

Ц 8416
П-199

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

12/v-70

P10 - 4989



ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

Живко Паскалев

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО
ЗАПОМИНАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ФУНКЦИЙ

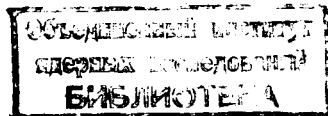
1970

670

P10 - 4989

Живко Паскалев

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО
ЗАПОМИНАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ФУНКЦИЙ



Паскалев Живко

P10-4989

Информационные возможности аналого-цифрового
запоминающего устройства для хранения временных функций

Дается краткое описание и принцип работы аналого-цифрового запоминающего устройства. Определяется количество информации для одного запоминающего элемента при равномерном распределении входной величины x и погрешности y . Результаты представлены в виде графика и таблиц $I(x/z)$ для разных N_{Δ} и $n = \frac{\Delta}{y}$.

Сообщения Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1970

Paskalev Zh.B.

P10-4989

Informational Possibilities of Analog-Digital Memory
for Storing Time Functions

Brief description and the operating principles of analog-digital memory are given in this work. The quantity of information of a single memory element is determined for even distribution of the input variable x and the error y . Results $I(x/z)$ for different N_{Δ} and $n = \frac{\Delta}{y}$ are given in the form of a curve and a table.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1970

Проблема преобразования информации из аналоговой формы в цифровую и обратно возникает при связи электронной вычислительной цифровой машины с реальными объектами, при создании замкнутых систем автоматического регулирования и т.д. Очень часто в этих системах нужно как можно точнее повторить входную функцию через определенный интервал времени.

Известные в настоящее время системы осуществляют задержку через запоминание текущего значения функции в виде напряжения электрического конденсатора. В описываемом устройстве имеется возможность запоминания ряда значений входной функции и их воспроизведения через практически неограниченный интервал времени (время задержки).

Основным элементом запоминающего устройства является феррит-транзисторный фазоимпульсный элемент с N устойчивыми состояниями, использующий принцип интегрирования импульсов. Этот принцип состоит в следующем: если на вход электрической цепи, содержащей обмотку с магнитным сердечником из материала с прямоугольной петлей гистерезиса, подаются импульсы с амплитудой U , продолжительностью t_i и произвольной формы и если один импульс недостаточен для полного перемагничивания сердечника, наблюдается постепенное перемагничивание - постепенный переход через несколько промежуточных устойчивых состояний (рис. 1). Количество их определяется формулой:

$$N = \frac{2B_r}{\Delta B} = \frac{2B_r \omega S}{\int_0^{\infty} U dt} \quad (1)$$

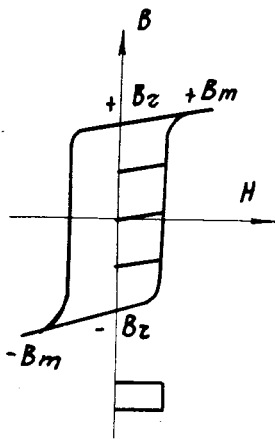


Рис. 1.

Данная схема элемента со многими устойчивыми состояниями обладает следующими важными свойствами: при увеличении напряжения питающего источника увеличивается и амплитуда генерируемых импульсов. При этом длительность импульсов уменьшается так, что их площадь остается практически постоянной. То же самое наблюдается при изменении температуры.

Выход одного элемента может служить входом для следующего. Таким образом, можно связывать неограниченное число элементов. Частота следования входных импульсов - $100 + 500$ кГц (в зависимости от типа феррита).

Запоминающее устройство (рис. 3) состоит из блока записи, блока чтения, запоминающих и логических элементов, дешифратора, регистра и пульта.

Запоминание непрерывного сигнала состоит в представлении этого сигнала рядом его последовательных во времени квантованных мгновенных значений.

где B_r - остаточная магнитная индукция материала, w - число витков интегрирующей обмотки, S - поверхность сечения сердечника и U и $t_{и}$ - параметры импульса.

Принципиальная схема (рис. 2) запоминающего элемента с десятью устойчивыми состояниями /1/ состоит из:

формирователя (транзисторы T_1 и T_2 и ферритовый сердечник Φ_1) и накопительного элемента (транзистор и ферритовый сердечник Φ_2).

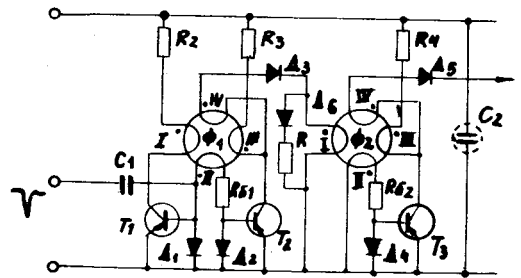


Рис. 2.

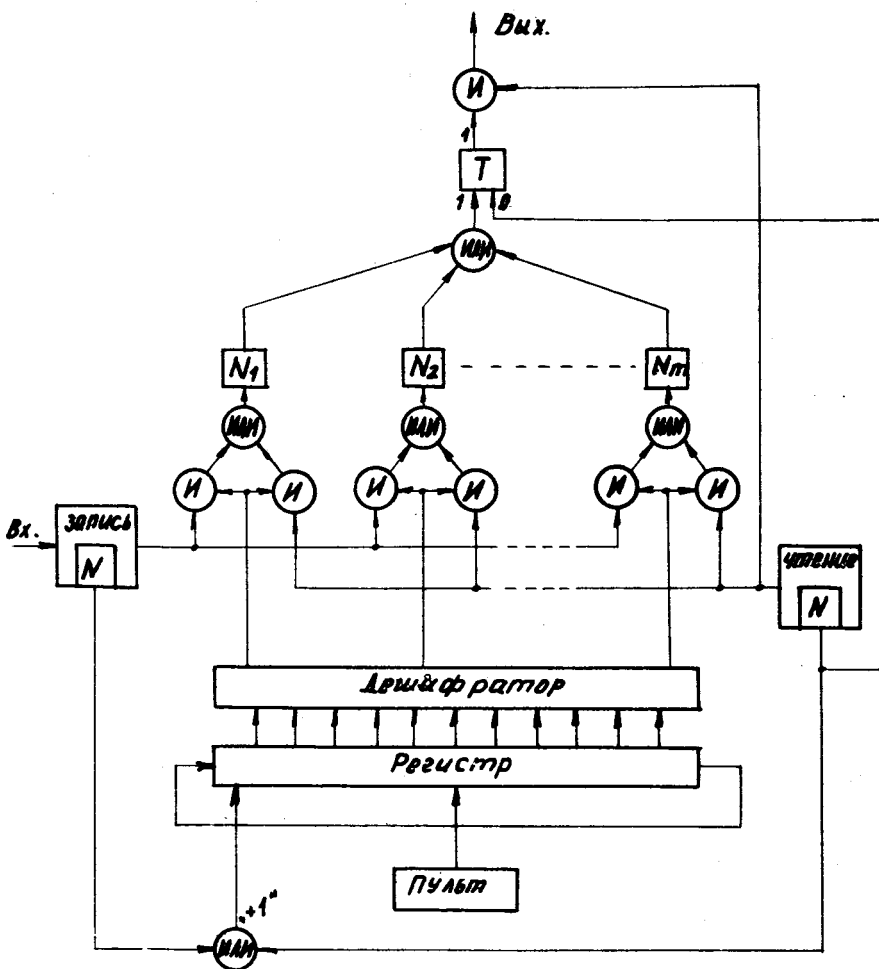


Рис. 3.

Входная информация в виде аналоговой функции времени поступает в блок записи. Здесь производится время-импульсное преобразование, при котором мгновенное значение непрерывной величины преобразуется в пропорциональный временной интервал, в течение которого на вход очередного запоминающего элемента поступает определенное число импульсов от генератора с фиксированной частотой. Кроме того элемент N в блоке записи вырабатывает импульс "+1" к регистру.

Регистр - кольцевой, накапливающий. Состояние регистра анализируется дешифратором, который дает разрешение для записи или чтения только в один запоминающий элемент. Первоначальное состояние регистра разрешает запись или чтение в N_1 , потом в N_2 и т.д. до N_m .

Чтение записанной информации может начаться сразу после записи в N_m . В блоке чтения имеется генератор импульсов с частотой следования, равной частоте генератора блока записи, и элемент N , который и здесь вырабатывает импульс "+1" к регистру. Чтение производится следующим образом. Если, например, в N_1 записали k импульсов, то на выходе N_1 появится сигнал только тогда, когда количество импульсов, поступивших из блока чтения, будет $N-k$. Выходной сигнал N_1 через схему "ИЛИ" ставит триггер T в "1". Начиная с этого момента остальные k импульсов, кроме идущих на вход N_1 , поступают на схему "И", управляемую триггером T , и появляются на выходе. Таким образом, в результате чтения запоминаемая информация появляется на выходе устройства и восстанавливается в запоминающих элементах. Это дает возможность многократного чтения одной и той же записанной информации.

Пульт служит для первоначальной установки состояния регистра. При желании запись или чтение можно начинать с любого запоминающего элемента N_i ($i=1-m$).

Если частоту следования импульсов, выработанных в блоке чтения, сделать отличной от частоты в блоке записи, то можно "растягивать" или "сжимать" записанную функцию во времени. Это изменяет спектральную характеристику выходной функции и дает возможность согласования при передаче запоминаемого сигнала по каналу.

При этом способе запоминания достичь максимальной точности можно при минимальных интервалах времени между двумя значениями функции на участках функции с максимальной крутизной. Данное запоминающее устройство принципиально дает возможность записи и чтения с переменным шагом во времени.

Чтобы получить представление о точности запоминания /4/ при частоте следования входных импульсов $f_{\text{макс}} = 100$ кгц, $N = 100$, $m = 100$ и при допустимой приведенной погрешности $\gamma = 1\%$, можно запоминать синусоидальный сигнал с частотой $f = 252$ гц.

Выходы элементов N_1 могут быть использованы для наблюдения запоминаемой функции на экране осциллографа начиная с любой точки функции.

Если $N = 100$, $m = 100$, $f_{\text{макс}} = 100$ кгц, то минимальное время, через которое можно начать чтение, составляет 0,1 сек после записи в N_1 . Максимальное время практически не ограничено, тем более, что записанная информация сохраняется и после выключения питающего напряжения.

Данное запоминающее устройство может найти применение как память аналоговой машины, для моделирования в реальном масштабе времени, в системах автоматического управления разных производственных процессов, для моделирования корреляционных функций и т.д.

Для исследования информационных возможностей данного запоминающего устройства используются методы теории информации /5/, так как они позволяют рассматривать статистические характеристики не только входных величин, являющихся случайными функциями времени, но и случайных погрешностей. При этом количество информации, которое является обобщенной оценкой информационных возможностей устройства, определяется для одного запоминающего элемента. Если принять, что значения запоминаемой функции в разные моменты квантования статистически независимы друг от друга, то общее количество информации для всего устройства определяется как сумма информации всех запоминающих элементов.

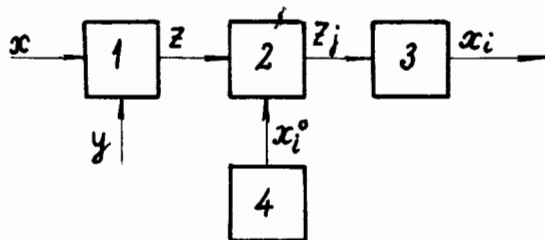


Рис. 4.

Блок-схема запоминания показана на рис. 4. Входная величина x претерпевает ряд преобразований. В промежуточном преобразователе 1 к x добавляются случайные по своему характеру абсолютные погрешности y преобразования и на вход квантующего устройства 2 поступает "смесь" $z = f(x, y)$. В этом устройстве сравниваются значения z с дискретными значениями эталонной величины, поступающей из источника 4. От выходного блока 3 импульсы поступают на вход выбранного запоминающего элемента N .

Количество информации определяется из следующих условий:

1. Законы распределения вероятностей входной величины и погрешности неизменны во времени - процессы стационарны.
2. Значения погрешностей промежуточного преобразователя не зависят от значений входной величины и аддитивны к ним, т.е. $z = x + y$.
3. Погрешности при формировании эталонной величины и зона нечувствительности квантующего устройства пренебрежимо малы.

Естественно, что при вычислении количества информации мы должны использовать такие параметры, которые реально отражают характеристики устройства и входные величины. В качестве таких параметров принимаем интервал квантования Δ по оси z , определяемый эталонной величиной, и законы распределения входной величины x и погрешности y .

Количество информации для величины x (по Шеннону) определяется формулой:

$$I(x/z) = H(x) - H(x/z). \quad (2)$$

Здесь $H(x)$ – безусловная энтропия x , т.е. при $y = 0$; $H(x/z)$ – условная энтропия x при условии z , т.е. при $y \neq 0$.

Первый член формулы (2) при вышеуказанных условиях имеет вид:

$$H(x) = - \sum_i p(x_i) \ln p(x_i). \quad (3)$$

X_i определяется неравенством

$$x_{i-1}^0 \leq x < x_i^0.$$

Если задана плотность вероятности $f_x(x)$, то

$$p(x_i) = \int_{x_{i-1}^0}^{x_i^0} f_x(x) dx,$$

а энтропия

$$H(x) = - \sum_i \int_{x_{i-1}^0}^{x_i^0} f_x(x) dx \ln \int_{x_{i-1}^0}^{x_i^0} f_x(x) dx. \quad (4)$$

Вследствие погрешности при преобразовании после получения x_i остается некоторая неопределенность относительно действительного значения x . Мерой этой неопределенности является условная энтропия $H(x/z)$. Она представляет собой взвешенную соответствующими вероятностями сумму частных условных энтропий $H(x/z_j)$

$$H(x/z) = \sum_j p(z_j) H(x/z_j). \quad (5)$$

Индекс j присваивается текущим значениям z .

$H(x/z_j)$ определяется формулой:

$$H(x/z_j) = - \sum_i p(x_i/z_j) \ln(p(x_i/z_j)).$$

Определение значений $p(x_i/z_j)$ связано с необходимостью построения частных законов распределения вероятностей z при условии, что x находилось в пределах i -того интервала. В теории вероятностей известны методы построения результирующих законов распределения $\phi_z(z/x_i)$ при совместном действии x (в пределах i -того интервала) и погрешности y . Пользуясь этими методами, после неслож-

ных выкладок получаем формулу для общего количества информации:

$$I(x/z) = - \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N \int_{z_{j-1}}^{z_j} \phi_z(z/x_i) dz \int_{x_{i-1}^0}^{x_i^0} f_x(x) dx \ell_n \frac{\int_{z_{j-1}}^{z_j} \phi_z(z/x_i) dz}{\sum_{i=1}^N \int_{z_{j-1}}^{z_j} \phi_z(z/x_i) dz \int_{x_{i-1}^0}^{x_i^0} f_x(x) dx} . \quad (6)$$

При применении формулы (6) к конкретным случаям она существенно упрощается благодаря:

- а) малому значению y (тогда $I(x/z) = H(x)$) и тому, что
- б) $p(x_i) \approx df_x \cdot \Delta$, ($x = i \cdot \Delta$),
- в) $z = f(x, y) = x + y$.

Целью настоящей работы являлось определение информационных возможностей описываемого запоминающего устройства, поэтому естественно было принять равномерное распределение плотности вероятностей входной величины x , которое обладает экстремальными свойствами. Что касается y , то для него представляет интерес равномерное распределение, так как оно обладает наиболее "разрушительными" свойствами среди одномодальных законов распределения.

Если через L обозначить диапазон изменения входной величины x , а через Δ - минимальный интервал $x_i^0 - x_{i-1}^0$, в котором рассматриваем x_i , из формулы (3) при условии $p(x_i) = \frac{\Delta}{L}$ получаем

$$H(x) = - \sum_{i=1}^N \frac{\Delta}{L} \ell_n \frac{\Delta}{L} = \ell_n \frac{L}{\Delta} . \quad (7)$$

Если D - диапазон запоминания одного элемента, то $N = \frac{D}{\Delta}$ и тогда

$$H(x/z) = - \frac{\Delta}{L} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N p(z/x_i) \ell_n \frac{p(z_j/x_i)}{\sum_{i=1}^N p(z_j/x_i)} . \quad (8)$$

Чтобы определить значения $p(z_j/x_i)$, нужно составить композицию $z = x + y$ по методам теории вероятностей. На рис. 5 показано получение $\phi(z/x)$ - плотности вероятности условной (при условии $(i-1)\Delta \leq x \leq i\Delta$) композиции при равномерном распределении случайных величин x и y .

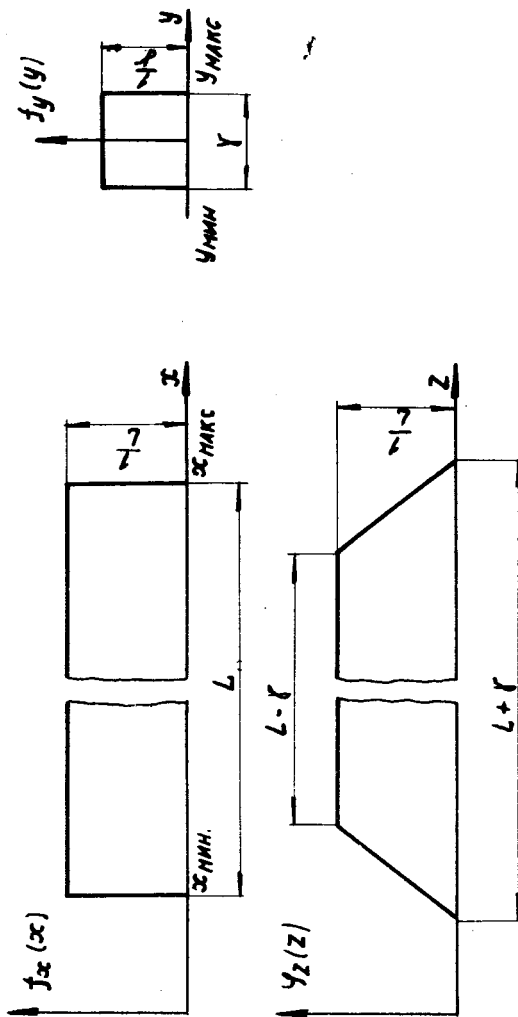


Рис. 5.

Вероятность $p(z_j/x_1)$ определяется формулой:

$$p(z_j/x_1) = \int_{(j-1)\Delta^z}^{j\Delta^z} \phi(z/x_1) dz.$$

Общая композиция $z = x + y$ получается как сумма условных композиций (рис. 6). Число интервалов N по оси z , для которых $p(z_j/x_1) \neq 0$, равно $\frac{L}{\Delta} + d$, где $d = 2k$, а k - натуральное число, определяемое неравенством

$$k-1 < 0,5 \frac{y}{\Delta} \leq k.$$

От построения общей композиции с помощью несложных выкладок получаем формулу для условной энтропии:

$$H(x/z) = - \left[\sum_{i=1}^{\frac{L}{\Delta}} p(z_j/x_1) \ln p(z_j/x_1) - 2 \frac{\Delta}{L} \sum_{j=1}^d \sum_{i=1}^{\frac{L}{\Delta}} p(z_j/x_1) \ln \sum_{i=1}^{\frac{L}{\Delta}} p(z_j/x_1) \right], \quad (9)$$

по которой можно точно вычислить условную энтропию.

Так как в большинстве случаев $L \gg y + \Delta$, то мы можем пренебречь вторым членом в скобках. При этом получаем оценку сверху для $H(x/z)$:

$$\bar{H}(x/z) = - \sum_{i=1}^{\frac{L}{\Delta}} p(z_j/x_1) \ln p(z_j/x_1). \quad (10)$$

Из рис. 6 видно, что число слагаемых, для которых $p(z_j/x_1) \neq 0$, равно $d+1$.

Тогда

$$\bar{H}(x/z) = \sum_{j=1}^{d+1} p(z_j/x_1) \ln p(z_j/x_1). \quad (11)$$

В этом случае $\bar{H}(x/z)$ не зависит от L .

Очень важным (даже единственным) аргументом при определении условной энтропии при равномерном распределении x и y является отношение $n = \frac{\Delta}{y}$. Зависимость $\bar{H}(x/z)$ от n дана на рис. 7.

Если в формулу (2) для определения количества информации поставить $\bar{H}(x/z)$ вместо $H(x/z)$, то получим оценку снизу для $I(x/z)$:

$$\underline{I}(x/z) = \ln \frac{L}{\Delta} - \sum_{j=1}^{d+1} p(z_j(x)) \ln p(z_j/x_j) \quad (12)$$

или

$$\underline{I}(x/z) = \ln N_{\Delta} - \bar{H}_{\Delta}(x/z). \quad (13)$$

По формуле (13) сначала вычисляем $\ln N_{\Delta}$, потом для заданного n находим $\bar{H}_{\Delta}(x/z)$ (рис. 7) и, таким образом, определяем количество информации для одного запоминающего элемента.

В таблице 1 даны значения $\underline{I}(x/z)$ для разных N_{Δ} и n , а на рис. 8 показаны кривые $\underline{I}(x/z)$ для $n = 0,1$, $n = 0,5$ и при $H(x/z) = 0$.

Л и т е р а т у р а

1. Е.М. Мартынов. Бесконтактные переключающие устройства, Госэнергоиздат, 1961.
2. Ж. Паскалев. Устройство за запомняне редица стойности на функции. Авт. свид. № 13508, с приоритет от 26.1У.1968.
3. Ж. Паскалев. Аналого-цифрово устройство за запомяне редица стойности на функции на времето. Доклад на Юбилейната научна сесия в ВМЕИ. 7.У. 1969, София.
4. Ж. Паскалев. Определяне на грешките при запомняне на функции на времето във ферит-транзисторно аналого-цифрово запомнящо устройство. Трудове на ЦИИТ, т.2, 1969.
5. В.И. Рабинович, М.П. Цапенко. Информационные характеристики средств измерения и контроля. Энергия 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел

17 марта 1970 года.

Таблица 1

$n \setminus N_{\Delta}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	400	600	800	1000
0,1	0,20	0,90	1,30	1,58	1,81	1,99	2,15	2,28	2,40	2,51	2,60	3,90	4,30	4,58	4,81
0,2	0,69	1,39	1,79	2,08	2,30	2,48	2,64	2,77	2,89	3,00	3,09	4,39	4,79	5,07	5,30
0,3	0,96	1,66	2,06	2,35	2,57	2,75	2,91	3,04	3,16	3,27	3,36	4,66	5,06	5,34	5,57
0,4	1,13	1,83	2,23	2,52	2,74	2,92	3,08	3,21	3,33	3,44	4,13	4,83	5,23	5,51	5,74
0,5	1,27	1,97	2,37	2,66	2,88	3,06	3,22	3,35	3,47	3,58	4,27	4,97	5,37	5,65	5,88
0,6	1,37	2,07	2,47	2,76	2,98	3,16	3,32	3,45	3,57	3,68	4,37	5,07	5,47	5,75	5,98
0,8	1,51	2,21	2,61	2,90	3,12	3,30	3,46	3,59	3,71	3,82	4,51	5,21	5,61	5,89	66,12
1,0	1,62	2,32	2,72	3,01	3,23	3,41	3,57	3,70	3,82	3,93	4,62	5,32	5,72	6,00	6,23
1,5	1,77	2,47	2,87	3,16	3,38	3,56	3,72	3,85	3,97	4,08	4,77	5,47	5,87	6,15	6,38
2,0	1,88	2,58	2,98	3,27	3,50	3,67	3,83	3,96	4,08	4,19	4,88	5,58	5,98	6,26	6,49
3,0	2,02	2,72	3,12	3,41	3,73	3,81	3,97	4,10	4,22	4,33	5,02	5,72	6,12	6,40	6,63
4,0	2,08	2,78	3,18	3,47	3,79	3,87	4,03	4,16	4,28	4,39	5,08	5,78	66,18	6,46	6,69

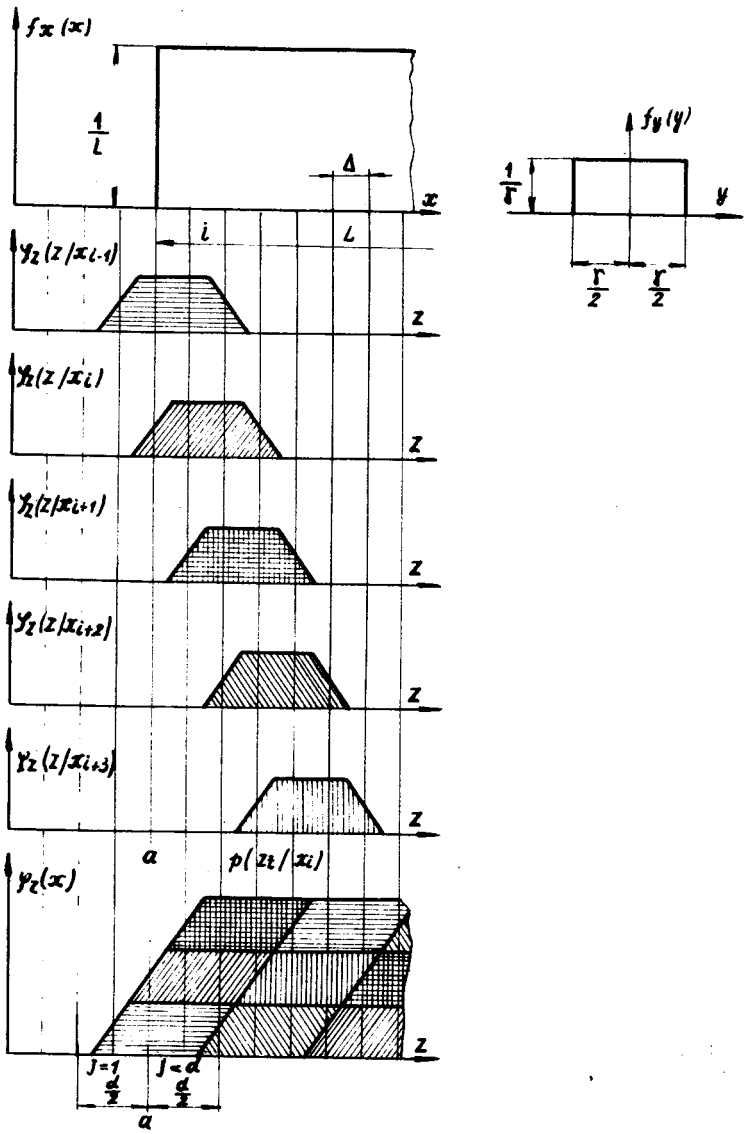


Рис. 6.

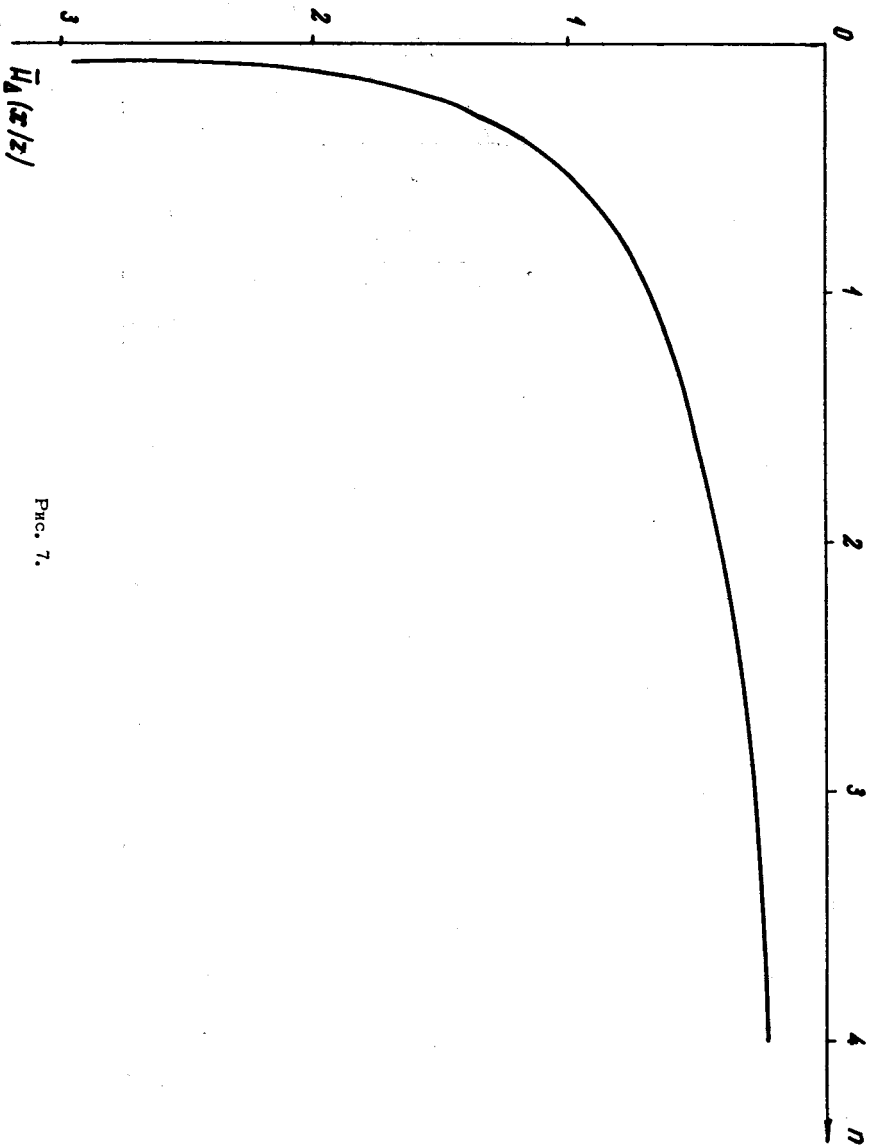


Рис. 7.

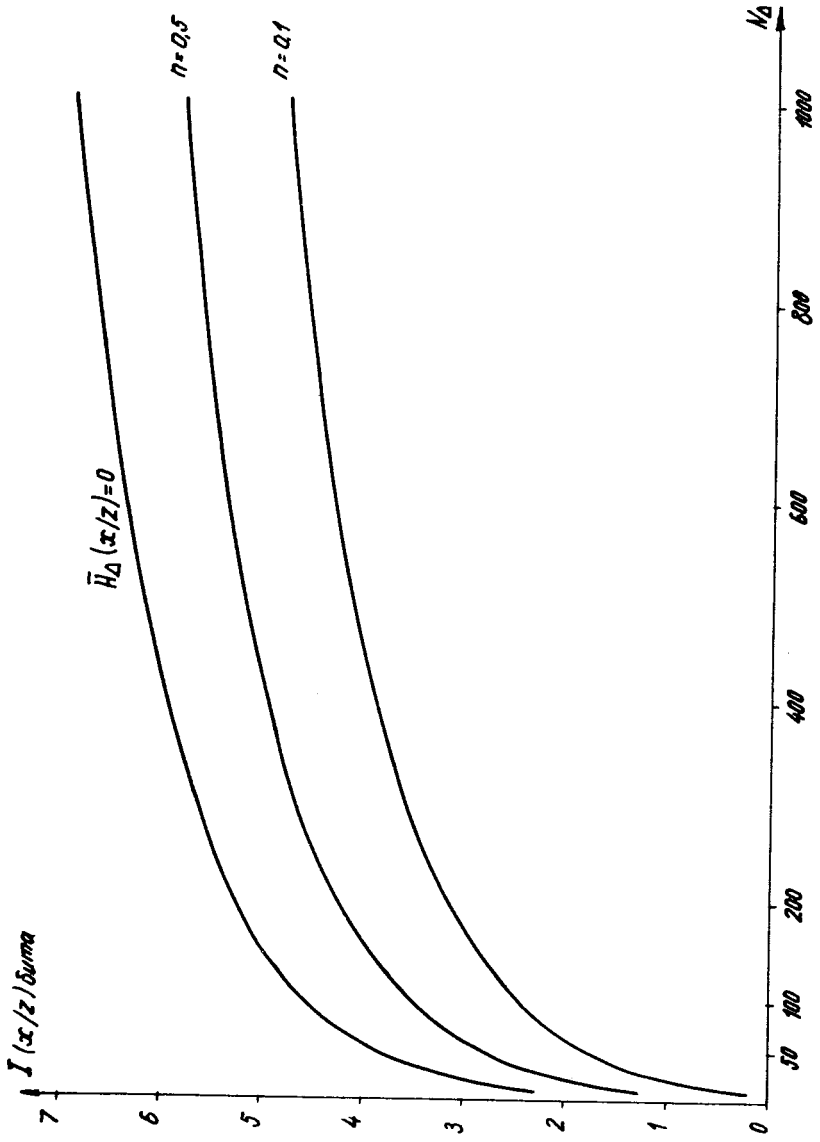


Рис. 8.