении шара, используется только для определения величины перемещения. В этом случае на каждый импульс, вырабатываемый датчиком угол-код шара перемещения, измерительный стол передвигается до тех пор, пока от датчика линейных перемещений не поступит ответный импульс. Практически, из-за конечной величины постоянной времени ХУ-стола этот режим осуществляется с некоторым коэффициентом

том соответствия $n_{ст}K = n_{шт}$, где $K > 1$.

Одновременно с этим при помощи часов реального времени (цикл опроса - 40 мсек) контролируется скорость вращения шара и, в случае превышения величины, соответствующей граничной скорости центрирования, режим регулирования изменяется, и шар перемещения начинает работать как система регулирования скорости. Причем закон зависимости скорости движения измерительного стола от скорости вращения шара нелинейный и соответствует в первом приближении параболическому $v = k\omega^2$ (график зависимости приведен на рис.8). Функциональные алгоритмы, обеспечивающие управление движением ХУ-стола, выполняются в мультипрограммном режиме /4/.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Блочная структура электронных устройств спирального измерителя вместе с модульным построением программ управления обеспечивает определенную гибкость системы и облегчает не только её адаптацию для обработки снимков с новых трековых камер, но и дальнейшее усовершенствование и улучшение характеристик отдельных блоков.

Например, режим автосопровождения, позволяющий расширить область применения спирального измерителя для обработки событий сложной топологии, предполагается осуществить введением микропроцессора и соответствующего программного обеспечения его работы как составной части функционального блока ХУ-измерительного стола, оставив без изменений существующие алгоритмы управления и структуру контроллера.



Рис. 7

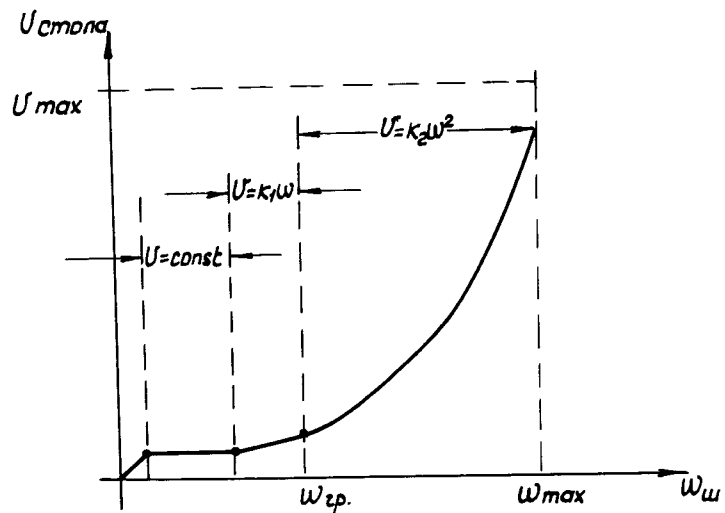


Рис.8 График зависимости скорости движения стола с от скорости вращения шара положения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котов В.М. и др.
Препринт ОИЯИ IO-7939, Дубна, 1974.
2. Зайцев В.И. и др.
Сообщение ОИЯИ IO-7945, Дубна, 1974.
3. I. Vahr и др.
"SOLAS." On-line " -система обработки снимков с трековых камер. Труды Международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. Дубна, 1971.
4. Котов В.М. и др.
Препринт ОИЯИ II-7946, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 августа 1974 г.