



## **Введение**

Аналоговый компьютер -- аналоговая вычислительная машина (АВМ), которая представляет числовые данные при помощи аналоговых физических переменных (скорость, длина, напряжение, ток, давление), в чём и состоит его главное отличие от цифрового компьютера.

## **Принцип действия**

Представлением числа в механических аналоговых компьютерах служит, например, количество поворотов шестерёнок механизма. В электрических -- используются различия в напряжении. Они могут выполнять такие операции, как сложение, вычитание, умножение, деление, дифференцирование, интегрирование и инвертирование.

При работе аналоговый компьютер имитирует процесс вычисления, при этом характеристики, представляющие цифровые данные, в ходе времени постоянно меняются.

Результатом работы аналогового компьютера являются либо графики, изображённые на бумаге или на экране осциллографа, либо электрический сигнал, который используется для контроля процесса или работы механизма.

Эти компьютеры идеально приспособлены для осуществления автоматического контроля над производственными процессами, потому что они моментально реагируют на различные изменения во входных данных. Такого рода компьютеры широко используются в научных исследованиях. Например, в таких науках, в которых недорогие электрические или механические устройства способны имитировать изучаемые ситуации.

В ряде случаев с помощью аналоговых компьютеров возможно решать задачи, меньше заботясь о точности вычислений, чем при написании программы для цифровой ЭВМ. Например, для электронных аналоговых компьютеров без проблем реализуются задачи, требующие решения дифференциальных уравнений, интегрирования или дифференцирования. Для каждой из этих операций применяются специализированные схемы и узлы, обычно с применением

операционных усилителей. Также интегрирование легко реализуется и на гидравлических аналоговых машинах.

## **Базовые элементы АВМ**

Все функциональные блоки аналоговых вычислительных машин можно разделить на ряд групп:

1. линейные -- выполняют такие математические операции как интегрирование, суммирование, перемена знака, умножение на константу.
2. нелинейные (функциональные преобразователи) -- соответствуют нелинейной зависимости функции от нескольких переменных.
3. логические -- устройства непрерывной, дискретной логики, релейные переключающие схемы. Вместе эти устройства образуют устройство параллельной логики.

Универсальные АВМ как правило содержат в своем составе:

- источник питания
- контрольно-измерительную аппаратуру
- управляющее устройство
- наборное поле
- блоки суммирования (сумматор)
- блоки интегрирования (интегратор)
- блоки дифференцирования (дифференциатор)
- множително-делительное устройство
- блоки нелинейности (функциональный преобразователь)

также используются:

- потенциометр функциональный
- блок переменных коэффициентов

- вычислитель индукционный
- тахогенератор

Схема масштабного звена, он же инвертор при  $k=1$

- масштабное звено -- аналоговый функциональный блок в АВМ структурного типа, в котором выходная величина  $y(t)$  и входная величина  $x(t)$  связаны зависимостью:  $y(t) = kx(t)$  Применяется когда в АВМ при реализации структурной схемы модели необходимо произвести умножение на постоянный коэффициент  $k$ . В качестве звена масштабирования может применяться блок суммирования, в котором  $k_i = 0, i = 2, \dots, n$ , а напряжение на выходе определяется зависимостью:

### **Запоминающее устройство АВМ**

- Емкостные запоминающие устройства -- динамические запоминающие устройства, основанная на свойстве конденсаторов хранить поданное на него напряжение. Ячейка емкостного ЗУ формируется на обычном интеграторе с различными коммутаторами. Иногда в интегратор для уменьшения времени процесса запоминания вводится операционный усилитель -- повторитель. Время хранения информации в таких устройствах ограничено.
- **Делитель напряжения** -- электромеханическое запоминающее устройство в которых запоминаемым величинам углы поворота реостатов. Подобные устройства могут неограниченное время хранить информацию.
- Запоминающая пара -- устройство, формирующее задержанную во времени последовательность выбранных уровней входного сигнала. В качестве запоминающей пары часто применяют каскадно соединенные операционные усилители, один из которых работает в режиме отслеживания входного сигнала, а другой в режиме хранения.
- ЗУ на ферритовых сердечниках -- основано на свойстве ферромагнетиков сохранять намагниченность. Ячейки таких ЗУ выполняются на ферритовых сердечниках либо на трансфлюксорах и тороидальных сердечниках. Использование трансфлюксоров и тороидальных сердечников уменьшает погрешности одновременно снижая быстродействие.

### **Характеристики**

Добротность АВМ -- обобщенная характеристика аналоговой вычислительной машины, вычисляемая по формуле:

где  $E_{\max}$  -- максимально возможное значение машинной переменной,  $E_{\min}$  -- нижний предел возможного значения машинной переменной. Пределы как правило определяются экспериментально. Числовое значение  $E_{\min}$  зависит от уровня помех, ошибок аналоговых функциональных блоков, точности применяемой измерительной аппаратуры. Добротность мощных АВМ превышает  $d = 10^3$ .

### **3. Классификация**

Аналоговая ЭВМ «Newmark», 1960 года выпуска. Состоит из пяти блоков, использовалась для вычисления дифференциальных уравнений. Сейчас находится в Кембриджском технологическом музее.

Все АВМ можно разделить на две основных группы:

- Специализированные -- предназначены для решения заданного узкого класса задач (или одной задачи);
- Универсальные -- предназначены для решения широкого спектра задач.

### **В зависимости от типа рабочего тела**

#### **АВМ механическая**

**АВМ** механическая -- аналоговая вычислительная машина, в которой машинные переменные воспроизводятся механическими перемещениями. При решении задач на АВМ данного типа необходимо, кроме масштабирования переменных, производить силовой расчет конструкции и расчет мертвых ходов. Достоинствами механических АВМ являются высокая надежность и обратимость, позволяющая воспроизводить прямые и обратные математические операции. Недостатки АВМ такого типа -- высокая стоимость, сложность изготовления, большие габариты и вес, а также низкий коэффициент эффективности использования отдельных вычислительных блоков. Механические АВМ применяют при построении высоконадежных вычислительных устройств.<sup>[4]</sup>

#### **АВМ пневматическая**

**АВМ** пневматическая -- аналоговая вычислительная машина в которой переменные представлены в виде величин давления воздуха (газа) в различных точках специально построенной сети. Элементами такой АВМ являются дроссели, емкости и мембраны. Дроссели играют роль сопротивлений могут быть постоянными, переменными, нелинейными и регулируемые. Пневматические емкости представляют из себя глухие или проточные камеры, давление в которых в следствии сжимаемости воздуха растет по мере из наполнения. Мембраны используются для преобразования давления воздуха. В состав пневматической АВМ могут входить усилители, сумматоры, интеграторы, функциональные преобразователи и множительные устройства, которые соединяются между собой при помощи штуцеров и шлангов. Пневматические АВМ уступают в быстродействии электронным. В среднем подвижные элементы такой АВМ имеют время срабатывания около десятой доли миллисекунды, следовательно они могут пропускать частоты порядка 10 кГц. Такие АВМ отличаются значительными погрешностями, поэтому применяются там где нельзя применять другие типы вычислительных машин: в взрывоопасных средах, в средах с высокими температурами, в автоматических системах химического производства. Из-за низкой стоимости и высокой надежности такие АВМ также применяют в металлургии, теплоэнергетике, газовой промышленности и т. п.<sup>[4]</sup>

В 1960-х годах разрабатывались для получения средства дискретных вычислений с высокой радиационной стойкостью. Были разработаны элементы, выполняющие основные логические операции и элементы памяти без механических подвижных элементов.

Такие элементы очень долговечны, поскольку в них практически отсутствуют подвижные части, и, как следствие, нечему ломаться. В случае засорения каналов логические матрицы легко разбираются и промываются. Работает пневмокомпьютер от промышленной пневмосети. Логические матрицы легко штампуются на термопласт-автоматах из пластика. Для особых случаев матрица может быть изготовлена из тугоплавкой керамики, отлита из чугуна или другого сплава.

Сейчас пневмокомпьютеры используются в отраслях промышленности, где требуется повышенная вибрационная стойкость, работоспособность в очень широком диапазоне температур или требуется управление пневматическими силовыми устройствами. В последнем случае устраняется необходимость в преобразователях электрического сигнала в перемещение (электро-пневмопреобразователь + позиционер). Это -- роботы и автоматика, работающие в

металлургии, в горнорудной промышленности. Известны случаи управления элементами авиационных двигателей, автоматикой ракетных систем, силовыми приводами вертолетов и самолетов.

Существует также целая категория производств, агрегатов и установок, где применение электричества, даже самых низких напряжений, очень нежелательно. Это химия органических соединений, нефтеперегонные заводы, подземная добыча угля и руды. Они до сих пор широко используют пневматическую автоматику.

#### АВМ электронная

**АВМ** электронная -- аналоговая вычислительная машина в которой переменные представляются электрическим напряжением постоянного тока. Получили широкое распространение в связи с высокой надежностью, быстродействием, удобством управления и получения результатов.

#### Комбинированные АВМ

**Страница** инструкции с описанием точного аналогового механизма прицеливания американского бомбового прицела «Norden» для бомбардировщиков времен Второй мировой войны (рис.10).

#### Электромеханические **АВМ**

**Примером** комбинированной АВМ может служить электромеханические АВМ в которых машинными переменными являются механические (обычно угол поворота) и электрические (обычно напряжение) величины. Специфическими для данного типа АВМ являются следующие базовые элементы: вращающиеся трансформаторы, тахогенераторы. АВМ данного типа менее надежны чем механические, из-за наличия скользящих контактов.

### 3.2 По конструктивным признакам

#### **АВМ** матричного типа

**АВМ** матричного типа (групповая аналоговая машина) -- аналоговая машина в которой отдельные простейшие вычислительные блоки жестко соединяются в одинаковые типовые группы. В основном используется для моделирования дифференциальных уравнений. Задачу при этом предварительно необходимо свести к равносильной ей системе дифференциальных уравнений первого порядка. Каждая типовая группа вычислительных элементов используется для

моделирования одного уравнения. АВМ матричного типа нуждается в определенном процессе масштабирования, при котором значения коэффициентов одного столбца матрицы должны иметь одинаковый порядок. Набор задач на таких АВМ сводится к установке коэффициентов и начальных условий. Недостатком АВМ этого типа является низкая эффективность использования отдельных блоков. К этому типу АВМ в основном относятся механические АВМ.<sup>[4]</sup>

АВМ структурного типа

**Структурная** операционная аналоговая машина, в которой простейшие вычислительные блоки соединяются между собой в соответствии с математическими операциями решаемого уравнения. Используются для математического моделирования.

### **По способу функционирования**

#### **Быстрая АВМ**

**АВМ** с периодизацией, АВМ с повторением решения -- аналоговая вычислительная машина, в которой этапы решения задач автоматически повторяются с помощью системы коммутации. Предел частоты повторений определяется частотными характеристиками решающих элементов. Вычислительные элементы АВМ однократного действия (операционные усилители, функциональные преобразователи и т. п.) пригодны для использования в АВМ с периодизацией. В таких АВМ используются интеграторы с малой постоянной времени. Устройство быстродействующих АВМ более сложное, чем у АВМ однократного действия, так как используются специальные схемы для разряда конденсаторов в конце цикла и схемы для автоматического ввода начальных значений в начале каждого вычислительного цикла. Самое большее преимущество АВМ такого типа -- возможность наблюдать изменение результата в зависимости от параметров в реальном времени. Быстродействующие АВМ используются для приблизительного определения передаточной функции физической системы по семейству ее переходных характеристик, для решения краевых задач, вычисления интеграла Фурье и корреляционного анализа.

#### **Медленная АВМ**

**Медленная** АВМ -- аналоговая вычислительная машина однократного действия, в которой используются интеграторы с относительно большими постоянными времени. Решение типовых задач на таких АВМ длится от нескольких секунд до

нескольких минут. При этом результат изменения параметров может быть зафиксирован только после завершения всех вычислительных циклов.

## Итеративная АВМ

**Итеративная АВМ** -- аналоговая вычислительная машина, осуществляющая процесс решения задачи итерационным способом в течении определенного числа итераций. Специфика такой АВМ позволяет управлять ходом вычислений в заданные моменты времени. Например, возможно обрабатывать значения с выходов интеграторов и пересылать информацию из одного такта в другой в зависимости от условий.

## 4. Применение

Аналоговые компьютеры основываются на задании физических характеристик их составляющих. Обычно это делается методом включения-исключения некоторых элементов из цепей, которые соединяют эти элементы проводниками, и изменением параметров переменных сопротивлений, емкостей и индуктивностей в цепях.

Автомобильная автоматическая трансмиссия является примером гидромеханического аналогового компьютера, в котором при изменении вращающего момента жидкость в гидроприводе меняет давление, что позволяет получить необходимый результат.

Помимо технических применений (автоматические трансмиссии, музыкальные синтезаторы), аналоговые компьютеры используются для решения специфических вычислительных задач практического характера. Например, кулачковый механический аналоговый компьютер, изображённый на фото, применялся в паровозостроении для аппроксимации кривых 4 порядка с помощью преобразований Фурье.

Сейчас аналоговые компьютеры уступили свое место цифровым технологиям, но ещё применяются там, где необходима повышенная точность результатов.