

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

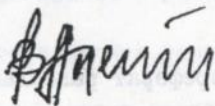
Алексеев Валерий Александрович

СКАНИРУЮЩИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

УГОЛ-ВРЕМЯ-КОД

05.13.08 - Вычислительные машины, системы и сети,
элементы и устройства вычислительной техники
и систем управления

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Харьков - 1996

004



Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Харьковском государственном автомобильно-
-дорожном техническом университете на кафедре автоматики

Научный руководитель: - доктор технических наук, профессор
Тырса Валентин Евстафьевич

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор
Корсунов Николай Иванович

- кандидат технических наук, зав.
отделом автоматики НПО "Монокри-
сталл" НАН Украины
Стадник Петр Емельянович

Ведущая организация: - Завод "Калькулятор" г.Светловодск

Защита состоится 20 июня 1996г. в 14 часов на заседании
специализированного ученого совета Д 02.09.06 в Харьковском
государственном политехническом университете,
310002, г.Харьков, ГСП, ул.Фрунзе,2Г

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан "17" июня 1996г.

ЛННБ України
АН України
[Handwritten signature]

Ученый секретарь
специализированного ученого совета

Кизилов В.У.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В диссертационной работе поставлена и решена задача по разработке и внедрению в производство стенда по контролю точности позиционирования валов шаговых двигателей.

Актуальность темы. Важнейшей задачей развития общества на современном этапе является компьютеризация народного хозяйства. Одна из особенностей современной компьютерной техники заключается в наличии большой памяти и в способности использовать эту память для решения многих задач.

Одним из технических средств памяти является гибкий магнитный диск (ГМД). Известно, что объем памяти на магнитном диске зависит от того, как плотно упакованы сигналы информации на этом диске. Поэтому первостепенное значение приобретает точность нанесения информации, точность позиционирования головок записи (считывания) сигналов на ГМД. До настоящего времени в качестве приводов магнитных головок в дисководы применяются шаговые двигатели (ШД) с вращающимся выходным валом. Поэтому для обеспечения высокой плотности нанесения информации на ГМД и, главным образом, информационной совместимости различных компьютеров по отношению к записи информации на ГМД, требуется измерять точность позиционирования ШД, что и осуществляется с помощью преобразователей "угол-код", работающих в составе специальных измерительных стендов.

До недавнего времени такие стенды производились бывшей Армянской ССР и в Японии. В настоящее время в силу известных и понятных причин приобретение указанных стендов ни в Армении, ни в Японии не представляется возможным. Поэтому Светловодский завод "Калькулятор", выпускающий средства вычислительной техники и внешние запоминающие устройства к ПЭВМ, поставил перед Харьковским отделением межотраслевого научно-технического объединения "Приоритет" задачу создания стенда для измерения точности позиционирования ШД на основе преобразователей информации "угол-время-код". Задача создания такого стенда распадается на ряд задач, решение которых в основном известно. Не решенной задачей здесь является отсутствие высокоточных преобразователей "угол-код". В настоящее время на Украине, да и в государствах бывшего СССР, преобразователи "угол-код" с погрешностью менее 5 угловых секунд не производятся. Приобретение же таких преобразователей за рубежом не позволит решить проблему создания стенда, так как при этом возникает новая задача: стыковка преобразователя с исследуемым валом.

Перечисленные вопросы обусловили цель диссертационной работы. Она заключается в создании оптоэлектронных сканирующих безэксцентриситетных преобразователей информации "угол-время-код", способных наиболее полно удовлетворить требования, предъявляемые контролю позиционирования ШД.

Для достижения этой цели в работе поставлены научные задачи:
- на основании краткого аналитического обзора методов и средств

- измерения позиционирования ШД рассмотреть вопросы, связанные с особенностями стыковки преобразователей "угол-код" с исследуемым валом ;
- проанализировать инвариантные двухканальные преобразователи информации, рассмотреть их погрешности и перспективы создания прецизионных АЦП ;
 - разработать структурные и функциональные схемы сканирующих аналого-цифровых преобразователей "угол-время-код", рассчитать их погрешности ;
 - осуществить макетирование и проведение испытаний опытных образцов преобразователя "угол-время-код" и его основных узлов ;
 - внедрить результаты исследований в промышленные разработки.

Методы исследований. При решении поставленных задач в работе использовались теории вероятности и статистической радиотехники, элементы теории автоматического управления и математической статистики.

Научная новизна. результатов, полученных в работе и выносимых на защиту, заключается в следующем:

- создана математическая модель сканирующих преобразователей плоских углов и её физическая реализация ;
- выявлены и проанализированы методические погрешности время-импульсных преобразователей "угол-время-код" (ПУВК), их минимизация ;
- решены задачи оптического сопряжения ПУВК с исследуемым валом ;
- выполнен анализ инструментальных погрешностей ПУВК.

Практическая ценность работы состоит в том, что:

- осуществлена физическая реализация модели ПУБК: выбор и анализ элементов и устройств, реализующих модель, определены их точные параметры. Взаимосвязаны параметры ПУБК для достижения максимальной точности;
- разработан и изготовлен стенд контроля точности позиционирования валов ШД с погрешностью менее 5 угловых секунд.

Внедрение результатов.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили для Светловодского завода "Калькулятор" создать стенд по контролю точности позиционирования валов ШД.

Впервые на Украине разработан и изготовлен преобразователь "угол-время-код", обеспечивший высокую точность контроля ШД и легкосопрягаемый с исследуемым валом.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на конференциях, симпозиуме, профессорско-преподавательских конференциях ХГТУРЭ и ХГАДТУ, технических Советах предприятий ПО "Электронмаш" г.Киев и з-д "Калькулятор" г.Светловодск.

Результаты, изложенные в диссертации, получены автором в период с 1990 по 1996 год в лаборатории кафедры автоматики Харьковского государственного автодорожного технического университета и в Харьковском отделении УМНТО "Приоритет".

Публикации. Материалы диссертационной работы изложены в научных трудах, из них 8 статей и тезисов докладов и 4 изобретения.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и содержит 178 страниц учитываемого машинописного текста, 45 рисунков, 5 таблиц, библиографического списка, включающего 109 наименований литературы.

Содержание работы.

Во введении показана актуальность темы исследования, сформулированы цель и основные задачи диссертационной работы, приведена её структура и краткая характеристика.

В первой главе анализируется состояние вопроса и определены задачи исследований. Проведен краткий обзор методов и средств измерения позиционирования шаговых двигателей (ШД).

В системах автоматического управления (САУ), содержащих в контуре управления ЭВМ или микропроцессор, как правило, содержатся аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи формы информации. Существует множество САУ, в которых цифровой эквивалент управляющего воздействия должен быть преобразован в угол поворота вала или линейное перемещение некоторого исполнительного механизма. В обоих указанных случаях в качестве преобразователя код-аналог используется ШД. Схема преобразователя код-аналог с ШД показана на рис. I. Погрешность преобразования входного кода в угол поворота зависит от того, с какой точностью выполнен ШД.

К числу указанных систем, где используются прецизионные ШД, относятся дисководы ПЭВМ. В серийно выпускаемом дисковом ШД ис-

пользован в качестве привода магнитной головки, которая сочленяется с валом ШД посредством металлической ленты, наматываемой на барабан ШД. Отсюда становится понятным, что в данном случае погрешности позиционирования ШД, эксцентриситет барабана, эксцентриситет вала ШД полным весом переносятся на точность позиционирования магнитной головки дисководов.

Вместе с тем преобразователь информации "угол-время-код" (ПУВК) с разворачиванием угла в интервал времени, является наиболее простым средством преобразования плоского угла в цифровой эквивалент. Это вытекает из рассмотрения рис. 2 и 3

$$\varphi = \omega N_{\varphi} / f_0, \text{ где } f_0 - \text{частота квантования, } N_{\varphi} - \text{код.}$$

Особенность такого преобразования заключается в том, что преобразование угла в пропорциональный временной интервал осуществляется электромеханически, а полученный временной интервал с высокой точностью преобразуется в цифровой эквивалент.

В качестве датчиков стартовых и стоповых сигналов были выбраны оптопары.

Для того, чтобы ПУВК имел высокую точность преобразования необходимо тщательно исследовать и минимизировать до необходимого уровня погрешности преобразования, которые создаются средствами формирования стартовых и стоповых сигналов и средствами квантования.

Кроме рассмотренных погрешностей были проанализированы погрешность от неравномерного вращения разворачивающего двигателя и

погрешность эксцентриситета, присущую всем типам преобразователя угол-код.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что при соблюдении определенных условий проектирования можно построить ПУБК, обладающий высокой точностью преобразования и быстродействием, достаточным для оценки точности позиционирования ШД.

Для достижения этой цели необходимо:

1. Создать математическую модель разворачивающего аналого-цифрового преобразователя угол-код с промежуточным преобразованием угла во временной интервал.

2. Детально исследовать погрешности преобразования.

3. Провести экспериментальные исследования ПУБК.

Вторая глава посвящена исследованию возможностей инвариантных время-импульсных преобразователей информации.

Использование компенсации неизвестной аналоговой величины разворачивающей функцией (величиной), адекватной неизвестной входной величине и изменяющейся по линейному закону в функции времени, дает возможность получить два принципиально отличающихся способа преобразования: "аналог-частота" и "аналог-временной интервал" (время-импульсное преобразование). На основании последнего удобно строить АЦП нефункционального косвенного преобразования, с промежуточным переходом во временной интервал, поддающийся точному измерению цифровыми методами. В основе время-импульсных АЦП лежит преобразование "фаза-код".

Систематическую составляющую суммарной погрешности время-импульсного преобразования можно привести ко второму порядку малости благодаря использованию принципа инвариантности, заключающегося для ВИП в том, что осуществляется преобразование образцовой и неизвестной величин в двух идентичных АЦП при помощи единой развертывающей функции и общей стандартной частоты. Такое преобразование особенно удобно, если можно получить линейную развертывающую функцию, а АЦП имеет непосредственную связь с ЗЕМ.

Математическая модель способа преобразования "фаза-код" и её физическая реализация в виде совпадений регулярных последовательностей стартовых (стоповых) и квантуемых импульсов дает возможность при выборе соответствующей длительности импульсов синтезировать инвариантные время-импульсные АЦП, случайная составляющая суммарной погрешности которых может быть существенно уменьшена за счет того, что методическая погрешность квантования уменьшается от значения периода стандартной частоты до длительности импульсов, определяемой лишь техническими средствами, на основе которых реализуется АЦП.

Показано, что в структурной схеме время-импульсного аналого-цифрового преобразователя, основанного на совпадении регулярных импульсных последовательностей, возможен эквивалентный обмен точности на быстродействие. При этом существенно снижаются погрешности за счет флуктуации развертывающей функции. Структурная схема такого двухканального АЦП, инвариантного к низкочастотным возмуще-

ниям, приведена на рис. 4, где $S(t)$ развертывающая функция, СУ I,2- сравнивающие устройства, НО- нуль-орган, Тр. I,2- триггеры, ГИ- генератор квантовых импульсов, Кл. I,2- импульсно-потенциальные ключи, Сч. I,2- счетчики, ВУ- вычислительное устройство. На рис. 5 показана временная диаграмма двухканального АЦП, из которой следует, что:

$$X(t)/X_1 = t_x/t_1, \quad X(t) = X_1 t_x/t_1 = X_1 N_x/N_1$$

где $N_1 = t_1 f_0$, $N_x = t_x f_0$.

Показано, что в преобразователях, основанных на совпадении регулярных импульсных последовательностей, при фиксированной частоте развертывающей функции, повышение точности прямо пропорционально уменьшению быстродействия АЦП.

В соответствии с этим показано, что использование двух шкал во время-импульсном преобразовании, основанном на совпадении регулярных последовательностей, дает возможность синтезировать оптимальные по критерию точности и быстродействия инвариантные время-импульсные АЦП. Разработана структурная схема таких АЦП.

В третьей главе разработаны и исследованы сканирующие преобразователи "угол-время-код", проанализированы их погрешности. Разработана математическая модель сканирующих преобразователей плоских углов, выполнена её физическая реализация. Выбран тип датчиков стартовых и стоповых импульсов для ПУБК, проведено сопряжение стартового и стопового датчиков с корпусом ПУБК и исследуемым валом, проанализирована равномерность хода развертываемого элемента. Опреде-

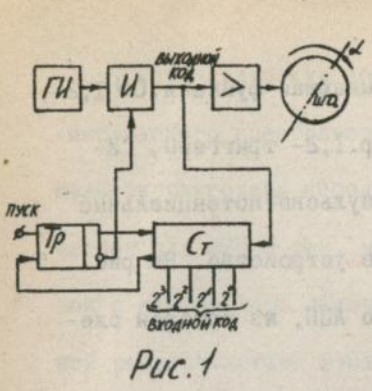


Рис. 1

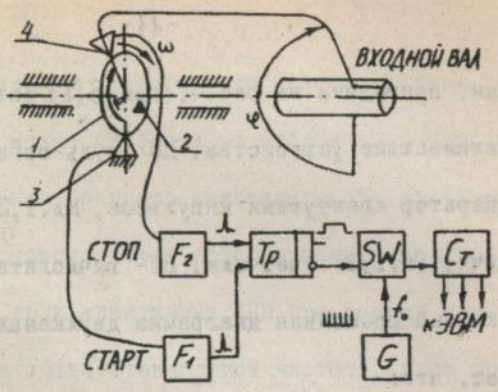


Рис. 2

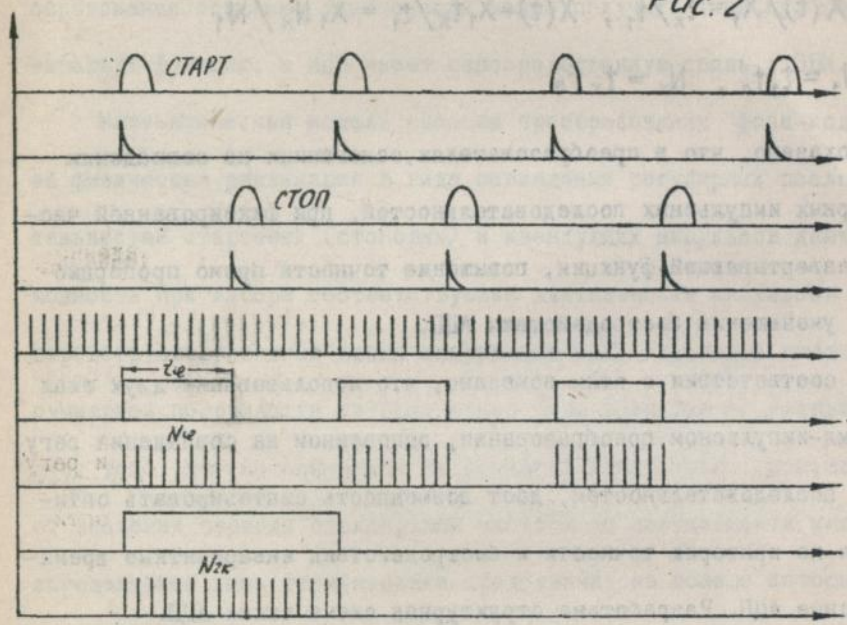


Рис. 3

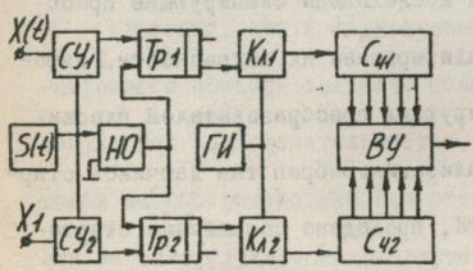


Рис. 4

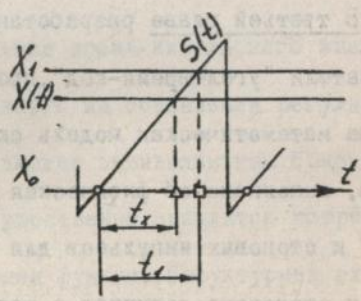


Рис. 5

лены источники излучения для датчиков фиксации угла в ПУБК и оптимальные методы приема стартовых (стоповых) сигналов. Произведена оценка погрешности измерения временных интервалов в ПУБК, обусловленная параметрами оптического сигнала.

Совместное рассмотрение процессов квантования и дискретизации позволяет построить две разновидности ПУБК: основанных на совпадениях импульсов регулярных импульсных потоков (см. гл. 2) и на использовании принципа приближения иррациональных чисел подходящими дробями.

Развертывающий преобразователь "угол-время-код" (ПУБК), построенный по методу приближения подходящими дробями, показан на рис. 6. Схема его по сравнению со схемой рис. 1 дополнена вторым каналом для преобразования в код периода развертывающей функции и осреднения многократных измерений. Преобразователь работает следующим образом: электродвигатель 1, на валу 2 которого укреплен маховик 3, приводит последний во вращение 10. Стартовые и стоповые импульсы, вырабатываемые датчиками 5 и 6, поступают соответственно на формирователи F1 и F2. Сформированный старт-импульс "переводит" триггеры Tr1 и Tr2 из состояния "0" в состояние 1 и таким образом через схемы совпадения &1 и &2 импульсы квантования с генератора 6 поступают в счетчики Ст1 и Ст2 образуя там за n циклов коды $\sum_{i=1}^n N_{\varphi_i}$ и $\sum_{i=1}^n N_{\rho_i}$ соответственно. Количество циклов определяется объемом счетчика стоповых импульсов Ст3. После n-го стопового импульса триггер

Тр2 переходит в состояние "0" прекращая тем самым поступление квантуемых импульсов в счетчик Ст2. В этот момент блокируется и триггер Тр1 по схеме, не показанной на рис.6. Результат измерения определяется в соответствии с выражением
$$\varphi = 2\pi \frac{\sum_{i=1}^n N_{\varphi_i}}{\sum_{i=1}^n N_{\rho_i}}$$
.

Анализ методических погрешностей ПУБК показал, что использование принципа приближения иррациональных чисел подходящими дробями предпочтительнее в виду простоты его технической реализации. В целом, проведенный анализ погрешностей позволил осуществить выбор основных элементов ПУБК, обеспечивающих заданную точность преобразования (датчики стартовых и стоповых импульсов, развертывающий элемент).

Установлено, что в ПУБК второй разновидности погрешность от квантования убывает пропорционально количеству осреднений n , в отличие от классического метода осреднений, где погрешность от квантования понижается пропорционально \sqrt{n} (рис.7, таблица).

Анализ оптимальных методов обработки сигналов, известных из теоретических основ локации, позволил сформулировать требования к источникам излучения и приемникам для датчиков фиксации угла.

В четвертой главе показано, что для АЦП определить основные составляющие погрешности и их функции распределения вероятностей можно на ранней стадии разработки. Описаны статистические свойства некоторых специфических случайных погрешностей, в том числе погрешностей, вызванных синусоидальными наводками, частичными совпадениями импульсов в АЦП, основанных на методе совпадения регу-

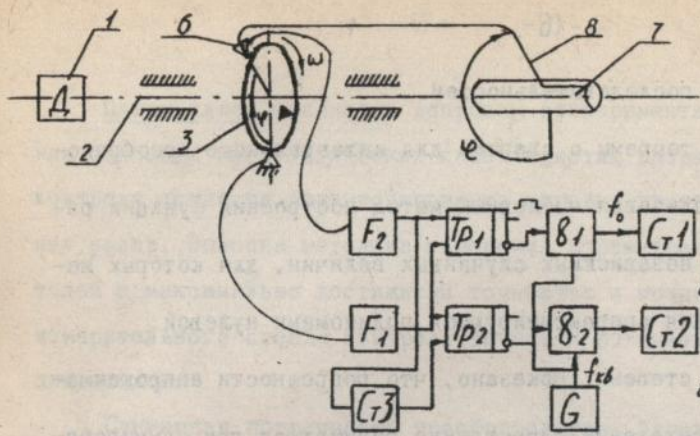


Рис. 6

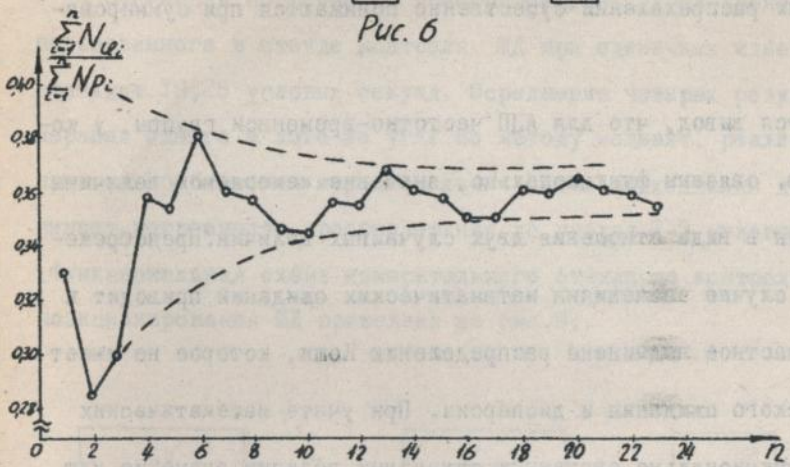


Рис. 7

Таблица

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
N_{e_i}	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1
N_{p_i}	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4
$\sum N_{e_i}$	1	2	3	5	6	8	9	10	11	12	14	15	17	18	19	20	21	23	24	26	27	28	29
$\sum N_{p_i}$	3	7	10	14	17	21	25	28	32	35	39	42	46	50	53	57	60	64	67	71	75	78	82
$\frac{\sum N_{e_i}}{\sum N_{p_i}}$	0.3333	0.2850	0.3000	0.357	0.357	0.380	0.360	0.357	0.343	0.342	0.358	0.357	0.369	0.360	0.358	0.350	0.350	0.359	0.358	0.366	0.360	0.358	0.355

лярных импульсных последовательностей.

На основании теоремы о свертке для интегрального преобразования Лапласа использован численный метод построения функции распределения суммы независимых случайных величин, для которых исходные распределения аппроксимируются полиномами нулевой

или первой степени. Показано, что погрешности аппроксимации исходных распределений существенно понижаются при суммировании н.с.в.

Делается вывод, что для АЦП частотно-временной группы, у которых н.с.в. связаны функционально, значение измеряемой величины определяется в виде отношения двух случайных величин. Пренебрежение в этом случае значениями математических ожиданий приводит к тому, что частное подчинено распределению Коши, которое не имеет математического ожидания и дисперсии. При учете математических ожиданий функционально связанных случайных величин значение математического ожидания и дисперсии не выражаются через элементарные функции.

Показано, что если значение измеряемой величины вычисляется, как функция случайных аргументов, то для оценки энтропийной погрешности возможно использование частных производных функций случайных аргументов по этим аргументам. Исследовано поведение погрешности измерения для различных соотношений математических ожиданий случайных аргументов и найдено, что оптимальные значения точности имеют место при примерно равных значениях математических ожиданий случайных аргументов Y и Z , когда $X = Y/Z$.

Пятая глава посвящена вопросам экспериментального исследования основных метрологических характеристик разработанного стенда контроля точности позиционирования шаговых двигателей, его основных узлов. Описана методика измерения параметров шаговых двигателей с максимально достижимой точностью и принципы построения измерительного стенда контроля точности позиционирования шаговых двигателей.

Суммарная погрешность преобразователя "угол-время-код", использованного в стенде контроля ШД при единичных измерениях составляет 10,28 угловых секунд. Осреднение четырех результатов измерения одного и того же угла по методу медиант, реализующему принцип приближения иррациональных чисел подходящими дробями, понижает погрешность преобразования до уровня 2-3 угловых секунд (Функциональная схема измерительного стенда по контролю точности позиционирования ШД приведена на рис.8).

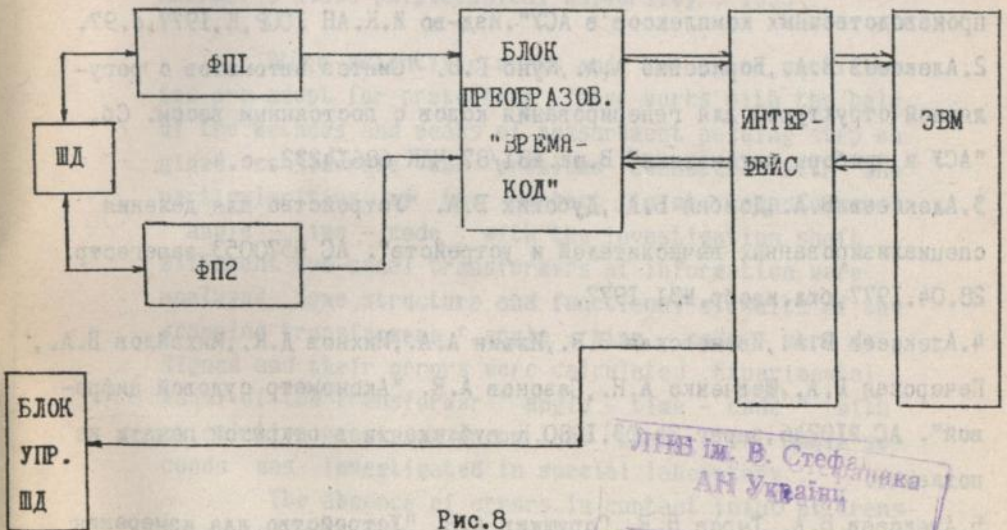


Рис.8

ЛІВІВ ІМ. В. СТЕФАНИКА
АН України

Заключение.

В процессе разработки, исследования и реализации в математических моделях и схемно-конструктивных решениях стенда по контролю точности позиционирования ШД получены следующие результаты.

Преобразователи "угол-время-код", построенные по принципу развертывания угла во временной интервал с последующим заполнением его импульсами образцовой частоты, обладают точностью и быстродействием достаточными для решения многих технических задач.

Использованные для создания стенда ПУБК полностью реализуются на недорогих, серийно выпускаемых отечественной промышленностью элементах и могут быть изготовлены без применения уникальной технологии.

Можно сделать вывод, что при помощи стенда, созданного на основе ПУБК, можно существенно улучшить качество входного контроля ШД и, следовательно, качество серийно выпускаемых дисководов.

Список научных работ, опубликованных по теме диссертации.

1. Алексеев В. А., Кузьмин И. В., Гвоздинский А. Н. Выбор оптимального количества ЭВМ в структуре АСУ. Сборн. "Идентификация и оптимизация производственных комплексов в АСУ". Изд-во И.К.АН УССР, К, 1977, с. 97.

2. Алексеев В. А., Борисенко А. А., Куно Г. В. "Синтез автоматов с регулярной структурой для генерирования кодов с постоянным весом. Сб. "АСУ и приборы автоматики" В.шк. №81/87 ЧДК 68614232, с. 4.

3. Алексеев В. А., Довбня Б. А., Дубошук В. А. "Устройство для деления специализированных вычислителей и устройств". АС №570053, зарегестр. 28.04.1977, блл. изобр. №31, 1977.

4. Алексеев В. А., Ивановская З. В., Ильин А. А., Михнов Д. К., Михайлов В. А., Печерская Ю. А., Шевченко А. Н., Сазонов А. Е. "Аксиометр судовой цифровой". АС №10246, зарег. 24.03.1980. К публикации в открытой печати не подлежит.

5. Алексеев В. А., Тирса В. Е., Горушкин А. В. "Устройство для измерения углов". АС №1210055, зарег. 8.10.1985. Блл. изобр. №5, 1986г.

6. Алексеев В.А., Тырса В.Е., Горужкин А.В., Богатыренко К.И., Завальный В.В. "Устройство для измерения угла поворота". АС №1227949, зарег. 3.01.1986. Бвл. изобр. №16, 1986г.
7. Алексеев В.А., Борисенко А.А., Куно Г.В. "Счетчик импульсов для устройств дискретной обработки информации". АС №1274153, зарег. 1.08.1986. Бвл. изобр. №44, 1986г.
8. Алексеев В.А., Тырса В.Е., Богатыренко К.И., Горужкин А.В. "Стенд контроля точности позиционирования валов шаговых двигателей". Патент Украины №4506 от 20.06.1995г.
9. Алексеев В.А. "О повышении точности преобразователей угол-время-код". Депон. УкрИНТЭИ К. 27.07.1993г., №1630 УК 93, с. II.

Alexeev V.A. The scanning transformers
" angle - time - code " .

Dissertation for searching academic degree a candidate of the technique science at the speciality 05.13.08 - calculating machines, systems and networks, elements and devices of the computing technique and governing systems.
Kharkov, State polytechnical university, 1995.

Nine scientific works and six autor certificates are adopt for protection. These works with the help of the methods and means of measurement posing step engines considerate the problems connected with the particularities of the contact joint transformers " angle - time - code " with the investigation shaft. Different two-canal transformers of information were analysed. Some structure and functional circuits of the scanning transformers " angle - time - code " were designed and their errors were calculated. Experimental model of the transformer " angle - time - code " with calculation precision error less then five angle seconds was investigated in special laboratory.

The absence of errors in contact joint of transformer's shaft with investigated shaft provided high control precision.

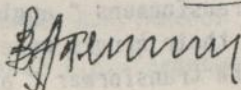
Алксссєв В.О. Сканувчі перетворивачі "кут-час-код".

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.13.08 - Обчислювальні машини, системи та мережі, елементи та пристрої обчислювальної техніки та систем керування, Харківський державний політехнічний університет, Харків, 1996.

Приймається до захисту 9 наукових робіт та 6 авторських посвідчень, в яких на підставі огляду методів та засобів вимірювання позиціонування крокових двигунів розглянуті питання, пов'язані з особливістю стикування перетворивачів "кут-код" з досліджуваним валом. Проаналізовані інваріантні двоканальні перетворивачі інформації "кут-час-код", розроблені структурні та функціональні схеми сканувачів аналого-цифрових перетворивачів, розраховані їх похибки. Здійснено макетування та проведення іспиту дослідного зразка перетворивача "кут-час-код", побудовано стенд контролю точності позиціонування крокових двигунів з похибок вимірювання п'ять кутових секунд.

Ключові слова: Аналого-цифрові перетворивачі кут-час-код, крокові двигуни.

Ключевые слова: Аналого-цифровые преобразователи угол-время-код, шаговые двигатели.



Подп.к печ. 9.05.96 Формат 60x84¹/₁₆. Бумага тип. Печать офсетная. Усл.печ. л.1,0
Уч.-изд. л. 1,0 Тираж 100 экз. Зак. №2121 Бесплатно

Копировально-множительный центр «VSV»
Харьков, пл. Советской Украины, 1, Дворец Труда, 2 п., 3 эт., к. 9.
Тел. (0572) 20-18-32

AB 37005

278273

AB 35.053