**Сущность метода наименьших квадратов**

**Метод наименьших квадратов** — один из методов теории ошибок для оценки неизвестных величин по результатам измерений, содержащим случайные ошибки. Метод наименьших квадратов применяется также для приближенного представления заданной функции другими (более простыми) функциями и часто оказывается полезным при обработке наблюдений

Изложим идею этого способа, ограничиваясь случаем линейной зависимости. Пусть требуется установить зависимость между двумя величинами *x* и *y*, Произведем обследование *n* видов и представим результаты исследования в виде таблицы:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| x | x1 | ... | xn |
| y | y1 | ... | yn |

Из анализа таблицы нелегко обнаружить наличие и характер зависимости между *x* и *y*. Поэтому обратимся к графику. Допустим, что точки, взятые из таблицы (опытные точки) группируются около некоторой прямой линии. Тогда можно предположить, что между *x* и *y* существует линейная зависимостьy= ax+b, где *a* и *b* - коэффициенты, подлежащие определению,*y* - теоретическое значение ординаты. Проведя прямую “на глаз”, можно графически найти b и a=tg , однако это будут весьма неточные результаты. Для нахождения *a, b* применяют метод наименьших квадратов.

Перепишем уравнение искомой прямой в виде ax + b -y=0. Точки, построенные на основе опытных данных, вообще говоря, не лежат на этой прямой. Поэтому если подставить в уравнение прямой вместо *x* и*y* заданные величины *xi*и *yi*, то окажется, что левая часть уравненияравна какой-то малой величине i=yi -yi; а именно: для первой точкиax1 + b - y1 = 1, для второй - ax2 + b - y2 = 2, для последней axn + b - yn = n. Величины 1, 2,..., n, не равные нулю, называются *погрешностями*. Геометрически это разность между ординатой точки на прямой и ординатой опытной точки с той же абсциссой. Погрешности зависят от выбранного положения прямой, т.е. от *a* и *b*. Требуется подобрать *a* и *b* таким образом, чтобы эти погрешности были возможно меньшими по абсолютной величине. Способ наименьших квадратов состоит в том, что *a* и *b* выбираются из условия, чтобы сумма квадратов погрешностей u =  была минимальной. Если эта сумма квадратов окажется минимальной, то и сами погрешности будут в среднем малыми по абсолютной величине. Подставим в выражение для *u* вместо *i*их значения.

u = (ax1 + b - y1) 2 + (ax2 + b - y2) 2 +... + (axn + b - yn)2, или u = u(a,b), где *xi*, *yi*известные величины, *a* и *b* - неизвестные, подлежащиеопределению. Выберем *a* и *b* так, чтобы *u(a,b)* имело наименьшеезначение. Необходимые условия экстремума , . Имеем:= 2(ax1 + b - y1)x1 +... +2(ax1 + b - y1)xn, = 2(ax1 + b - y1)+... + 2(ax1 + b - y1).Получаем систему:

.

Эта система называется *нормальной системой метода наименьших квадратов*. Из нее находим *a* и *b* и затем подставляем их в эмпирическую формулу y = ax + b.

**Принцип работы и основные разновидности полевых транзисторов**

*Полевые транзисторы* представляют собой класс полупроводниковых приборов, в которых величина выходного тока изменяется под действием электрического поля ,создаваемого входным напряжением, благодаря чему полевые транзисторы имеют очень высокое (1-10МОМ) входное сопротивление. Указанное обстоятельство является главным достоинством этих приборов, что подчёркивается в их названии. Различают два подкласса полевых транзисторов: с управляющим *p-n* переходом и с изолированным затвором со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структура).

В полевых *транзисторах первого типа* управление величиной тока осуществляется поперечным электрическим полем, создаваемым напряжением, приложенным к входному электроду. Полевой транзистор с управляющим *р-п* переходом состоит из тонкой пластинки полупроводникового материала с одним *р-п* переходом в центральной части и с невыпрямляющими контактами по краям Работа этих транзисторов основана на модуляции эффективного сечения канала, которую осуществляют изменением толщины запирающего слоя обратно смещённого *р-п* перехода. Область, от которой начинают движение основные носители называют истоком, а область, к которой движутся основные носители – стоком. Область, используемая для управления током, протекающим через канал, называют затвором. Источник *Е1*создаёт отрицательное напряжение на затворе. Ток, протекающий через канал *Iс* можно модулировать переменным входным напряжением. Постоянное отрицательное напряжение, при котором токопроводящий канал окажется перекрытым, называют пороговым или напряжением отсечки. К параметрам, характеризующим максимально допустимые режимы, относятся максимально допустимое напряжение между стоком и истоком, между затвором и истоком и максимально допустимая мощность рассеивания в транзисторе. На рис.25 приведены примерные выходные характеристики транзистора этого типа:

Рис.25 Cемейство выходных характеристик полевого транзистора с n-каналом и p - nпереходом

В качестве основного параметра полевого транзистора используется крутизна характеристики Iс =f(Uзи) в пологой области семейства выходных характеристик:

S = dIс/dUзи при Uси = Const.

*Полевые транзисторы с изолированным затвором (ПТИЗы*) бывают двух типов: с встроенным каналом и с индуцируемым каналом, рассмотрим их физические модели (рис.26)

Рис. 26 Физические модели МДП полевых транзисторов

Семейства выходных характеристик указанных транзисторов приведены на рис.27.

Выходные характеристики МДП полевых транзисторов

1. Изобразить временные диаграммы входного и выходного напряжений схемы, представленной на рисунке, а также напряжений на входах логических элементов ЛЭ1 и ЛЭ2 при воздействии на вход схемы прямоугольного импульса с амплитудой, равной напряжению питания схемы и найти величину задержки переднего фронта. Логические элементы ЛЭ1 и ЛЭ2 КМОП-типа.

РАСЧЕТЫ ДАНЫ НА ВСЯКИЙ СЛУЧАЙ ПРИ ОДНОМ ЛЭ1

В исходном состоянии на входе схемы присутствует уровень напряжения логического нуля. В соответствии с рис. 12.5 на входе ЛЭ1, т.е. на резисторе R действует напряжение UR0, равное

.

Очевидно, должно выполняться *UR*0<*Uпор*, откуда

, т.е. R<2,2 кОм. Практически выбирают *Rmax*=1,6 кОм.

Напряжение на конденсаторе в исходном состоянии . В момент *t*1 на вход подается положительный перепад напряжения, равный (*E*1-*E*0)

По закону коммутации весь перепад выделяется на резисторе *R*, т.е. напряжение на *R* увеличивается на (E1-E0) и становится равным .

По мере заряда конденсатора напряжение на *R* стремится к исходному уровню *UR*0.Пока это напряжение остается большим *Uпор*, на выходе ЛЭ1 будет логический нуль. Задержка положительного фронта равна

**Изобразить временные диаграммы входного….**

Проанализируем выражение , полученное после подстановки выражения для и выполнения ряда преобразований. Очевидно, что *tзад* увеличивается с увеличением *R*. При , получаем

 В;

.

В момент *t*3 окончания входного импульса, когда на вход всей схемы подается уровень логического нуля, по закону коммутации на вход ЛЭ1 поступает отрицательный перепад напряжения, поскольку конденсатор оказывается подключенным в обратной полярности. При этом происходит быстрый разряд конденсатора через защитный диод, стоящий на входе логического элемента.

В случае использования элементов КМОП-типа, для которых , и , имеем

.

**Назовите известные Вам типовые комбинационные цифровые устройства и охарактеризуйте их работу.**

Шифраторы, а)дешифраторы, мультиплексоры, сумматоры.

ПодКЦУ мы будем понимать цифровое устройство (ЦУ), которое обеспечивает преобразование совокупности цифровых сигналов Х в выходные сигналы Y. Для формирования цифровых выходных сигналов используются ЦУ двух классов:

ЦУ, выходные сигналы у которых в некоторый момент времени tn зависят только от совокупности (комбинации) сигналов Х, присутствующих на их входах в тот же момент времени tn, и не зависят от входных сигналов, поступивших в предшествующие моменты времени. Иными словами, ЦУ этого класса “не помнит” предыстории поступления сигналов на его входы. Такие ЦУ принято называть комбинационными (КЦУ);

ЦУ, выходные сигналы у которых в момент tn определяются не только комбинациями входных сигналов Х, воздействующих в тот же момент tn, но и сигналами, поступающими на входы в предшествующие моменты времени. В состава таких ЦУ обязательно присутствуют элементы памяти, внутреннее состояние которых отражает предысторию поступления последовательности входных сигналов. Подобные ЦУ принято называть последовательностными (ПЦУ) или конечными автоматами.

Дешифратор (рис А) – это устройство, предназначенное для преобразования двоичного кода в напряжение логической единицы (логического нуля) на том выходе, номер которого совпадает со значением двоичного кода на входе. При n входах в полном дешифраторе имеется 2n выходов, т.е. для каждой комбинации входных сигналов имеется соответствующий выход. Дешифратор, у которого при n входах число выходов меньше 2n, называется неполным. Другое название дешифратора - декодер. Принцип работы полного трехразрядного дешифратора рассмотрим на примере его таблицы истинности.

|  |  |
| --- | --- |
| Входы | Выходы |
| *X*3 | *X*2 | *X*1 | *Y*7 | *Y*6 | *Y*5 | *Y*4 | *Y*3 | *Y*2 | *Y*1 | *Y*0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| и т. д. |

Шифраторы(рисБ) выполняют задачу обратную той, которую выполняют дешифраторы: появление логической единицы (логического нуля) на определенном входе приводит к появлению соответствующей кодовой комбинации на выходе. Также как и дешифраторы, шифраторы бывают полными и неполными. Работа восьмивходового полного шифратора задается следующей таблицей истинности:

|  |  |
| --- | --- |
| **Входы** | **Выходы** |
| ***X*7** | ***X*6** | ***X*5** | ***X*4** | ***X*3** | ***X*2** | ***X*1** | ***X*0** | ***Y*3** | ***Y*2** | ***Y*1** |
| **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **1** | **0** | **0** | **0** |
| **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **1** | **0** | **0** | **0** | **1** |
| и т. д. |

*Мультиплексор* – (рис В) комбинационное цифровое устройство, которое обеспечивает передачу на единственный выход *F* одного из нескольких входных сигналов *Dj* в соответствии с поступающим адресным кодом *Ai*. При наличии *n* адресных входов можно реализовать *M*=2*n* комбинаций адресных сигналов, каждая из которых обеспечивает выбор одного из *M* входов. Чаще всего используются мультиплексоры «из 4 в 1» (*n*=2, *M*=4), «из 8 в 1» (*n*=3, *M*=8), «из 16 в 1» (*n*=4, *M*=16). Правило работы мультиплексора «из 4 в 1» можно задать таблицей истинности:



|  |  |
| --- | --- |
| Входы | Выход |
| *A*1 | *A*0 | *F* |
| 0 | 0 | *D*0 |
| 0 | 1 | *D*1 |
| 1 | 0 | *D*2 |
| 1 | 1 | *D*3 |

*Демультиплексор* выполняет функцию, обратную мультиплексору, т.е. в соответствии с принятой адресацией *Ai* направляет информацию с единственного входа *D* на один из *M* выходов *Fj*. При этом на остальных выходах будут логические нули (единицы). Принцип работы демультиплексора «из 1 в 4» иллюстрируется таблицей истинности:

|  |  |
| --- | --- |
| Входы | Выходы |
| *A*1 | *A*0 | *F*3 | *F*2 | *F*1 | *F*0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | *D* |
| 0 | 1 | 0 | 0 | *D* | 0 |
| 1 | 0 | 0 | *D* | 0 | 0 |
| 1 | 1 | *D* | 0 | 0 | 0 |

Сумматоры – это класс КЦУ, выполняющих операцию арифметического сложения двух двоичных *n*-разрядных чисел. Сумматоры бывают полными и неполными. *Неполный сумматор* или *полусумматор* - это комбинационное устройство с двумя входами и двумя выходами, выполняющее операцию сложения двух одноразрядных чисел в соответствии с таблицей истинности, где *А* и *В* – входные одноразрядные числа, *Sп/см.* – выход суммы, а *Pп/см.* – выход переноса в старший разряд:



|  |  |
| --- | --- |
| Входы | Выходы |
| *А* | *В* | *Sп/см.* | *Pп/см.* |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |

**Аппаратные средства микропроцессорной системы. Командный и микропрограммный уровни программного управления микропроцессором**

В общем случае в состав МП входят арифметико-логическое устройство, устройство управления, а также связанные с ними вспомогательные регистры. Арифметико-логическое устройство микропроцессора служит для выполнения арифметических и логических операций над данными, поступающими из памяти или из устройств ввода. Устройство управления управляет потоком данных и команд. Это устройство выбирает из памяти команды, дешифрирует и выполняет их, посылает результаты на устройства вывода. Принципы управления микропроцессорами.

Каждая операция, задаваемая командой, обычно требует для своей реализации выполнения определенной последовательности элементарных, неразложимых на более простые, преобразований, которые называются *микрооперациями*. К ним относятся пересылки информации между частями системы, логические поразрядные операции, сдвиги информации и другие. Каждая микрооперация выполняется в течение одного периода (*такта*) сигналов синхронизации. Эти сигналы имеют вид импульсов, последовательность которых вырабатывается специальным генератором синхроимпульсов.

Команды, определяющие выполнение микроопераций, называются *микрокомандами*. Таким образом, для каждой команды можно составить последовательность микрокоманд, определяющих ее реализацию. Для реализации команды требуется в среднем 5-10 микрокоманд.

В соответствии с разбивкой команды на микрокоманды различают два уровня программного управления: командный и микропрограммный. В зависимости от реализации того или другого уровня программного управления МП делят на два класса. Рассмотрим основные особенности каждого из них.

МП с *управлением на уровне команд* требует, чтобы программа была составлена с использованием строго определенного набора (списка) команд. Перевод команд в последовательность микрокоманд обеспечивается "жесткой" логикой устройства управления (УУ) МП, т.е. за счет постоянных, заранее предусмотренных логических связей УУ, с помощью которых для данной конкретной команды в каждом такте формируется определенная совокупность управляющих сигналов, обеспечивающая выполнение очередной микрокоманды. УУ проектируется на свой список команд, поэтому дальнейшее наращивание и изменение списка команд не допускается. При необходимости выполнить операции, для которых нет соответствующих команд в списке, составляются подпрограммы. Каждая подпрограмма состоит из группы разрешенных для данного МП команд и приводит к выполнению требуемой операции. Очевидно, что решение задач с использованием подпрограмм значительно снижает скорость обработки и, следовательно, эффективность применения МП. Поэтому стремятся к тому, чтобы МП с управлением на командном уровне имели развитую систему команд.

В МП с *управлением на уровне микропрограмм* преобразование команд в соответствующую последовательность микрокоманд отсутствует и программа работы МП задается в микропрограммном виде, т.е. непосредственно в микрокомандах. Поскольку, как уже говорилось, для реализации одной команды в среднем требуется выполнение 5-10 микрокоманд, то объем микропрограмм значительно превышает объем соответствующих программ. Поэтому составление и отладка микропрограмм требуют больших затрат времени. Из-за громоздкости микропрограмм и трудностей по их составлению и контролю для таких МП обычно вводят второй уровень программного управления - командный. Для этого разрабатывается система команд. Можно, например, использовать систему команд какой-нибудь большой ЭВМ с хорошо развитым программным обеспечением и приспособить ее для данного МП. С этой целью для каждой команды составляется микропрограмма, т.е. каждая команда представляется последовательностью микрокоманд. При работе МП преобразование команды в соответствующую последовательность микрокоманд происходит с помощью микропрограммного устройства управления, которое реализуется в виде отдельной специализированной БИС.

Микропрограммное устройство управления содержит ПЗУ микрокоманд, в котором хранятся коды всех микрокоманд и ПЗУ управления адресом, в котором хранятся коды, предназначенные для формирования адресов микрокоманд. В процессе работы с помощью ПЗУ управления адресом происходит формирование последовательности адресов, по которым из ПЗУ микрокоманд извлекается последовательность микрокоманд, соответствующая коду поступившей команды. Для построения микропрограммного устройства управления требуется ПЗУ большого объема. Поэтому обычно используются ПЗУ, выпускаемые в виде отдельных БИС, а остальные узлы, входящие в состав устройства управления изготавливаются в виде специализированной БИС.

Достоинством МП с микропрограммным устройством управления является возможность изменения набора выполняемых команд, которая достигается, если сменить или перепрограммировать ПЗУ микрокоманд и ПЗУ управления адресом. Поэтому при использовании МП этого типа и микропрограммных устройств управления можно строить цифровые системы, выполняющие любой набор команд, наиболее удобный для решения тех или иных задач. В МП с управлением на уровне команд набор выполняемых команд является фиксированным, т.е. является более эффективным для решения определенного класса задач.

МП с управлением на уровне команд имеют в списке обычно 45 - 150 команд. МП с управлением на уровне микропрограмм имеют обычно 256 - 512 микрокоманд. Рассмотрим основные принципы организации работы с точки зрения разбиения команд МП на последовательности микрокоманд.

Время, необходимое для считывания команды из памяти и ее выполнения, называется *циклом команды*. Цикл команды реализуется обычно за 1-5машинных циклов*. Машинный* *цикл -* это промежуток времени, затрачиваемый МП на одно обращение к какому-либо периферийному модулю (ОЗУ, ПЗУ, порту ввода или вывода). В МП используются обычно следующие базовые типы машинных циклов:

1. выборка команды (прием кода операции в регистр команд);
2. считывание из памяти;
3. запись в память;
4. ввод из порта ввода;
5. вывод в порт вывода;
6. прерывание;
7. останов;

Каждый машинный цикл выполняется обычно за определенное количество тактов (обычно от 3 до 5), т.е. периодов тактовых сигналов, вырабатываемых внешним генератором. Действия в каждом из тактов индивидуальны для конкретного МП, но тем не менее можно выделить следующие общие для всех МП (в порядке очередности их выполнения):

1. вывод на шину адреса кода адреса вызываемого порта или ячейки памяти;
2. анализ управляющих сигналов, выставление на шину данных пересылаемой информации;
3. осуществление обмена информацией с вызываемым портом или ячейкой памяти;
4. расшифровка команды и выполнение внутренних операций МП.

# АЦП частотного преобразования. Преобразователи, реализующие частотно-импульсный метод преобразования

В АЦП, реализующих частотно-импульсный метод, измеряемая величина предварительно преобразуется в пропорциональное ей значение частоты, а затем - в цифровой код. Поскольку измерение частоты fХ, как правило, производится за интервал времени TИ > TХ, преобразователи с частотно-импульсным преобразованием являются интегрирующими. И так, в частотно-импульсных преобразователях

где k — коэффициент (крутизна) преобразования.

Значение fХ преобразуется в цифровой код за время TИ:

. (4.27)

Обобщенная структурная схема частотно-импульсного преобразователя

(ПНЧ – преобразователь напряжение − частота), реализующего рассмотренный алгоритм преобразования, приведена на рисунке 4.17. Основными функциональными узлами являются преобразователь напряжение − частота (ПНЧ) и преобразователь частота − цифровой код. Рисунок 4.17 - Структурная схема частотно-импульсного преобразователя В настоящее время известно большое число схем ПНЧ. В зависимости от метода преобразования UХ= → fХ все схемы подразделяются на две группы: с непосредственным преобразованием и с косвенным преобразованием. В ПНЧ первой группы напряжение UХ= непосредственно используется для формирования выходного сигнала частоты fХ, а в ПНЧ второй группы оно влияет на параметр, определяющий частоту выходного сигнала генератора самовозбуждения (гармонического или релаксационного). ПНЧ второй группы имеют относительно невысокие метрологические характеристики. Поэтому основное применение в частотно-импульсных преобразователях нашли ПНЧ на основе интегрирующих звеньев с замкнутым контуром. Упрощенная структурная схема такого преобразователя приведена

# АЦП временного преобразования RC

В АЦП, реализующих времяимпульсный метод преобразования, измеряемая величина (в данном случае UХ=) предварительно преобразуется в пропорциональный ей интервал времени путем сравнения со значением известной величины, изменяющейся по определенному закону. Затем полученный интервал времени (также аналоговая величина) непосредственно преобразуется в цифровой код. Таким образом, преобразователи, реализующие этот метод, должны быть отнесены к средствам измерения прямого преобразования. Среди них встречаются как преобразователи мгновенного значения, так и преобразователи с аналоговым интегрированием и усреднением результатов преобразования.

***Неинтегрирующий*** преобразователь - это преобразователь мгновенного значения с типовой структурной схемой, приведенной на рисунке 4.11.

Синхронная работа всех узлов вольтметра обеспечивается с помощью управляющего устройства (УУ), причем управление может быть как ручным, так и автоматическим. В первом случае измерения будут однократными, а во втором - периодически повторяющимися с определенным промежутком времени.

Рисунок 4.11 – Неинтегрирующий преобразователь, реализующий метод время-импульсного преобразования

Тактовый импульс УУ сбрасывает на нуль показания счетчика, полученные во время предыдущего такта, и запускает генератор линейно изменяющегося напряжения Uл (ГЛИН), с которым и осуществляется сравнение UХ= при преобразовании его во временной интервал (рисунок 4.12,*а*). Это сравнение производится в сравнивающих устройствах - *компараторах* К1 и К2, причем компаратор К1 имеет уровень срабатывания U0, а компаратор К2 - уровень срабатывания UХ=+ U0. При UЛ = U0 срабатывает К1 и образуется старт - импульс (рисунок 4.12,*б*), который открывает селектор. С этого момента времени начинается подсчет счетчиком импульсов, поступающих через открытый селектор от генератора счетных импульсов (ГСчИ). Импульсы следуют с периодом T0, определяющим шаг квантования в данной схеме (рисунок 4.12,*г*). Подсчет их продолжается до тех пор, пока UЛ не возрастет до значения UЛ = UХ= + U0. В этот момент времени срабатывает компаратор К2 и образуется стоп-импульс (рисунок 4.12,*б*), который закрывает селектор.

Подсчет импульсов генератора счетных импульсов прекращается, счетчик фиксирует некоторое число импульсов N, которое по команде УУ подается на выход преобразователя (например, для воспроизведения результата измерения в цифровой форме или для дальнейшего преобразования). Как видно из рисунка 4.12, измеряемое напряжение UХ= преобразовалось в интервал времени ΔtХ, причем UХ= = kΔtХ, где dt

k = dUЛ . В свою очередь, ΔtХ = N⋅T0, т.е. в результате UХ= = kT0N. При kT0 = const показание счетчика прямо пропорционально UХ=, а при kT0 = 1 – равно преобразованному напряжению в вольтах. На примере схемы (рисунок 4.11) можно указать основные источники погрешностей времяимпульсных преобразователей: - погрешность дискретности; - погрешность меры (T0 ≠ const), в качестве которой в современных типах преобразователей применяют кварцевые ГСчИ;

- погрешность преобразования UХ= в ΔtХ, определяемая нелинейностью UЛ

(k ≠ const) и погрешностью компараторов (временное положение старт- и стоп-импульса). Применение двух компараторов позволяет исключить с помощью U0 начальный нелинейный участок UЛ и значительно компенсировать нестабильность их характеристик; - погрешность за счет наложения на UХ= гармонической помехи UП с амплитудой Unm. В неблагоприятном случае эта погрешность может оказаться равной Unm/UХ=, т.е. должны предусматриваться эффективные меры обеспечения помехозащищенности.

*а* – сравнение напряжений UХ и UЛ при преобразовании во временной интервал ΔtX; *б* - импульсы на выходе компараторов; *в* – времязадающий импульс на выходе триггера; *г* – счетные импульсы Рисунок 4.12 – Временные диаграммы, характеризующие работу интегрирующего преобразователя с времяимпульсным преобразованием Преобразователи с ***аналоговым интегрированием*** позволяют определить среднее значение измеряемого напряжения за определенный фиксированный интервал времени (интервал интегрирования). Распространенным способом аналогового интегрирования является двухтактное интегрирование, называемое еще двойным, двукратным, двухшаговым и поочередным. Упрощенная структурная схема такого преобразователя приведена на рисунке 4.13, а временные диаграммы его работы показаны на рисунке 4.14.

**В чем состоят особенности статистических характеристик случайных величин? Назовите числовые характеристики случайных процессов и приведите алгоритмы измерения этих величин. Приведите аналитическое выражение, графическое изображение и структурную схему системы для измерения функции распределения.**

Статистические измерения, или измерения вероятностных ха­рактеристик случайных процессов, — это широкий круг методов и средств, применяемых в различных областях народного хозяйства.

Под *вероятностными характеристиками* случайных процессов будем понимать математическое ожидание, дисперсию, законы распределения вероятностей, корреляционные и спектральные функции.

На рис. 10.18, *а* изображен стационарный случайный процесс; на рис. 10.18, *б --* нестационарный случайный процесс с пере­менным во времени математическим ожиданием; на рис. 10.18, *в —* нестационарный случайный процесс с переменной во времени дисперсией; на рис. 10.18, *г —* нестационарный случайный про­цесс с переменным во времени математическим ожиданием и дисперсией

Если рассматривать стационарный случайный процесс, при­веденный на рис. 10.19, *а,* то функция распределения опреде­ляется как вероятность *Р* в интервале - оо < *Х( f) < x,* где ;с может изменяться от - оо до + оо;

Значение функции распределения при изменении *х* в вышеука­занных пределах изменяется от 0 до 1:

*Эмпирическая функция распределения —* это функция *F\*(X)9* оп­ределяющая для каждого значения *х* относительную частоту со­бытия *X< х,* т.е.

*а —* стационарный; *б —* нестационарный с переменным математическим ожида­нием; *в —* нестационарный с переменной дисперсией; г — нестационарный с переменным математическим ожиданием и дисперсией

*а* — стационарный случайный процесс; *б —* функция распределения; *в* — плот­ность распределения

где *X --* статистическое распределение частот; *пх —* число наи­меньших вариантов *п\п —* объем выборки.

Плотность распределения вероятностей получают путем диф­ференцирования *Р(Х)* по *х:*

**Измерение математического ожидания.** Структурная схема устрой­ства,

**Измерение дисперсии.** приведен один из вариан­тов построения средств измерений дисперсии случайного процесса дисперсиометром:

Структурная схема средств измерения математического ожи­дания случайного процесса

**Измерение функции и плотности распределения вероятностей**

На рис. 10.22, *а* представлена многоканальная аналоговая система для измерения распределения вероятностей *F\*(x),* а на рис. 10.22, *б -*цифровая система для измерения плотностираспределения веро­ятностей/\*(х, *Ux).*

Структурная схема анализатора: *а —* функции распределения вероятностей; *б —* плотности распределения вероятностей

Ввиду того что анализ *F\*(x)* и /(jc, *Ux)* в настоящее время в основном ведется с помощью ЭВМ, предлагаем читателям озна­комиться с этими анализаторами самостоятельно.

Для стационарного эргодического процесса x(t) корреляцион­ная функция может быть определена как математическое ожида­ние центрированных значений x(t) в моменты времени t и t + т:

Здесь приведена схема корреляционной системы, реализующая алгоритм взаимной корреляционной функции между двумя случайными процессами *x(t)* и ^СО-Спектр мощности

характеризует ее частотное распределение и определяется следующим алгоритмом:

Спектрального анализа могут быть как с параллель­ным, так и с последовательным сбором информации.

На рис. 10.25 изображена структурная схема анализатора мощности случайного процесса.

При измерении нестационарного случайного процесса прежде всего необходимо определить характер нестационарности, так как от этого зависит методика измерения и определения числовых ха­рактеристик данного процесса. Практически наиболее часто встре­чаются три основных типа нестационарных случайных процессов (см. рис. 10.18, *б—г).* Так как статистические характеристики не­стационарных, случайных процессов зависят от времени, то для их определения, в отличие от стационарных эргодических случайных процессов, необходимо располагать несколькими реализаци­ями данных.

Пусть в результате независимых измерений получено 7V реализа­ций случайного процесса *X(f),* которые обозначим \*/(/), /=1,2, ..., я. Для любого фиксированного момента времени статистическая ха­рактеристика случайного процесса *X(f)* получается осреднением по ансамблю 7V реализации для этого момента времени. Поэтому, как и для полученных ранее соотношений статистических числовых ха­рактеристик случайных величин, аналогично можно получить выра­жения для статистического математического ожидания *mx\*(f),* стати­стической дисперсии *Dx(f)* и статистического среднеквадратичес-кого отклонения а/(/) нестационарного случайного процесса *X(t).*

Учитывая, что истинное значение *mx(t)* неизвестно, статисти­ческую дисперсию определяют по формуле, которая является несмещенной оценкой истинного значения дис­персии нестационарного случайного процесса.

Для определения статистической корреляционной *Rx\*(t\9t2)* и взаимной корреляционной *R^(t\, t2)* функций необходимо рассмат­ривать два фиксированных момента времени: *t\* и /2- При этом

Статистические корреляционную и взаимную корреляционную функции можно определить по соотношениям:

Так как истинное значение *mx(t)* и *mv(f),* как правило, неиз­вестно, для вычисления указанных статистических характеристик пользуются соотношениями:

Соответственно в структурных схемах (см. рис. 10.20, 10.21, 10.23, 10.24) необходимо изменить элементы, включающие суммирова­ние вместо интегрирования. Так как в настоящее время широко распространены ПЭВМ, при исследовании этих параметров из­мерительных информационных систем используют магнитофон и любую вычислительную машину.

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА**

**Общая характеристика полупроводниковых запоминающих устройств**

Для хранения больших массивов информации предназначены запоминающие устройства (ЗУ), выполненные в виде БИС, в каждой из которых может храниться информация объемом в тысячи бит.

ЗУ, допускающее независимое обращение к любой ячейке памяти, называется памятью с произвольным доступом. *Память с последовательным доступом* допускает только последовательное обращение к ячейкам памяти. В последовательной форме хранится информация на магнитной ленте. Память на основе полупроводниковых микросхем является *памятью с произвольным доступом*.

По выполняемым функциям различают следующие типы полупроводниковых ЗУ:

* оперативные запоминающие устройства (ОЗУ);
* постоянные запоминающие устройства (ПЗУ);
* перепрограммируемые постоянные запоминающие устройства (ППЗУ).

*ОЗУ* предназначено для использования в условиях, когда необходимо выбирать и обновлять хранимую информацию. Вследствие этого в ОЗУ предусматриваются три режима работы: режим хранения при отсутствии обращения к ЗУ, режим чтения информации и режим записи новой информации. При этом в режимах чтения и записи ОЗУ должно функционировать с высоким быстродействием (время чтения или записи составляет доли микросекунды). В цифровых вычислительных устройствах ОЗУ используются для хранения промежуточных и конечных результатов обработки данных. При отключении источника питания информация в ОЗУ теряется. В условном графическом обозначении функция ОЗУ задается комбинацией символов «RAM» – random access memory (память с произвольным доступом).

В качестве элементной базы для построения ОЗУ могут быть использованы БИС ОЗУ как статического, так и динамического типов. В БИС *статических ОЗУ* (SRAM – static RAM) каждая запоминающая ячейка построена на основе триггера, состояние которого определяется значением (нуль или единица) хранимого бита данных. В БИС *динамических ОЗУ* (DRAM – dynamic RAM) ячейка памяти выполнена на основе конденсатора, а значение бита данных определяется наличием или отсутствием на нем заряда. Запоминающие ячейки в БИС динамических ОЗУ занимают значительно меньшую площадь, чем в статических. Поэтому при одинаковой технологии изготовления в одной БИС динамического ОЗУ удается разместить значительно больше элементов, чем в БИС статического ОЗУ. Соотношение количества ячеек БИС динамического ОЗУ к количеству ячеек БИС статического ОЗУ при равных объемах кристалла равно 16:1 и более, т.е. БИС динамической памяти имеет в 16 раз большую информационную емкость, чем БИС статической памяти. Стоимость хранения одного бита информации в БИС ОЗУ динамического типа также меньше, чем в БИС ОЗУ статического типа. Однако динамические ОЗУ требуют в процессе работы периодического восстановления заряда (регенерации) на запоминающих конденсаторах. Для построения узла регенерации требуется введение дополнительных микросхем, что может свести на нет преимущества БИС памяти динамического типа. Особенно это заметно, если требуемый объем памяти мал. Поэтому БИС динамических ОЗУ целесообразно использовать только при построении оперативной памяти с большой информационной емкостью.

*ПЗУ* предназначено для хранения некоторой однажды записанной в него информации, не нарушаемой и при отключении источника питания. В ПЗУ предусматриваются два режима работы: режим хранения и режим чтения. Режим записи не предусматривается. Используется ПЗУ для хранения программ или констант, с которыми цифровое устройство функционирует длительное время, многократно выполняя действия по одному и тому же алгоритму при различных исходных данных. В условном графическом обозначении в общем случае функция ПЗУ задается сочетанием символов «ROM» - read only memory (память только с функцией чтения).

*ППЗУ* (EPROM – Erase programmable ROM) в процессе функционирования цифрового устройства используется как ПЗУ. Оно отличается от ПЗУ тем, что допускает обновление однажды записанной информации, т. е. в нем предусмотрен режим записи. Однако в отличие от ОЗУ запись информации требует отключения ППЗУ от устройства, в котором оно функционирует, и производится с использованием специально предназначенных для записи устройств – программаторов. Кроме этого запись в ППЗУ занимает значительное время. ППЗУ дороже ПЗУ и их применяют в процессе отладки программного обеспечения цифрового вычислительного устройства, после чего их можно заменить более дешевыми ПЗУ.

ЗУ содержит некоторое число *N* ячеек памяти, в каждой из которых может храниться слово с определенным числом разрядов *n*. Ячейки последовательно нумеруются двоичными числами. Номер ячейки называется *адресом*. Если для представления адресов используют комбинации *m*-разрядного двоичного кода, то число ячеек памяти в ЗУ может составить *N*=2*m*.

Количество информации, которое может храниться в ЗУ, определяет его емкость. Емкость *M* можно выразить числом ячеек *N* с указанием разрядности *n* хранимых в них слов в форме *N*×*n*, либо ее можно определять произведением *N*·*n*, т.е. *M*=*N*·*n* бит. Разрядность ячеек выбирают кратной байту (1 байт = 8 бит). Тогда и емкость удобно представлять в байтах. Большие значения емкости часто выражаются в единицах K=210=1024, М=220=1048576 и Г=230=1073741824. Например, *M*=64кбайт определяет емкость равную *M*=64⋅1024байт=64⋅1024⋅8 бит.

Быстродействие ЗУ (время обращения) характеризуется двумя величинами:

* временем выборки *tв*, представляющим собой интервал времени между моментом подачи сигнала выборки и появлением считываемых данных на выходе;
* циклом записи *tцз*, определяемым минимально допустимым временем между моментом подачи сигнала выборки при записи и моментом, когда допустимо последующее обращение к памяти.

ЗУ строятся из набора однотипных микросхем ЗУ с определенным их соединением. Каждая микросхема ЗУ кроме времени обращения и емкости характеризуется потребляемой мощностью, набором питающих напряжений, током потребления. Микросхемы ППЗУ дополнительно характеризуются временем хранения записанной информации, по истечении которого хранящаяся в ячейках информация может самопроизвольно изменяться, а также допустимым количеством циклов перезаписи, после чего микросхема является негодной для использования.

**Общие принципы и характеристики аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразований**

В большинстве случаев информация о физических процессах и явлений представляется в аналоговой форме. В аналоговой же форме должны формироваться и управляющие воздействия на различные объекты, подвергающиеся анализу, контролю или управлению. Для возможности осуществлять обработку полученной с датчиков аналоговой информации цифровыми методами необходимо выполнить преобразование этой информации к виду, доступному к «пониманию» цифровыми устройствами. Подобное преобразование называется аналого-цифровым. Обратное преобразование, заключающееся в переводе информации, полученной с выходов цифрового устройства к виду непрерывной функции времени или иного ее параметра, называется цифро-аналоговым. Соответственно устройства, выполняющие такие преобразования, называются *аналого-цифровыми преобразователями* (АЦП) и *цифро-аналоговыми преобразователями* (ЦАП).

Из рассмотренных ранее типов цифровых устройств очевидно, что входная информация для них должна характеризоваться дискретностью (конечным количеством) своих значений (кодов). Поскольку наиболее удобной формой информации для обработки средствами электронных устройств являются напряжения и токи, изменяющиеся во времени, то в качестве дискретных значений этих сигналов можно выбрать как дискретные значения времени, так и дискретные уровни напряжений или токов. На рис. 18.1,*а* представлена зависимость входного аналогового напряжения *uа*(*t*) в качестве информационного сигнала, получаемого от объекта с помощью некоторого первичного преобразователя (датчика). Исходный сигнал характеризуется непрерывностью значений как по времени, так и по уровню напряжения. Задав *n* равных промежутков времени *Tд*, можно выделить конечную последовательность импульсов с амплитудами *uд*(*niTд*), точно соответствующими значениям напряжений *uа*(*t*) в эти моменты времени.

Таким образом, реализуется свойство дискретности сигнала по времени. По уровню напряжения импульсы сохраняют свойства непрерывности, поскольку амплитуда *uд*(*niTд*) этих импульсов может принимать произвольные значения. Такая форма преобразования аналогового сигнала называется *дискретизацией по времени*, а время *Тд* – периодом дискретизации.

Если в качестве дискретных выбрать *m* уровней напряжений, то функция *uа*(*t*) вырождается в ступенчатую функцию *uк*(*mQ*), где каждый следующий потенциал отличается от предыдущего на одинаковую величину *Q*, называемую *квантом* (рис. 18.1,*б*). Поскольку функция *uа*(*t*) может иметь произвольную, необязательно линейную форму, то, очевидно, что пересечения этой функции с квантованными уровнями *mjQ* будут наблюдаться в неравные промежутки времени Δ*ti*=*ti*-*ti*-1. При этом значения функций *uа*(*ti*) и *uк*(*mjQ*) в моменты времени *ti* будут совпадать, а сами моменты времени *ti* могут быть произвольными и определяться формой *uа*(*t*) и выбранными уровнями *mjQ*. Отсюда следует, что ступенчатая функция *uк*(*mQ*) сохраняет свойство непрерывности по времени. Такое преобразование аналогового сигнала носит название *квантование по уровню*.

Поскольку понятие «непрерывности» значений по сути равносильно понятию «бесконечности», то фиксация таких значений техническими средствами не представляется возможной. Поэтому, при построении устройств аналого-цифрового преобразования используется подход дискретизации обоих параметров – и времени и уровня. Это означает, что диапазон, в котором изменяется функция *uа*(*t*), разбивается на *m* квантованных уровней *mjQ* с равным шагом *Q*. При этом преобразование осуществляется только в фиксированные моменты времени *ti* с равными периодами дискретизации *Тд* (рис. 18.1,*в*). Вполне очевидно, что в эти моменты времени функция *uа*(*t*) может либо не достичь некоторого уровня *mjQ*, либо превысить его, т.е. возможно несовпадение исходной функции с заданными квантованными уровнями. Поэтому в качестве значений ступенчатой функции *uд,к*(*niTд*, *mjQ*) в моменты времени *ti* выбираются округленные до ближайшего уровня *mjQ* значения исходной функции *uа*(*t*). Очевидно, что для такого типа преобразования характерно наличие погрешности округления *ε*, которая определяется величиной ±*Q*/2.

Для того чтобы проведенное преобразование стало аналого-цифровым, в соответствие значению каждого уровня *mjQ* необходимо присвоить цифровой код *Xj*, в большинстве случаев двоичный. Такой процесс называется *кодированием*. Обычно цифровой код выбирается равным десятичному эквиваленту номера *m*j квантованного уровня. В этом случае максимальному значению кода соответствует значение максимально возможного входного напряжения АЦП за вычетом одного кванта (*uвх.max*-*Q*). Объясняется это тем, что одна кодовая комбинация соответствует нулевому значению входного напряжения АЦП.

Рассмотрим основные характеристики устройств аналого-цифрового преобразования.

*Разрядность n* выходного кода для АЦП и входного – для ЦАП – характеризует количество разрядов для отображения аналоговой преобразуемой величины. Эта характеристика определяет количество квантованных уровней *mjQ*=2*n*.

Диапазон *входного Uвх*. или *выходного Uвых*. напряжений АЦП или ЦАП соответственно. Выражается в единицах Вольт и характеризует полный диапазон входного (выходного) напряжения, которое преобразователь в состоянии отобразить принятым выходным (входным) кодом. Диапазон данного напряжения может быть как однополярным, так и биполярным в зависимости от типа преобразователя.

*Разрешающая способность* (*чувствительность*) – значение минимального изменения входного сигнала АЦП, которое вызывает изменение цифрового кода на единицу. Эта характеристика определяется величиной кванта *Q* и называется еще *величиной младшего разряда* (МЗР или LSB в англоязычной терминологии). Из-за наличия неопределенности (погрешности) величиной ±*Q*/2 обычно принимается, что изменение цифрового кода на единицу происходит в средней точке диапазона данного квантованного уровня (рис. 18.2,*а*). Аналогично для ЦАП разрешающая способность – это минимальное изменение выходного аналогового сигнала, обусловленное изменением входного цифрового кода на единицу.

*Напряжение смещения нуля Uсм*.0 характеризует величину напряжения на входе АЦП, которому соответствует нулевой код на выходе (рис. 18.2,*б*). Соответственно для ЦАП напряжение смещения нуля – это величина выходного напряжения при нулевом входном коде. Напряжение смещения нуля характеризует аддитивную погрешность преобразователя. Часто *Uсм*.0 выражается в единицах МЗР.

*Абсолютная погрешность преобразования в конечной точке шкалы δUf* характеризует отклонение реального максимального входного напряжения для АЦП или выходного для ЦАП от идеального значения, определенного технической документацией преобразователя (рис. 18.2,*в*). Данная величина определяет угол наклона реальной передаточной характеристики и мультипликативную погрешность преобразователя. Также как и *Uсм*.0 часто выражается в единицах МЗР.

*Интегральная нелинейность* δ*UL* характеризует максимально возможное отклонение реальной передаточной характеристики АЦП (ЦАП) от заданной идеальной при нулевых значениях *Uсм*.0 и δ*Uf* (рис. 18.2,*г*). Выражается в единицах МЗР или в процентах по отношению к максимальному входному (выходному) напряжению преобразователя.