

- formfehler.— Archiv der elektrischen Übertragung, 1950, Bd. 4.
12. C. G. W a h r m a n. Methods of Checking the RMS Properties of RMS Instruments.— Brüel and Kjær Technical Review, 1963, № 1.
13. В. А. И в а н о в. Аналитический метод расчета детекторов среднеквадратичных значений.— Автотметрия, 1972, № 3.

*Поступила в редакцию 11 февраля 1972 г.*

УДК 621.3.084.2 : 681.327

**Ю. Н. БЛИНОВ, В. П. МАКСИМОВ,  
В. П. ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ, Н. В. СИНИЦЫН**  
(Москва)

### **ЦИФРОВАЯ ЧАСТЬ ДВАДЦАТИРАЗЯДНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ «УГОЛ — КОД» НА ДИНАМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ**

В настоящее время в автоматике, и в частности в цифровых системах управления точными механизмами, большое внимание уделяется построению высокоточных преобразователей «угол — код» [1], включающих в себя непрерывную и цифровую [2, 3] части. Цифровая часть преобразователей (ЦЧП) предназначена для их связи с ЭЦВМ. Основным недостатком ЦЧП, которые раньше строились на оптических кодовых дисках в каналах грубого (ГО) и точного (ТО) отсчетов [3], является их подверженность климатическим воздействиям окружающей среды, необходимость логического согласования в ЦЧП между каналами ГО и ТО, а также большое количество длинных линий связи и согласующих устройств ввиду удаленности исследуемого вала (ИВ) от электронного комплекса преобразователя «угол — код».

Существенно упростить логическую часть ЦЧП, отказаться от расположения диска ГО на ИВ и убрать линии связи и согласующие устройства в ЦЧП возможно, если соединить кодовые диски ГО и ТО понижающим редуктором (Ред. 2 на рис. 1). Кроме того, отказ от оптических кодовых дисков и переход к их трансформаторным аналогам [4], оцифрованным в V-коде (коде Баркера), позволяет поместить кодовые диски ТО и ГО совместно с Ред. 2 в одном корпусе в виде цифрового датчика угла (ЦДУ) на 20 разрядов.

В случае применения трансформаторных ЦДУ с последовательным считыванием, осуществляющих позиционное кодирование угла поворота в V-коде, необходимо последовательное импульсное питание дающих магнитных головок (ДМГ), ЦДУ. Эта причина, а кроме того, и высокие частотные свойства (до 10 МГц) заставили выбрать в качестве основных логических элементов для ЦЧП динамические элементы запрета и повторения [3] в микромодульном или интегральном исполнении.

Цель работы — рассмотрение цифровой части преобразователя «угол — код» на 20 разрядов на динамических элементах совместно с трансформаторным цифровым датчиком угла.

**Блок-схема устройства.** Рассмотрим работу и назначение отдельных узлов преобразователя «угол — код». Угловое перемещение  $\alpha$  исследуемого вала (ИВ) преобразуется электрическим редуктором, емко-

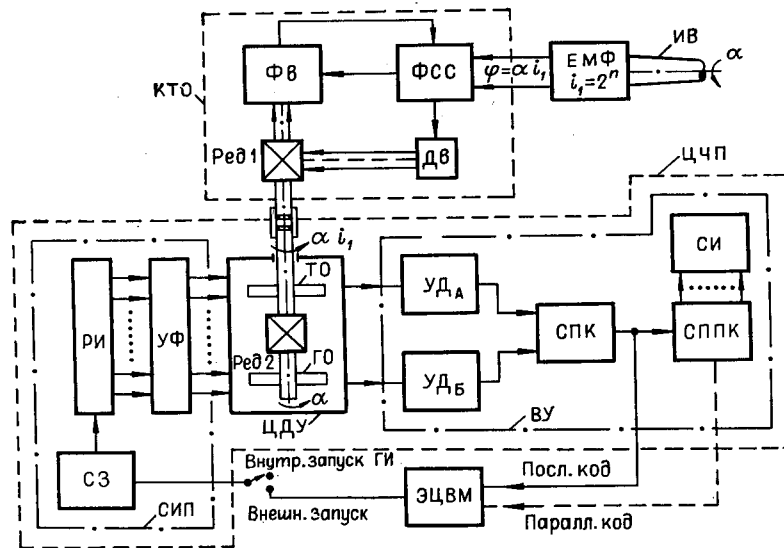


Рис. 1.

ственным многополюсным фазовращателем (ЕМФ), с коэффициентом редукции  $i_1 = 2^n$  ( $n$  — число разрядов, равное 7) в фазовый сдвиг  $\varphi = \alpha i_1$  между основными и опорным сигналами, снимаемыми с ЕМФ. Полученный фазовый сдвиг  $\varphi$  через фазовращатель (ФВ), двигатель (ДВ) и редуктор (Ред. 1) отрабатывается фазовой следящей системой\* (ФСС) канала точного отсчета (КТО) до нуля. Входной вал ЦДУ, соединенный через Ред. 1 с фазовращателем ФВ, поворачивается при этом на угол  $\alpha i_1$ . На входной вал ЦДУ посажен кодовый диск ГО, в то время как кодовый диск ГО соединяется с диском ГО через понижающий редуктор (Ред. 2) с коэффициентом редукции  $i_2 = 1/i_1$ . Таким образом, ЦДУ осуществляет кодирование угла поворота  $\alpha$  с точностью до 20-го разряда. Последовательное питание входных головок ЦДУ осуществляется импульсами, поступающими через усилители-формирователи (УФ) с распределителя импульсов (РИ), управляемого схемой запуска (СЗ). С выхода ЦДУ по линиям А и Б снимается последовательность импульсов в виде V-кода. Сигналы с ЦДУ усиливаются, дискриминируются по амплитуде усилителями-дискриминаторами (УДА и УДБ) и поступают на схему преобразователя V-кода в двоичный последовательный код (СПК). Последовательный двоичный код поступает в схему получения параллельного кода (СППК), которая управляет работой блока световой индикации (СИ), необходимого для визуального контроля и наладки всего преобразователя «угол — код». Двоичный код в последовательной или параллельной форме поступает на ЭЦВМ, которая управляет СЗ. В ЦЧП предусмотрен также и внутренний запуск от тактовых импульсов (ГИ) питания динамических элементов для наладки ЦЧП. Рассмотрим подробнее построение и работу отдельных логических узлов и блоков ЦЧП.

**Схема импульсного питания (СИП) ЦДУ.** В СИП входных цепей (дающие магнитные головки (ДМГ)) ЦДУ входят СЗ, РИ и УФ. На рис. 2 представлена функциональная СИП ЦДУ.

Для работы ЦДУ на его входные ДМГ необходимо подавать импульсы опроса, который должен последовательно поступать на каждую ДМГ, начиная с младшего 1-го по 20-й разряды, через время (такт), определяемое частотными свойствами ЦДУ. Эту функцию осуществля-

\* Или непрерывной частью.

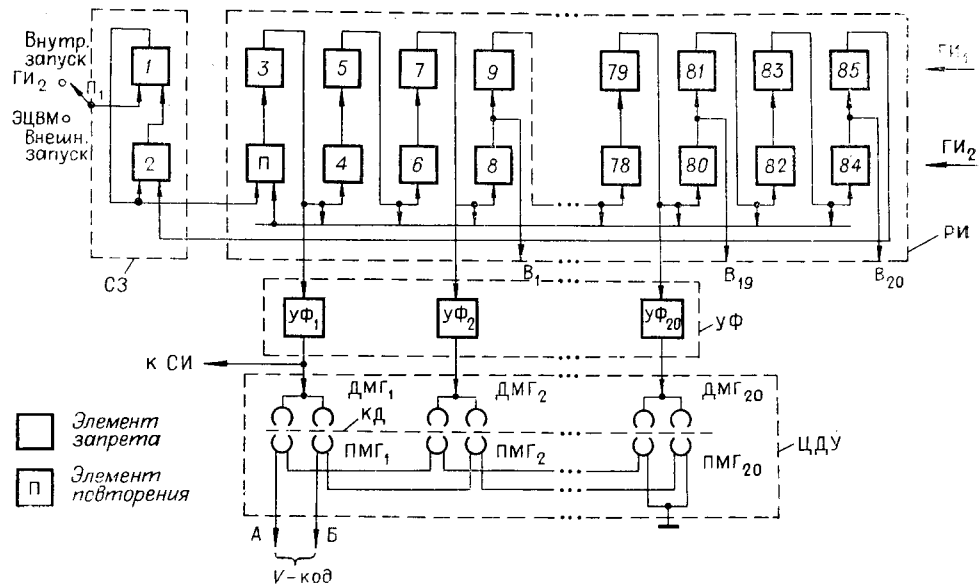


Рис. 2.

ет РИ, построенный по принципу линии задержки на динамических элементах запрета (ЭЗ<sub>3</sub>—ЭЗ<sub>84</sub>) и элемента повторения (П). Внешний (от ЭЦВМ) или внутренний (от ГИ<sub>2</sub>) запуск РИ осуществляется СЗ, состоящей из динамического триггера на ЭЗ<sub>1</sub>, ЭЗ<sub>2</sub>, на вход которого через переключатель П<sub>1</sub> поступает импульс запуска с ЭЦВМ или ГИ<sub>2</sub>.

В режиме внешнего запуска импульс с ЭЦВМ длительностью 1,5 такта ГИ поступает на вход СЗ (ЭЗ<sub>1</sub>), переводя триггер (ЭЗ<sub>1</sub>, ЭЗ<sub>2</sub>) в «0» по выходу ЭЗ<sub>1</sub>; получаемый при этом сигнал, проходя через элемент повторения П на вход ЭЗ<sub>3</sub>, вызывает появление на его выходе одиночного импульса. Полученный импульс поступает на УФ<sub>1</sub>, ЭЗ<sub>5</sub> и по цепи обратной связи через элемент повторения П на ЭЗ<sub>3</sub>, запрещая появление на его выходе следующего импульса.

Импульс опроса, выработанный на ЭЗ<sub>3</sub>, проходя последовательно через ЭЗ<sub>4</sub>—ЭЗ<sub>85</sub>, поступает на УФ<sub>2</sub>—УФ<sub>20</sub> с ЭЗ<sub>7</sub>, ЭЗ<sub>11</sub>, ..., ЭЗ<sub>75</sub>, ЭЗ<sub>79</sub> и на ЭЗ<sub>3</sub> через элемент повторения П с ЭЗ<sub>5</sub>, ЭЗ<sub>7</sub>, ..., ЭЗ<sub>75</sub>, ЭЗ<sub>79</sub>, запрещая тем самым появление в РИ другого (ложного) импульса в течение опроса ДМГ ЦДУ. Кроме того, с ЭЗ<sub>8</sub>, ЭЗ<sub>12</sub>, ..., ЭЗ<sub>80</sub>, ЭЗ<sub>84</sub> снимается инвертированный импульс опроса и подается на вентили В<sub>1</sub>—В<sub>20</sub> схемы преобразования параллельного кода (СППК). Время прохождения импульса от одного разряда к другому определяется числом ЭЗ, каждый из которых задерживает сигнал на полтакта ГИ. В данном случае между разрядами в РИ поставлено по четыре ЭЗ, осуществляющих задержку импульса опроса на 2 такта ГИ.

Импульс опроса, пройдя все ЭЗ РИ, с выхода последнего (ЭЗ<sub>85</sub>) поступает на вход динамического триггера (ЭЗ<sub>2</sub>), перебрасывая его в «1», которая запрещает появление и прохождение через РИ импульсов опроса. При поступлении от ЭЦВМ следующего разрешающего импульса цикл работы РИ повторяется. При внутреннем запуске импульс с ЭЗ<sub>85</sub> не вызывает переброса динамического триггера СЗ, так как на вход ЭЗ<sub>1</sub> непрерывно поступают импульсы ГИ<sub>2</sub>, удерживая триггер в положении «0». По окончании цикла опроса элемент повторения П снова разрешает выход импульса опроса в РИ, обеспечивая тем самым непрерывную циклическую работу РИ.

Питание ДМГ ЦДУ осуществляется положительными импульсами напряжения с амплитудой не менее 5 В. Для усиления импульсов

с РИ и развязки ДМГ от РИ между ними поставлены транзисторные усилители-формирователи ( $УФ_1 — УФ_{20}$ ).

**Выходные устройства (ВУ).** С принимающих магнитных головок (ПМГ) ЦДУ по линиям А и Б снимаются две последовательности импульсов в виде V-кода. Для четкой работы логических схем устройств преобразования V-кода необходимо эти импульсы предварительно усилить и дискриминировать по амплитуде. Эту функцию выполняют устройства дискриминации  $УД_A$  и  $УД_B$ , состоящие из усилителя-ограничителя и триггера Шмидта на транзисторах. На выходе  $УД_A$  и  $УД_B$  для согласования с динамическими элементами поставлены эмиттерные повторители.

Импульсы с выхода  $УД_A$  и  $УД_B$  поступают на схему преобразования V-кода в двоичный последовательный код СПК.

На рис. 3 представлена функциональная схема ВУ, состоящая из СПК, СППК и световой индикации (СИ). Логика работы СПК определяется принципом построения ЦДУ, в котором каждому положению

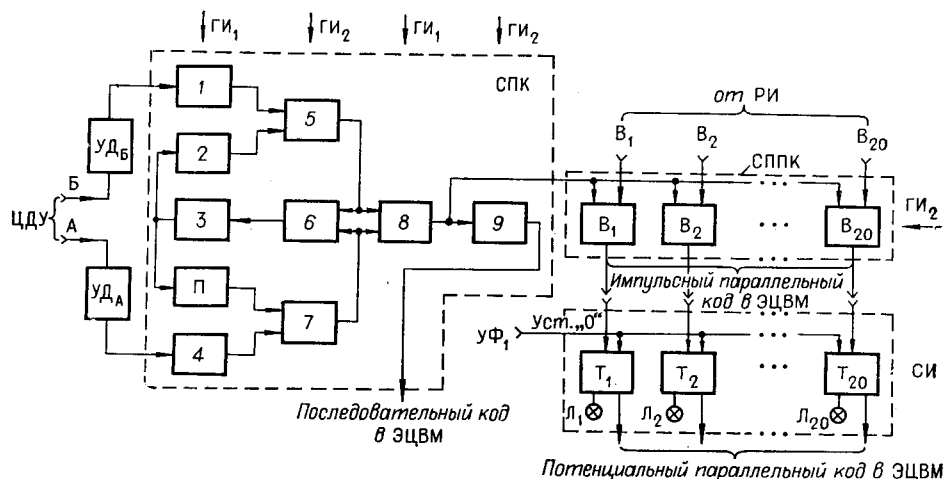


Рис. 3.

кодированного диска соответствует определенная комбинация импульсов всех разрядов по линии А и Б. Исходя из закона преобразования V-кода в двоичный, логику СПК можно описать следующим уравнением:

$$x_i = \bar{x}_{i-1} \wedge a_i \vee x_{i-1} \wedge b_i,$$

где  $i=1, 2, \dots, 20$ ;  $x_i$  — текущее значение разряда выходного числа;  $a_i$  — текущее значение линии А;  $b_i$  — текущее значение линии Б. Исходные данные для работы СПК:  $x_0=0$ ;  $b_1=0$ .

Рассмотрим работу СПК. Сигнал через СПК на выход может пройти только по линии А, так как по линии Б ЭЗ<sub>2</sub> запрещает его проход через ЭЗ<sub>5</sub>. Если появляется на линии А импульс, то он проходит через ЭЗ<sub>4</sub>, ..., ЭЗ<sub>7</sub>—ЭЗ<sub>9</sub> на выход. Кроме того, через ЭЗ<sub>6</sub>, ЭЗ<sub>3</sub> и ЭЗ<sub>2</sub> он открывает ЭЗ<sub>5</sub> через время, равное такту опроса ДМГ между соседними разрядами ЦДУ, и запрещает появление импульса по линии А через элемент повторения П. Если в следующий такт опроса ДМГ по линии Б импульс будет отсутствовать, то СПК через такт будет открыта по линии А; если же он появится, то СПК будет открыта по линии Б. Таким образом, СПК формирует из V-кода последовательный двоичный код, который через ЭЗ<sub>8</sub> и ЭЗ<sub>9</sub> поступает на ЭЦВМ.

Параллельный код формируется схемой СППК, состоящей из элементов запрета (вентилей  $B_1 — B_{20}$ ), на которые подается инвер-

тированный двоичный последовательный код и инвертированные импульсы опроса с каждого разряда РИ ( $V_1—V_{20}$ ). При временном совпадении их нулей на выходе ЭЗ ( $V_1—V_{20}$ ) появляются одиночные импульсы параллельного кода, поступающие на блок световой индикации СИ. Блок СИ состоит из 20 статических триггеров ( $T_1—T_{20}$ ), на выход которых подключаются или лампочки ( $L_1—L_{20}$ ), или световые диоды, позволяющие оператору наблюдать и контролировать угол поворота ЦДУ в двоичном коде. С других выходов  $T_1—T_{20}$  можно снимать потенциальный параллельный двоичный код.

**Результаты эксперимента и выводы.** Рассмотренная схема ЦЧП построена и реализована на транзисторных резервированных микро-модульных динамических элементах запрета и повторения с тактовой частотой питания  $GI f = 2 \text{ МГц}$  ( $T = 0,5 \text{ мкс}$ ). При этом время опроса одного разряда составляет 1 мкс (2 такта GI), а полный цикл опроса ЦДУ составляет не более 22 мкс ( $f_{\text{опр}} \approx 50 \text{ кГц}$ ). Все устройство потребляет от источника питания не более 1—2 Вт и работает устойчиво при отклонении напряжения источника питания на  $\pm 20\%$  в температурном диапазоне от  $-50$  до  $+50^\circ \text{C}$ .

Необходимо отметить, что, по сравнению с аналогичными преобразователями [2], описываемое устройство обладает рядом существенных преимуществ. Во-первых, применение трансформаторного ЦДУ, обладающего высокой механической прочностью и надежностью, позволило значительно упростить схему ЦЧП и построить ее всего на двух типах универсальных динамических элементов. Такое построение устройства ЦЧП повысило надежность преобразователя в несколько раз. Выполненная цифровая часть преобразователя совместно с цифровым датчиком угла в течение нескольких лет эксплуатации практически не имела ни одного отказа. Во-вторых, быстродействие ЦЧП ограничивается только частотными свойствами ЦДУ и может быть доведено до 1 МГц (для ЦДУ с параллельным считыванием), что значительно превышает быстродействие известных преобразователей.

В случае замены электрического редуктора ЕМФ механическим на основе таких ЦДУ совместно с ЦЧП можно строить универсальные преобразователи «угол — код» с точностью до 12-го разряда ( $5'—6'$ ).

Применение интегральных динамических элементов с регенеративным расширением [5], более высокочастотных ЦДУ и включение ЦДУ по схеме с параллельным считыванием [4] позволит повысить частоту опроса  $f_{\text{опр}}$  на один-два порядка.

Описанные логические схемы и узлы могут найти применение в автоматике и измерительной технике.

Авторы приносят благодарность д-ру техн. наук А. Г. Филиппову за консультацию и помощь в работе по данной статье.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. В. Сеницын, В. П. Петропавловский, В. Н. Прилепов, А. П. Жарков. Комбинированная фазовая следящая система высокой точности.— В сб. «Элементы цифровых систем управления». Л., «Наука», 1971.
2. В. П. Максимов, В. П. Савин. Съём информации с кодовых дисков и ввод данных в вычислительную машину.— В сб. «Автоматизированный электропривод». М.— Л., «Наука», 1965.
3. В. А. Мясников, А. Г. Филиппов, Н. В. Сеницын, Ю. И. Кононыкин. Дискретная часть двухотсчетного преобразователя «угол — код» высокой точности.— В сб. «Элементы цифровых систем управления». Л., «Наука», 1971.
4. М. И. Борзов. Индуктивные преобразователи угла в код. М., «Энергия», 1970.
5. А. Г. Филиппов. Транзисторные динамические элементы ЦВМ. М., «Советское радио», 1969.

*Поступила в редакцию 3 августа 1971 г.,  
окончательный вариант — 13 января 1972 г.*