

**К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ТИПА АНАЛОГОВОГО  
МНОЖИТЕЛЬНО-ДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА  
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ  
ХИМИЧЕСКИМ ПРОИЗВОДСТВОМ**

Б. И. БАЛЫШЕВ, В. М. РАЗИН, И. Г. СМЫШЛЯЕВА, Н. В. ТРИХАНОВА

Характерной особенностью развития современной химической промышленности является широкое использование электронных вычислительных машин для решения разнообразных задач, связанных с исследованиями и управлением технологическим процессом производства.

В настоящее время в качестве управляющих вычислительных машин наиболее распространены цифровые вычислительные машины. Это объясняется тем, что в режиме длительной непрерывной работы ЦВМ значительно превосходят АВМ по точности вычислений и способности обрабатывать большее количество информации, поступающей от многочисленных датчиков. Однако аналоговые вычислительные машины имеют ряд достоинств: высокая надежность работы решающих элементов, простота технического обслуживания и программирования. Сопрежение АВМ с производственными процессами осуществляется без преобразователей сигналов в дискретную форму, необходимых в случаях применения ЦВМ [1].

Сопоставляя возможности АВМ и ЦВМ, используемых в качестве управляющих, можно сделать заключение, что для управления крупным производством предпочтительнее цифровые машины; управление отдельными установками производства с успехом можно поручить аналоговым машинам.

В ближайшее время ожидается широкое внедрение АВМ, которые в 5—10 раз дешевле цифровых [2].

**Требования к аналоговым вычислительным устройствам,  
применяемым в системах управления химического производства**

Аналоговые вычислительные устройства, применяемые в системах управления, должны работать продолжительное время без настройки, в непосредственной связи с производственными объектами. Поэтому к ним предъявляются следующие требования:

1. Коэффициент усиления по прямому каналу может быть равен 1000, что значительно меньше коэффициента усиления усилителя, применяемого в типовых АВМ.

2. Выходные напряжения усилителей при выполнении управляющих операций не должны превосходить определенных значений; интегрирующие усилители, выходное напряжение которых может превы-

сить предельные значения, должны быть защищены диодными ограничителями.

3. Дрейф нуля должен быть сведен к минимуму, при этом обычно используется канал МДМ, что также исключает необходимость частой настройки выходного напряжения.

4. Конструкция и размещение. Удобное размещение элементов, хорошая вентиляция и внедрение полупроводниковых элементов и интегральных схем увеличивают надежность работы. Наличие сменных блоков упрощает обслуживание. Часто используются в качестве временных узлов систем управления небольшие аналоговые вычислительные машины общего назначения.

5. Стабильность работы в диапазоне температур от 0—5 до 30—50°C.

6. Большая точность работы часто не является необходимостью и составляет в среднем величину 0,5% [3].

### Классификация аналоговых множительно-делительных устройств

Под аналоговым МДУ понимают устройства, выполняющие математическую операцию одновременного перемножения и деления входных непрерывных физических величин, при этом главной операцией является перемножение. В настоящее время известно большое количество физических и математических принципов перемножения аналоговых величин [4]. В связи с этим множительные устройства делятся на два класса: 1) МУ прямого действия; 2) МУ косвенного действия.

В основу МУ косвенного действия положены математические зависимости вида

$$xy = \int x \cdot dy + \int y \cdot dx. \quad (1)$$

МУ, реализующие выражение (1), строятся на математических интеграторах (фрикционах). Точность таких устройств определяется точностью выполнения механической системы и колеблется в пределах  $(0,2 \pm 0,1)\%$ . Применение их ограничивается громоздкостью и малым быстродействием.

$$xy = \frac{1}{2} [\cos(a+b) - \cos(a-b)], \quad (2)$$

где

$$x = \sin a, \quad y = \sin b.$$

Для реализации выражения (2) требуется большое количество блоков, из которых четыре — нелинейные. Поэтому точность этой схемы мала и составляет  $(5-12)\%$

$$xy = a^{\log_a x + \log_a y}. \quad (3)$$

Недостатки такой схемы: громоздкость и наличие нескольких блоков нелинейности. Достоинство ее заключается в том, что можно получить сразу произведение трех и более сомножителей, а также одновременное извлечение квадратного корня. Точность составляет  $1-5\%$

$$xy = \frac{1}{4} [(x+y)^2 - (x-y)^2]. \quad (4)$$

Схемы, основанные на реализации зависимости (4), в настоящее время широко применяются в аналоговых вычислительных машинах общего назначения. Они имеют относительно высокую точность  $0,5-1\%$  и широкую полосу пропускания операционных усилителей, используемых в схеме. Однако все МУ косвенного действия громоздки.

включают в себя функциональные преобразователи, требующие постоянную подстройку в процессе работы, поэтому их нежелательно применять в системах управления [5, 6, 7].

В основу построения множительных устройств прямого действия положены известные физические законы. Это — устройства, основанные на использовании эффекта Холла [5, 8], устройства, основанные на использовании тех или иных видов модуляции напряжений. Так, для выполнения операции умножения могут быть применены двойная амплитудная модуляция, сочетание амплитудной и фазовой модуляции, амплитудной и импульсной модуляции и т. д. [3, 9].

МУ прямого действия могут быть построены по схеме замкнутого и разомкнутого типа.

При построении схем разомкнутого типа к элементам МУ предъявляются жесткие требования в отношении их линейности, точности формы импульсов и т. д. Все условия должны быть не только выполнены, но и сохранены с большой точностью неизменными при различных режимах работы схемы.

Таких требований не предъявляется, если те же самые элементы используются для построения МУ разомкнутого типа. МУ замкнутого типа являются более сложными и громоздкими, но имеют гораздо большую точность и стабильность, по сравнению с МУ разомкнутого типа. Кроме того, МУ замкнутого типа обычно выполняют одновременно и операцию деления, т. е. оказывается возможным сразу получить схему умножения — деления [10].

Наиболее часто используются схемы, в которых применена импульсная модуляция, поскольку работы этих схем меньше зависят от характеристик, применяемых в них элементов. Среди последних важное место занимают схемы, в которых сочетается амплитудная и широтная модуляции. Они получили название время — импульсных схем деления — умножения [10].

Время — импульсные МДУ относятся к электронным аналоговым устройствам, так как и электрические напряжения и временные интервалы являются по своей природе непрерывными величинами. Временной интервал легко преобразуется в цифровую величину путем подсчета числа импульсов постоянной частоты следования, укладываемых в преобразуемом временном интервале, поэтому возможен переход к цифровой форме представления переменных, что делает точное устройство цифро-аналоговым.

Еще одной причиной популярности время — импульсных МДУ является относительная простота их построения, по сравнению со схемами с другими видами модуляции и другими принципами построения.

Время — импульсные МДУ обладают высокой точностью по сравнению с другими типами МДУ 0,5—0,1% вследствие точности, с которой могут осуществляться широтная и импульсная модуляции. Они содержат малое число элементов, обладают высокой надежностью в связи с широким использованием ключевых режимов элементов.

Основным их недостатком является узкая полоса пропускания частот, поэтому их целесообразно применять в системах управления производственными процессами, где не требуется высокое быстродействие.

Интересной особенностью схем время — импульсного типа является возможность построения на них сумматоров и функциональных преобразователей, тем самым открывается возможность построения специализированных аналоговых вычислительных машин время — импульсного типа.

Время — импульсные МДУ замкнутого типа относятся к числу точных устройств, приведенная относительная ошибка которых составляет величину от десятых до сотых долей процента. Точность их определяется точностью работы элементов и зависит от правильности и тщательности их выполнения. Схемы время — импульсных МДУ выполняются на лампах и полупроводниках. С появлением интегральных схем целесообразно, в частности, для обеспечения точности в температурном диапазоне, стабильности работы и т. д. разрабатывать время—импульсные МДУ на интегральных схемах.

### Выводы

Для использования МДУ в системах управления химическим производством целесообразно применять схемы время — импульсных МДУ замкнутого типа, выполненные на полупроводниках или интегральных схемах.

1. Схемы время—импульсных МДУ обеспечивают точность от десятых до сотых долей процента.

2. Состоят из простых узлов, в которых используются ключевые режимы полупроводников, обладают высокой стабильностью.

3. Могут удовлетворительно работать в диапазоне от  $0^{\circ}$  до  $60^{\circ}\text{C}$ , а при использовании интегральных схем от  $-60^{\circ}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ .

4. Схемы время—импульсного типа могут быть использованы также для построения сумматоров, функциональных преобразователей и других блоков аналоговых вычислительных машин.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Л. Леонов, Ф. Я. Ревзин. Автоматизация химических процессов и пути ее развития. М., «Химия», 1967.

2. В. А. Луценко, Л. Н. Финякин. Аналоговые вычислительные машины в химии и химической технологии. М., «Химия», 1967.

3. Вычислительная техника. Справочник, т. I. Аналоговые вычислительные устройства. Под ред. Г. Д. Хаски и Г. А. Корна. М., «Энергия», 1964.

4. Б. Я. Коган. Электронные моделирующие устройства и их применение для исследований систем автоматического регулирования. М., Физматгиз, 1966.

5. В. Б. Смоллов, А. Н. Лебедев и др. Вычислительные машины непрерывного действия. М., «Высшая школа», 1964.

6. И. М. Витенберг, В. Д. Чалый. Схемы перемножения и деления переменных. М., «Энергия», 1964.

7. Энциклопедия современной техники, перемножающие устройства, т. 2. М., «Энергия», 1964.

8. В. А. Казаков. Вычислительные устройства машин непрерывного действия. М., «Машиностроение», 1965.

9. И. В. Латенко. Аналоговые множительные устройства. ГИТЛ, УССР, Киев, 1963.

10. В. Б. Смоллов, Е. П. Угрюмов. Время—импульсные вычислительные устройства. М., «Энергия», 1968.