



И. И. МАРТЫНЕНКО
В. И. САРККОЯН

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ
ТЕХНИКА
В ИНЖЕНЕРНЫХ
И ЭКОНОМИЧЕСКИХ
РАСЧЕТАХ**

**И. И. МАРТЫНЕНКО
В. И. САРКИСЯН**

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ИНЖЕНЕРНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ

**ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ**

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по специальностям 1509 — «Механизация сельского хозяйства», 1510 — «Электрификация сельского хозяйства», 1515 — «Автоматизация сельскохозяйственного производства».



МОСКВА «КОЛОС» 1980

ББК 40.7

М29

УДК 63 : 681.3(075.8)

Мартыненко И. И., Саркисян В. И.

М 29 Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Колос, 1980. — 287 с., ил. — (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).

Учебное пособие предназначено для студентов факультетов электрификации, механизации сельского хозяйства и автоматизации сельскохозяйственного производства.

Особое внимание в книге уделено аналоговым и цифровым вычислительным машинам, а также методике подготовки и решения типовых инженерных задач на этих машинах

М $\frac{40201-103}{035(01)-80}$ 20—80. 3802040000

ББК 40.7
631.3

© Издательство «Колос», 1975
© Издательство «Колос», 1980 с изменениями

Решениями XXV съезда КПСС намечено увеличение в десятой пятилетке среднегодового объема производства продукции сельского хозяйства по сравнению с предыдущим пятилетием на 14—17%. Предусматривается всемерное повышение эффективности земледелия и животноводства на основе технического перевооружения сельского хозяйства путем внедрения новой техники, поточно-индустриальных методов производства и прогрессивной технологии.

На июльском (1978 г.) Пленуме ЦК КПСС был поставлен ряд вопросов по ускорению роста энерговооруженности, повышению уровня комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственных работ. Существенно увеличивается потребление электроэнергии на селе, прежде всего для производственных нужд. Значительно возрастают поставки сельскому хозяйству тракторов, грузовых автомобилей, зерноуборочных комбайнов, средств механизации работ в производстве и другой сельскохозяйственной техники.

В связи с дальнейшим ростом технической вооруженности сельского хозяйства возникают все более сложные инженерные и технико-экономические задачи, решение которых немыслимо без широкого использования вычислительной техники и экономико-математических методов.

Современная вычислительная техника располагает различными техническими средствами и практически неограниченными возможностями при выполнении вычислений и логической обработке информации. Вычислительная техника помогает инженеру не только в решении трудоемких технических и экономических задач, но и в выборе оптимальных вариантов проектов, рацио-

нальной структуры устройств и систем, в разработке методов эффективного использования машинно-тракторного парка в колхозах и совхозах, комплексов машин для механизации и электрификации процессов сельскохозяйственного производства.

До появления и широкого внедрения в народное хозяйство разнообразной вычислительной техники всякого рода расчетные методы при проектировании, конструировании и эксплуатации техники в целях сокращения объемов вычислительных работ основывались на приближенных, упрощенных схемах и приемах. Вследствие этого результаты расчетов были пригодны лишь для ориентировочных предварительных оценок изучаемых объектов, процессов и систем. Окончательные результаты, приемлемые для использования при разработке новых систем и устройств, получались лишь путем длительного и дорогостоящего экспериментирования.

Современная быстродействующая вычислительная техника может достаточно полно учитывать большинство факторов, существенно влияющих на протекание исследуемых процессов. Это положение коренным образом изменяет возможности аналитических методов исследования. Точность результатов аналитических методов теперь в большей степени зависит от точности задания исходных данных.

Наряду с вычислительными функциями вычислительную технику и особенно электронные вычислительные машины непрерывного и дискретного действия широко используют при моделировании. Моделирование применяют при исследовании сложных технических систем и процессов, а также при решении многих технико-экономических задач. Оно становится наиболее общим методом научных исследований.

Сущность этого метода заключается в том, что рассматриваемая система или отдельные ее элементы заменяют моделью, которая в той или иной степени воспроизводит свойства изучаемой реальной системы (оригинала, натуры) или отдельных ее частей.

Различают физическое и математическое моделирование.

Физическое моделирование основывается на изучении явлений при помощи моделей, в той или иной степени сохраняющих физическую природу изучаемых явлений (замена элементов крупной энергоси-

стемы машинами и аппаратами малой мощности, замена линии электропередачи соответствующими электрическими сопротивлениями и т. п.). Достоинствами физического моделирования являются наглядность, возможность изучения физической сущности явления, возможность изучения явлений, трудно поддающихся аналитическим описаниям, и др.

Недостатки физического моделирования заключаются в необходимости каждый раз переделывать модель при исследовании влияния изменения параметров оригинала и в относительно высокой стоимости физических моделей сложных объектов.

Математическое моделирование основано на аналогичности (идентичности) уравнений, описывающих явления в реальной системе и в модели. Поэтому математические модели представляют собой устройства, воспроизводящие исследуемые процессы и явления на основе описывающих их математических зависимостей. В отличие от физических моделей математические модели могут быть иной физической природы с моделируемым объектом.

Возможность установления связи между разными физическими явлениями базируется на основных положениях диалектического материализма. В книге «Материализм и эмпириокритицизм» В. И. Ленин писал: «Единство природы обнаруживается в «поразительной аналогичности» дифференциальных уравнений, относящихся к разным областям явлений»*.

Аналогичность математического описания процессов, различных по своей физической природе, положена в основу методов математического моделирования.

Для примера рассмотрим поведение двух различных систем (механической и электрической), находящихся под воздействием внешних возмущений. В первом случае (рис. 1, а) на массу m , подвешенную на пружине с

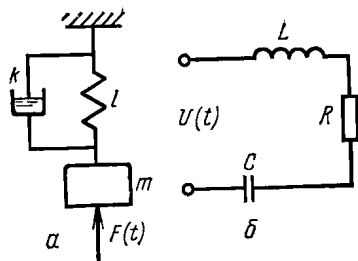


Рис 1 Механическая (а) и электрическая (б) системы, описываемые одинаковыми по виду уравнениями

* Ленин В И Полн собр соч Изд 5-е, т 18, с 306

податливостью l , действует внешняя механическая сила $F(t)$.

Для гашения возникающих при этом колебаний служит демпфер с коэффициентом затухания k . Во втором случае (рис. 1, б) на входе электрической цепи, представляющей последовательный колебательный контур, действует напряжение источника э. д. с., изменяющееся во времени по закону $U(t)$.

Поведение этих систем описывается дифференциальными уравнениями второго порядка с постоянными коэффициентами:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} + \frac{1}{l} x = F(t),$$

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = U(t),$$

где x — смещение массы относительно положения равновесия;

q — электрический заряд конденсатора;

R — активное сопротивление цепи;

C — емкость конденсатора;

L — индуктивность катушки.

Из этого примера видно, что две системы различной физической природы описываются одинаковыми по виду математическими уравнениями. Следовательно, соответствующие физические величины обеих систем изменяются во времени по одному и тому же закону, который является результатом решения приведенных уравнений. Здесь механической силе $F(t)$ соответствует напряжение $U(t)$, изменению перемещения x — изменение заряда q на конденсаторе, скорости перемещения $\frac{dx}{dt}$ — сила тока

в цепи $I = \frac{dq}{dt}$. Из сопоставления постоянных коэффициентов обоих уравнений можно выяснить аналогию между массой и индуктивностью, затуханием и сопротивлением, упругостью пружины и емкостью конденсатора.

Таким образом, процесс изменения заряда на конденсаторе будет протекать во времени аналогично процессу движения массы в механической системе. Поэтому одну из рассмотренных систем можно использовать в качестве модели другой системы.

Метод математического моделирования более универсален, чем метод физического моделирования. Он позволяет при помощи одного моделирующего устройства решать целый класс задач, обеспечивает большую скорость решения и быстрый переход к новой задаче, дает возможность без особых затруднений вводить разного рода внешние воздействия на систему. Исходным материалом для такого моделирования служит математическое описание изучаемых процессов. В качестве моделирующих устройств в настоящее время применяют три категории математических машин: аналоговые вычислительные машины (АВМ), цифровые вычислительные машины (ЦВМ) и аналого-цифровые вычислительные комплексы (АЦВК).

Каждая категория математических машин имеет свои достоинства и недостатки, свою область целесообразного применения и круг задач, для решения которых она наиболее пригодна.

Аналоговые вычислительные машины целесообразно применять для изучения процессов, описываемых дифференциальными уравнениями. С помощью этих машин, например, успешно изучают сложные динамические процессы в механических, электрических, теплотехнических, гидравлических и других системах.

Большое применение АВМ находят при исследовании динамики систем автоматического регулирования на разных этапах их проектирования, они оказываются незаменимыми при изучении влияния изменения отдельных параметров автоматической системы на ее устойчивость, при поисках оптимальных параметров и режимов регулирования, при исследовании устойчивости нескольких регулируемых объектов и т. п.

АВМ обладают преимуществами перед электронными цифровыми вычислительными машинами. Они более просты в использовании и подготовке данных, работа на этих машинах доступна персоналу менее высокой квалификации, подготовка задачи на АВМ занимает меньше времени. Опыт показывает, что инженер или техник, знакомый с основами электроники и владеющий основами высшей математики, в короткий срок осваивает технику работы на АВМ.

Достоинством АВМ является также возможность их совместной работы с реальной аппаратурой в процессе

моделирования, высокое быстродействие, невысокая стоимость машин.

Однако точность результата моделирования на АВМ относительно невелика, поэтому их применяют при решении задач, допускающих погрешности порядка нескольких процентов. Это, например, имеет место при решении теплоэнергетических задач, задач по динамике сельскохозяйственных машин и агрегатов, при исследовании систем автоматического управления, когда исходные данные и параметры процессов задаются с погрешностью в 10—20%. В этих случаях погрешность АВМ, достигающая 1—5%, не может существенно отразиться на точности результатов исследования.

Цифровые вычислительные машины — устройства дискретного действия — представляют собой более универсальные по сравнению с АВМ математические моделирующие устройства, способные решать широкий круг инженерных и экономических задач. ЦВМ с огромной скоростью (сотни тысяч операций в секунду) осуществляют арифметические и логические действия над последовательностями чисел, представленными в решаемой задаче. Поэтому ЦВМ особенно эффективны при решении громоздких задач с большим объемом вычислений. Их широко применяют при моделировании и исследовании технико-экономических проблем: рационального размещения источников электроснабжения предприятий по ремонту сельскохозяйственной техники, рационального комплектования машинно-тракторного парка, обеспечения кормами животноводческих комплексов на промышленной основе, утилизации навоза и прочих отходов крупных животноводческих ферм и комплексов, других технологических и экономико-математических проблем.

ЦВМ принципиально имеют практически неограниченную точность, которая зависит от количества разрядов в счетчиках и регистрах машины.

Однако цифровые вычислительные машины значительно сложнее аналоговых, подготовка задачи для решения на ЦВМ — довольно трудоемкий и длительный процесс, требующий специального обучения. Недостатком цифровых машин является потеря контакта между исследователем и решаемой задачей в процессе решения, потеря физического смысла исследуемых явлений. Дифференциальные уравнения, которые успешно реша-

ют на АВМ, на ЦВМ решать не совсем удобно, так как для этого нужно дискретизировать задачу методами численного анализа. При этом теряются основные преимущества ЦВМ — быстродействие и высокая точность. И на решение подобных задач на ЦВМ затрачивается намного больше времени, чем при решении на АВМ, особенно с учетом времени, потребного для программирования задачи.

АЦВК состоят из устройств аналогового и дискретного действия. Они сочетают в себе достоинства как аналоговых, так и цифровых вычислительных машин, и поэтому их уже сейчас успешно применяют при решении многих задач.

Электронные вычислительные машины имеют еще одну очень важную сферу применения — в системах управления технологическими процессами производства и производством в целом при создании автоматизированных систем управления производством (АСУП) и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Автоматизированные системы управления осуществляют сбор, хранение, передачу и переработку технической и экономической информации, отражающей состояние (режим работы) управляемых объектов. Информацию, выработанную системой, используют для оперативного воздействия на объект с целью получения нужного эффекта (стабилизации режима, оптимизации процессов и т. п.).

Данная книга является учебным пособием для студентов инженерных факультетов сельскохозяйственных вузов.

Последовательность изложения материала в учебном пособии согласуется с программой.

В первой главе изложены вопросы назначения АВМ и даны общие принципы их построения, а также описаны основные математические операции, выполняемые АВМ, включая типичные нелинейные зависимости.

Во второй и третьей главах описываются подготовительные операции и методы решения задач на АВМ.

В четвертой главе даны общие принципы работы ЭВМ, описываются математические и логические операции, выполняемые ЭВМ, основные устройства и принципы их работы.

Пятая глава знакомит читателя с основными принципами построения электронных клавишных вычисли-

тельных машин (ЭКВМ), наиболее распространенными в нашей стране ЭКВМ. В ней также рассмотрены примеры выполнения арифметических действий на этих машинах.

Основы программирования на ЭВМ изложены в шестой главе. В ней рассмотрены вопросы методики подготовки и решения задач на ЭВМ, даны способы описания алгоритмов решаемых задач. Кратко освещены вопросы программирования задач в символических процессах, использования стандартных подпрограмм (СП), а также вопросы автоматизации программирования. В седьмой главе описан один из наиболее рассматриваемых алгоритмических языков для решения инженерных задач — ФОРТРАН.

В восьмой главе изложены методы решения экономических и производственно-технических задач для ЭВМ, а также приведены экономико-математические модели наиболее распространенных задач сельскохозяйственного производства.

Курс «Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах» носит характер технико-теоретической дисциплины. Овладеть им можно только при условии одновременного выполнения лабораторных работ и знания некоторых разделов математики (линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления и т. д.).

Студентам инженерных специальностей сельскохозяйственных вузов данный курс поможет разобраться во многих задачах, связанных с автоматизацией производства, стоящих перед сельским хозяйством. Он также будет полезен для тех студентов, которые имеют склонность к научно-исследовательской работе.

Материал в учебном пособии представлен так, что может быть успешно усвоен при различном количестве часов, отводимых на изучение курса в учебных планах для разных сельскохозяйственных инженерных специальностей.

Авторы выражают признательность — д-ру техн. наук проф. В. Т. Сергованцеву, а также преподавателям Е. М. Шукайло, А. Е. Попову, М. З. Швиденко за большой труд по рецензированию рукописи и ценные советы по улучшению содержания и компоновки материала учебного пособия.

Раздел первый

АНАЛОГОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ (АВМ)

Глава I

УСТРОЙСТВО И НАЗНАЧЕНИЕ



§ 1. Назначение и блок-схема

Аналоговыми вычислительными машинами (АВМ) называют такие машины, которые оперируют величинами, являющимися аналогами величин, заданных в исследуемой задаче. Эти аналоговые величины в машине изменяются по тому же закону, что и исходные переменные величины, поэтому переменные исследуемой задачи можно заменить соответствующими значениями в машине, называемыми машинными переменными.

Принцип построения АВМ заключается в том, что из совокупности отдельных аналоговых вычислительных блоков, каждый из которых реализует отдельную математическую зависимость, набирают схему, переходные процессы в которой описываются уравнениями, аналогичными исследуемым уравнениям.

АВМ оперирует с непрерывно изменяющимися величинами. Машины используют для решения систем линейных дифференциальных уравнений, систем нелинейных дифференциальных уравнений и интегральных уравнений.

Для решения этих уравнений нужно выполнить ряд простейших математических операций: алгебраическое суммирование, интегрирование, дифференцирование, умножение, деление, функциональные преобразования. Для реализации отдельной математической операции машина должна иметь элементарные вычислительные блоки, каждый из которых настроен на решение определенной простейшей математической операции. По виду операции, выполняемой отдельным вычислительным блоком, их подразделяют на линейные и нелинейные.

К линейным аналоговым вычислительным блокам относят: суммирующие, масштабные, интегрирующие.

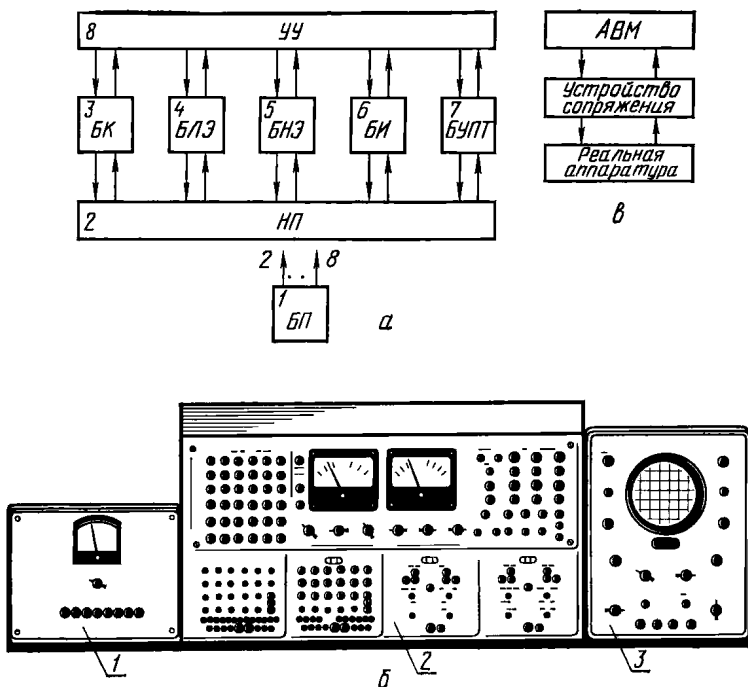


Рис 2 АВМ МН-7.

а — блок-схема; *б* — внешний вид, 1 — блок питания, 2 — основной решающий блок, 3 — осциллограф, *в* — схема связи с реальной аппаратурой

К нелинейным — блоки умножения, блоки деления и функциональные преобразователи.

Для решения исследуемой задачи АВМ должна иметь достаточное число элементарных вычислительных блоков.

Структурная схема АВМ состоит из следующих блоков (см. рис. 2, *а*): БП — блок питания; НП — наборное поле; БК — блок постоянных и переменных коэффициентов; БЛЭ — блок линейных элементов; БНЭ — блок нелинейных элементов; БИ — блок индикации; БУПТ — блок усилителей постоянного тока; УУ — устройство управления.

Элементарные блоки соединены на наборном поле (НП) машины при помощи шнуровой коммутации. На наборном поле выведены все входы и выходы элементарных блоков, и это позволяет без особых затруднений

вносить изменения в структурную схему задачи, набранной на АВМ.

Блок постоянных и переменных коэффициентов (*БК*) дает возможность набирать на АВМ члены уравнения, имеющие постоянные коэффициенты, а также переменные коэффициенты, зависящие от времени или произвольного аргумента.

Блок нелинейных элементов (*БНЭ*) используют для воспроизведения типовых нелинейных зависимостей или заданной нелинейной зависимости. Кроме того, они позволяют также воспроизводить операции умножения и деления, которые имеют сравнительно невысокую точность и считаются малоэффективными при решении задач на АВМ.

Усилители постоянного тока — основные элементы АВМ — сведены в блок усилителей постоянного тока (*БУПТ*). Этот блок совместно с блоком нелинейных элементов (*БЛЭ*) выполняет операции суммирования, интегрирования, дифференцирования, инвертирования и т. д.

Устройство управления (*УУ*) предназначено для синхронизации работы всех блоков АВМ в процессе решения задачи. Оно вырабатывает команды для управления работой АВМ в режимах ввода начальных условий интегрирования, фиксации решения, возврата машины в исходное положение, контроля работы АВМ. Блок индикации (*БИ*) используется для отображения и фиксации процесса решения. К регистрирующим устройствам АВМ относят стрелочные, цифровые и печатающие вольтметры, электронные и шлейфовые осциллографы, самопишущие приборы.

Блок питания (*БП*) служит для электропитания всех блоков АВМ. Внешний вид АВМ МН-7 приведен на рисунке 2, б.

В заключение следует сказать несколько слов о методе моделирования с использованием реальной аппаратуры (рис 2, в), который позволяет сочетать достоинства математического и физического моделирования.

Метод моделирования с использованием реальной аппаратуры (*РА*) нашел применение при исследовании систем автоматического регулирования и управления, сложных механических систем и т. д.

При использовании данного метода модель объекта регулирования, набранная на АВМ, соединяется с

реальной аппаратурой при помощи устройства сопряжения (УС). Использование УС необходимо, так как переменные с реальной аппаратурой могут носить разный характер (перемещение, угол поворота, скорость перемещения, давление и т. д.), а АВМ решает задачу и выдает управляющие воздействия на реальную аппаратуру (РА) в напряжениях. Поэтому возникает проблема перевода переменных реальной аппаратуры в электрические сигналы, «понятные» АВМ, и наоборот, тем самым замыкая систему АВМ — РА. Применение метода с использованием РА позволяет приблизиться к реальным условиям больше, чем математическое моделирование на АВМ.

§ 2. Операционный усилитель

Известно, что элементарные линейные операции могут быть успешно реализованы при помощи пассивных электрических цепей.

Однако данные схемы имеют существенные недостатки, а именно: влияние нагрузки, трудности согласования схем друг с другом и т. д. Поэтому в современных АВМ используют не пассивные цепи, а усилители постоянного тока (УПТ) с большим коэффициентом усиления $k_y \approx 10^6$ и малым дрейфом выходной величины (рис. 3).

В настоящее время УПТ выпускают на электронных лампах, полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах.

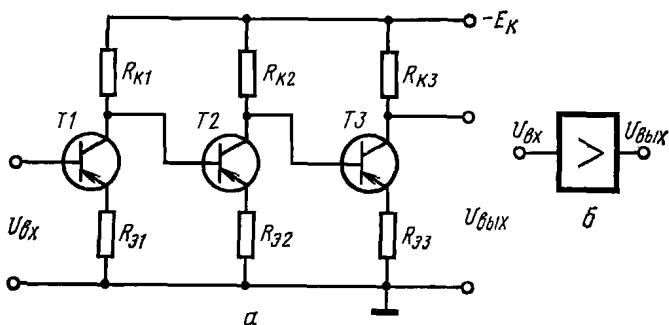


Рис. 3. Усилитель постоянного тока, выполненный на транзисторах:

а — упрощенная принципиальная схема; б — условное обозначение.

Связь между соседними каскадами схемы, приведенной на рисунке 3, осуществляется соединением коллектора предыдущего каскада с базой последующего.

Сопротивление резисторов на данной схеме выбирают из расчета равенства нулю напряжения на выходе схемы $U_{\text{вых}}=0$ при нулевом потенциале $U_q=0$ на базе первого триода.

Учитывая, что каждый каскад УПТ инвертирует знак входного сигнала, а каскадов обычно берется нечетное число (как правило, три), то для этой схемы можно записать:

$$U_{\text{вых}} = -k_y U_q; \quad (1)$$

$$U_q = -\frac{U_{\text{вых}}}{k_y}. \quad (2)$$

Ввиду того что коэффициенты усиления УПТ имеют величины от нескольких десятков тысяч до нескольких миллионов (в машине МН-7 на частоте 50 Гц $k_y \geq 50\,000$), можно принять, что потенциал точки q будет близок к нулю [см. формулу (2)].

Использовать схему (рис. 3) для выполнения арифметических операций невозможно из-за неустойчивости коэффициента усиления УПТ [4]. Поэтому для стабилизации коэффициента усиления УПТ используют отрицательную обратную связь. Под обратной связью понимают передачу части выходного напряжения усилителя на его вход.

Если напряжения на входе и выходе усилителя имеют разные знаки, то такую обратную связь называют отрицательной. Поэтому для создания отрицательной обратной связи удобно использовать усилитель, имеющий нечетное число каскадов, отрицательная обратная связь в котором осуществляется путем подачи части $U_{\text{вых}}$ непосредственно на вход усилителя.

Для практического осуществления отрицательной обратной связи используют цепь, состоящую из сопротивлений, подключаемых к УПТ, как показано на рисунке 4. В общем случае величины Z_0 и Z_1 могут быть комплексными, как было указано выше, потенциал точки q имеет малую величину ($U_q \rightarrow 0$) при любом сочетании Z_0 и Z_1 и характер выходного напряжения будет полностью определяться отношением сопротивлений Z_0 и

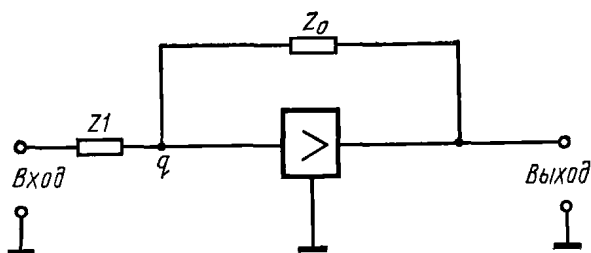


Рис 4 Структурная схема операционного блока (ОБ).

Z_1 , включаемых в цепь обратной связи и во входную цепь.

УПТ с большим k_u , охваченный обратной отрицательной связью, обеспечивающей выполнение математических операций, называется операционным усилителем (ОУ) или операционным блоком (ОБ). Коэффициент усиления операционного усилителя (ОУ) называется передаточным коэффициентом или коэффициентом передачи.

Во всех решающих блоках, входящих в состав АВМ, важным вопросом является выбор напряжения питания. Обычно применяется либо постоянное, либо переменное напряжение.

В схемах на постоянном токе возникают погрешности, вызванные колебаниями напряжения источников питания.

В устройствах, работающих на переменном токе, погрешности выходных величин возникают из-за амплитуды, частоты источника питания. Кроме того, возникают фазовые погрешности (непостоянство угла между векторами напряжения и тока). Это довольно сложная техническая проблема. В настоящее время для выполнения операций суммирования, умножения скалярных величин и дифференцирования используют устройства, работающие на постоянном токе.

Для получения тригонометрических функций и выполнения операций над комплексными и векторными величинами используют устройства, работающие на переменном токе.

В зависимости от комбинаций Z_0 и Z_1 возможны следующие режимы работы ОБ.