

ЦИФРОВОЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОТКЛОНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ОТ ЗАДАННОГО КУРСА

А. А. Волков, Э. А. Дедиков, А. Г. Евдокимов, А. П. Стахов

Харьков

При управлении объектами некоторого класса возникает необходимость контроля их отклонения от заданного курса на всем пути следования. Большинство существующих датчиков позволяют судить об отклонении объекта от заданного курса по величине угла, образованного между заданным и действительным направлением движения. При этом величина отклонения может быть определена выражением

$$Y_n = \sum_{i=1}^n f(X_i), \quad (1)$$

где Y_n — отклонение объекта от заданного курса на n -м участке пути;
 X_i — показания датчика на i -м участке пути.

Реализация (1) с наименьшими потерями информации удобнее осуществляется на цифровом вычислительном устройстве. Использование цифрового вычислительного устройства вызывает необходимость преобразования входных сигналов (обычно представляющих собой непрерывно изменяющиеся напряжения постоянного тока) в цифровую форму.

Подобная задача возникает при автоматизации проходческих работ в шахтных условиях. Отклонение проходческой машины от заданного курса в плоскости пласта при использовании магнитно-модуляционного датчика ММД вычисляется по выражению

$$Y_n = \sum_{i=1}^n U_i k, \quad (2)$$

где U_i — показания датчика в виде напряжения постоянного тока;
 k — коэффициент пересчета угла в отклонение.

Коэффициент k является функцией характеристики датчика ММД, шага измерений (участка пути между соседними измерениями) и угла наклона пласта.

Диапазон изменения коэффициента k задан и лежит в пределах $k_{\max} \div k_{\min}$. Предусматривается возможность задания коэффициента k с требуемой погрешностью Δk . Значение k выставляется перед включением прибора в работу и остается постоянным в течение цикла проходки.

Выражение (2) определяет последовательность работы вычислительного устройства, блок-схема которого представлена на рис. 1.

Выходное напряжение датчика ММД (при $R_n = 1$ ком) изменяется в пределах от -100 до $+100$ мв. Поэтому при практической реализации вычислительного устройства основная трудность возникает при создании биполярного преобразователя «напряжение — код». Обычно преобразо-

вание малых биполярных сигналов осуществляется только после предварительного усиления, что, естественно, увеличивает погрешность преобразования и усложняет аппаратуру.

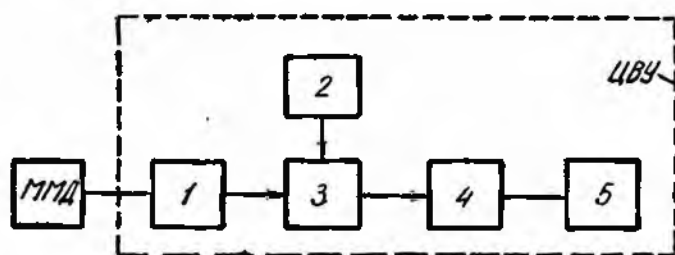


Рис. 1. Блок-схема вычислительного устройства:

1 — преобразователь «напряжение — код»; 2 — блок набора коэффициента k ; 3 — блок умножения на коэффициент k ; 4 — накопитель результата; 5 — блок индикации результата; ЦВУ — цифровое вычислительное устройство.

В Харьковском институте горного машиностроения, автоматики и вычислительной техники разработан прибор для автоматического контроля направления движения проходческих машин в плоскости пласта, в основу которого положен биполярный преобразователь малых напряжений без предварительного усиления последних.

Биполярный преобразователь «напряжение — код»

Функциональная схема биполярного преобразователя «напряжение — код» представлена на рис. 2. В основу биполярного преобразователя положен циклический преобразователь «напряжение — код» с обратной связью, описанный в [1].

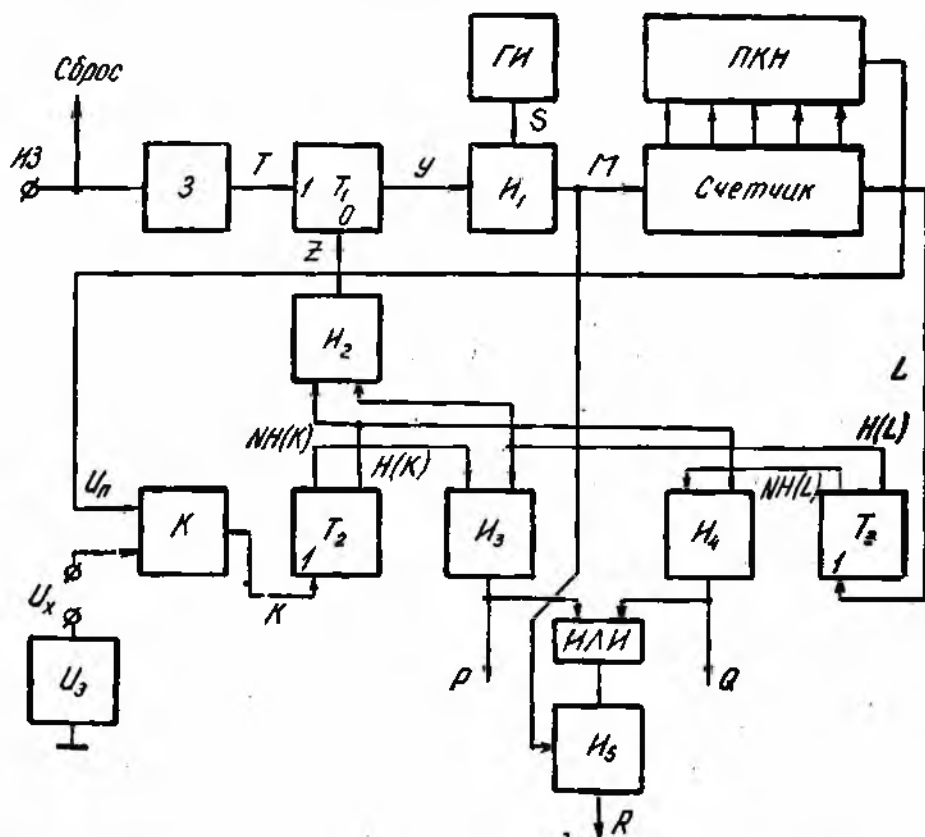


Рис. 2. Функциональная схема биполярного преобразователя «напряжение — код».

Работа схемы описана с использованием аппарата алгебры состояний и событий [2]. Импульс запуска ИЗ производит сброс схемы в нуле-

вое состояние. Преобразование начинается в момент поступления с выхода каскада задержки Z импульса. Этот момент будем считать за начало отсчета дискретного времени. Без нарушения общности рассуждений считается, что момент t_0 совпадает с моментом появления одного из тактовых импульсов. Если принять за единицу дискретного времени период следования тактовых импульсов, то импульсную функцию S на выходе ГИ, равную единице в каждый дискретный момент времени, можно представить в виде

$$S(t) = \bigvee_{i=0}^{N_{\max}} U_i^t, \quad (3)$$

где $\bigvee$ — означает логическую сумму импульсных функций U_i^t , значение истинности которой равно 1 в дискретный момент;
 $N_{\max}$ — последний рассматриваемый момент времени, равный

$$N_{\max} = 2^n - 1;$$

n — число разрядов счетчика импульсов.

Преобразуемое напряжение U_x , знак и величина которого являются неизвестными, поступает на вход компаратора K относительно некоторого эталонного напряжения U_0 , причем

$$|U_0| > |U_{x \max}|.$$

На второй вход компаратора поступает напряжение U_n с выхода обратного преобразователя «код—напряжение». Для преобразователя «код—напряжение» зависимость между U_n и кодом, записанным в счетчик, имеет вид

$$U_n = K_d \sum_{i=0}^{n-1} a_i 2^i, \quad (4)$$

где K_d — дискретность преобразования;

a_i — двоичная цифра в разряде кода.

Логическое выражение для M имеет вид

$$M = S \cdot Y. \quad (5)$$

Сигнал Y в понятиях алгебры состояний является функцией входных сигналов триггера T и Z :

$$Y = H(T) \cdot B(Z), \quad (6)$$

где H соответствует оператору «Присходить»; а $B(Z)$ — оператору «До (Z)».

Учитывая, что $B(Z) = NH(Z)$, запишем:

$$Y = H(T) \cdot NH(Z), \quad (7)$$

где N соответствует оператору «Отрицание».

При работе счетчика в режиме накопления $U_n(t_i)$ представляет ступенчатое пилообразное напряжение, связанное с дискретным временем линейной зависимостью

$$U_n(t_i) = K_d t_i,$$

где t_i — i -й дискретный временной интервал (i -м дискретным интервалом называется единичный интервал, следующий непосредственно за i -м дискретным моментом времени).

Величина напряжения U_0 выбирается равной U_n при записи в счетчик кода «100...0», т. е.

$$U_0 = K_d \cdot 2^{n-1}. \quad (8)$$

Обозначим через E высказывание « $U_s = U_n(10 \dots 0)$ ». Если рассматривать U_n как функцию дискретного времени, то значение истинности высказывания E также является функцией дискретного времени $E = E(t_i)$. Из определения E следует, что эквивалентными E являются следующие высказывания:

$F(t_i)$ — «в момент t_i в счетчик записывается код $10 \dots 0$ » и $L(t_i)$ — «в момент t_i происходит перенос единицы в n -й разряд счетчика», т. е.

$$E(t_i) = F(t_i) = L(t_i). \quad (9)$$

Сняв импульсный сигнал с n -ого триггера счетчика в момент переноса единицы и подав на триггер T_3 , получим сигналы $H(L)$ и $NH(L)$. Работа компаратора описывается логическим уравнением

$$Y = \text{sign}(U - V), \quad (10)$$

где Y — выходной сигнал компаратора;

U, V — входные напряжения.

Операция $\text{sign } \Delta U$ определена следующим образом

$$\begin{cases} \text{sign } \Delta U = 1; & \text{если } \Delta U \geq 0; \\ \text{sign } \Delta U = 0; & \text{если } \Delta U < 0. \end{cases}$$

Подставляя в (10) значение $U = U_n(t_i)$ и $V = U_s + U_x$, найдем выражение для сигнала K , как функции дискретного времени

$$K(t_i) = \text{sign}[U_n(t_i) - (U_s + U_x)] = \text{sign}[K_d t_i - (U_s + U_x)]. \quad (11)$$

Дискретный момент времени, в который появится сигнал $K(t_i)$, определяется из (11):

$$t_i = \frac{U_s + U_x}{K_d}.$$

Из (11) следует, что при $U_x = 0$

$$K(t_i) = E(t_i) = L(t_i),$$

причем

$$t_i = \frac{U_s}{K_d} = \frac{K_d \cdot 2^{n-1}}{K_d} = 2^{n-1}.$$

Подав сигнал $K(t_i)$ на триггер T_3 , получим сигналы $H(K)$ и $NH(K)$.

Если $U_x > 0$, то $t_i > 2^{n-1}$. При этом сигнал $K(t_i)$ появится позже $L(2^{n-1})$ на величину $\Delta t_x = \frac{|U_x|}{K_d}$. В данном случае логические функции $H(K)$ и $H(L)$ связаны оператором «Задержка»:

$$H(K) = D^{\Delta t_x} H(L). \quad (12)$$

Сигнал P , свидетельствующий о положительном знаке U_x , может быть получен как конъюнкция высказываний:

$$P = H(L) \cdot B(K) = H(L) \cdot NH(K) = H(L) \cdot ND^{\Delta t_x} H(L). \quad (13)$$

Если $U_x < 0$, то $t_i < 2^{n-1}$. При этом сигнал $L(2^{n-1})$ появится позже $K(t_i)$ на величину $\Delta t_x = \frac{|U_x|}{K_d}$. В данном случае

$$H(L) = D^{\Delta t_x} H(K). \quad (14)$$

Сигнал Q , свидетельствующий об отрицательном знаке U_x , может быть получен как конъюнкция высказываний:

$$Q = H(K) \cdot B(L) = H(K) \cdot NH(L) = H(K) \cdot ND^L A \quad (15)$$

Из рассмотрения графиков рис. 3 легко убедиться в справедливости следующего утверждения:

$$t(A \cdot ND^L A) = l \quad (16)$$

при

$$l \leq t(A),$$

где $t(A)$ — длительность в дискретном времени высказывания A ;
 l — длительность в дискретном времени задержки высказывания A .

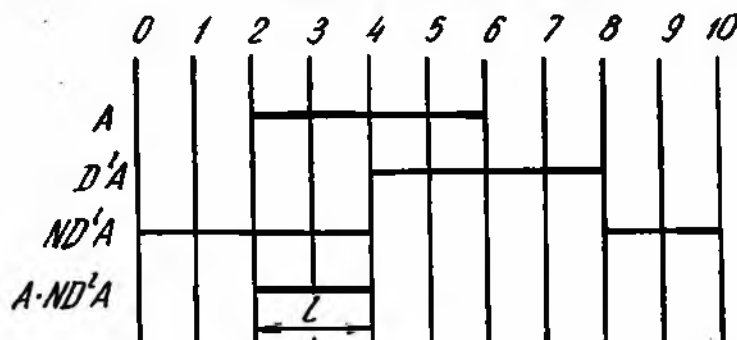


Рис. 3. Доказательство утверждения:
 $t(A \cdot ND^L A) = l$ при $l \leq t(A)$.

Из (13), (15), (16) следует:

$$t(P) = t(Q) = \Delta t_x.$$

Взяв конъюнкцию высказываний M и Q или P , получим логическое выражение для сигнала R , по которому поступает последовательность импульсов, пропорциональная входному напряжению:

$$R = M \cdot (QVP). \quad (17)$$

Графическое построение булевых временных функций, определяемых выражениями (3), (5), (6), (7), (12), (13), (14), (15), представлено на рис. 4.

Блок умножения и блок набора коэффициента k

Блоки набора коэффициента k и умножения на этот коэффициент совмещены с блоком преобразователя «напряжение — код». Умножение на постоянный коэффициент k производится путем изменения дискретности преобразователя «код — напряжение».

Преобразователь «код — напряжение» с переменной дискретностью представлен на рис. 5. Выходное напряжение как функция положения ключей $K_0 \div K_{m-1}$ и кода, записанного в счетчик импульсов, имеет вид [3]

$$U_{\text{вых}} = \frac{E_0}{2^n} \frac{1}{1 + R \cdot g \sum_{i=0}^{m-1} b_i 2^i} \sum_{i=0}^{n-1} a_i 2^i, \quad (18)$$

где a_i — цифра в разряде кода;

b_i — индикатор положения i -го ключа, определенный следующим образом:

$b_i = 1$, если ключ K_i замкнут;

$b_i = 0$, если ключ K_i разомкнут.

Число импульсов, пропорциональное входному напряжению

$$N_x = \alpha U_x,$$

где

$$\alpha = \frac{2^n}{E_0} \left(1 + R \cdot g \sum_{i=0}^{m-1} b_i 2^i \right). \quad (19)$$

Из (19) определим:

$$\alpha_{\min} = \frac{2^n}{E_0}. \quad (20)$$

Если α численно равно K , то по каналу R поступает последовательность импульсов, численно равная KU_x и, следовательно, приращению отклонения от заданного курса на i -м участке.

Обозначим отношение $\frac{K}{K_{\min}} = \gamma$. Тогда $\gamma_{\min} = 1$; $\gamma_{\max} = \frac{K_{\max}}{K_{\min}}$; $\alpha = \gamma K_{\min} = \gamma \cdot \alpha_{\min}$. Выбор E_0 производится исходя из условия:

$$|U_{x \max}| < |U_{\alpha \min}| = \frac{2^{n-1}}{\alpha_{\max}}. \quad (21)$$

Учитывая, что $\alpha_{\max} = \gamma_{\max} \cdot \alpha_{\min}$, из (20), (21), получим условие для выбора E_0 :

$$E_0 > 2U_{x \max} \gamma_{\max}. \quad (22)$$

Число разрядов счетчика n и напряжение E_0 находятся в соотношении:

$$\alpha_{\min} = \frac{2^n}{E_0}. \quad (23)$$

E_0 выбирается с учетом условия (22) так, чтобы точно выполнялось равенство (23).

Пример расчета преобразователя «код — напряжение» с переменной дискретностью по заданным $U_{x \max} = 100$ мВ;

$K_{\min} = 0,07$ дм/мВ; $K_{\max} = 0,35$ дм/мВ; $\gamma_{\max} = 5$.

1. $E_0 \geq 2 \cdot 100 \cdot 5 = 1000$ мВ;
2. $\alpha_{\min} = 0,07$ ед/мВ;
3. $n = \lceil \lg_2 E_0 \alpha_{\min} \rceil + 1 = 7$;
4. $E_{0p} = \frac{2^7}{0,07[\text{ед/мВ}]} = 1817$ мВ.

Источник эталонного напряжения

Схема источника эталонного напряжения U_0 представлена на рис. 6. Для того, чтобы снизить требования к точности изготовления проводимостей ($g \div 16g$), после набора коэффициента производится согласование уровней U_0 и $U_n(10 \dots 0)$. Если выбрать $R_1 < R$, то согласование уровней может быть произведено сопротивлением R_n .

Блок накопления результата и блок индикации

Схема блока накопления результата и блока индикации показана на рис. 7. Блок накопления результата состоит из реверсивного счетчика и триггера знака, в качестве которого используется триггер $n + 1$ -го разряда реверсивного счетчика. Управление реверсивным счетчиком производится сигналами P и Q с выхода биполярного преобразователя.

Блок индикации предназначен для индикации абсолютной величины и знака отклонения машины от заданного курса. Следует отметить, что применение цифровой индикации в виде лампочек, присоединенных к единичным коллекторам триггеров, создает неудобство в отсчете отклонения, так как при отрицательном знаке отклонения информация с лампочек представляет дополнительный код числа, записанного в счетчик.

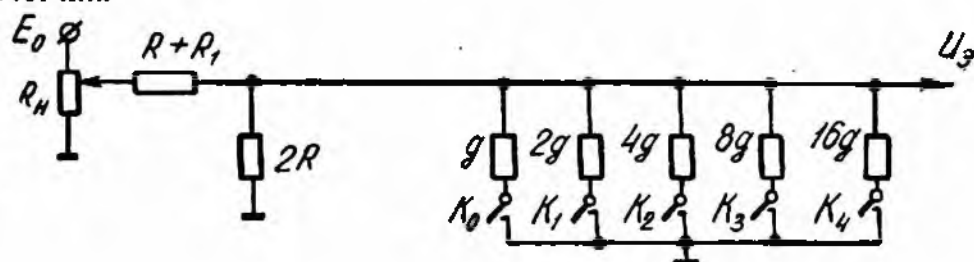


Рис. 6. Источник эталонного напряжения.

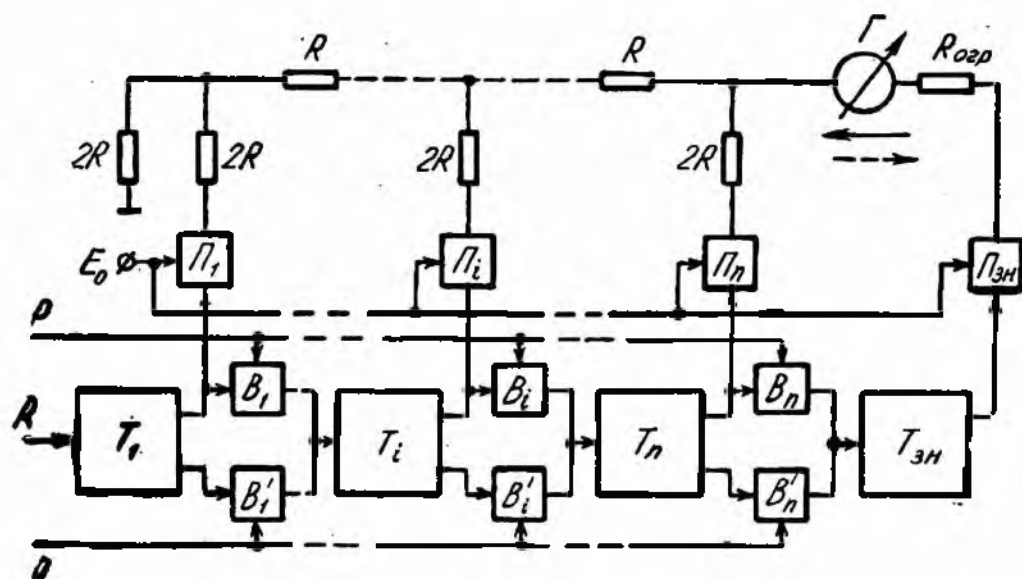


Рис. 7. Блок индикации.

В этом случае для получения абсолютной величины отклонения необходимо взять дополнение от полученного числа:

$$B_{\text{доп}} = 2^n - B. \quad (24)$$

Такая задача решается просто в случае приборной индикации. Для этого число в счетчике должно быть преобразовано в напряжение обратным преобразователем «код—напряжение».

Выражение для напряжения на выходе преобразователя «код—напряжение» относительно нулевого уровня имеет вид

$$U_{\text{вых}} = \frac{E_0}{2^n} \sum_{i=0}^{n-1} a_i 2^i = \frac{E_0}{2^n} B, \quad (25)$$

где B — число, записанное в счетчик. Напряжение на выходе преобразователя относительно уровня E_0 имеет вид

$$U'_{\text{вых}} = \frac{E_0}{2^n} \left[2^n - \sum_{i=0}^{n-1} a_i 2^i \right] = \frac{E_0}{2^n} (2^n - B). \quad (26)$$

Сравнивая (24) и (26), легко видеть, что $U'_{\text{вых}}$ представляет собой произведение дискретности преобразования на дополнительный код числа, записанного в счетчик.

Из (25) и (26) следует простой способ построения блока индикации. В качестве прибора индикации используется гальванометр со средней нулевой точкой, последовательно с которым включено сопротивление $R_{\text{огр}}$. Система «Г — $R_{\text{огр}}$ » одним концом постоянно соединена с выходом декодирующей матрицы, вторым концом с переключателем напряжения $P_{\text{зн}}$, управляемым триггером знака $T_{\text{зн}}$. Если знак отклонения положителен и в счетчике хранится прямой код отклонения, $T_{\text{зн}}$ находится в состоянии «0» и на выходе $P_{\text{зн}}$ фиксируется нулевой потенциал. Ток через гальванометр (при отрицательном E_0) течет так, как это показано на рис. 7 сплошной стрелкой; указатель отклоняется влево на величину, пропорциональную выражению (25). При отрицательном знаке отклонения в счетчике хранится дополнительный код отклонения $V_{\text{доп}}$. $T_{\text{зн}}$ находится в состоянии «1» и на выходе $P_{\text{зн}}$ фиксируется потенциал E_0 . Направление тока через гальванометр изменяется, указатель отклоняется вправо на величину, определяемую выражением (26). Согласно (26) отклонение указателя пропорционально дополнению от $V_{\text{доп}}$, т. е. самому числу V .

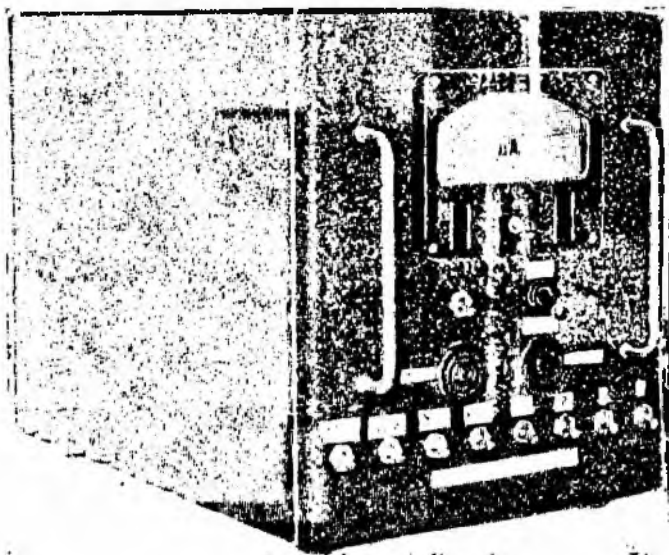


Рис. 8. Внешний вид прибора для контроля отклонения объектов от заданного курса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Макет цифрового вычислительного устройства для контроля отклонения проходческой машины от заданного курса был собран на потенциальных элементах.

Принципиальные схемы основных узлов прибора (компаратора, преобразователя «код — напряжение») описаны в [1].

Внешний вид прибора изображен на рис. 8.

Испытания прибора, проведенные в лабораторных условиях, свидетельствуют о том, что прибор удовлетворяет техническим требованиям, и подтверждают целесообразность его практического внедрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Стахов. Циклический преобразователь «напряжение — код» на полупроводниковых приборах с цепью обратной связи. Изд-во ГОСИНТИ, 1964.
2. Э. Беркли. Символическая логика и разумные машины. Изд-во иностр. л-ры, 1961.
3. Э. И. Гитис. Преобразователи информации для цифровых вычислительных работ. Госэнергоиздат, 1960.