

# Микропроцессорные реле защиты. Как они устроены? Часть IV

Часть III опубликована в предыдущем номере (№6 (30) ноябрь-декабрь 2009) и на сайте журнала <http://www.market.elec.ru/>.

В части IV статьи рассматриваются конструкция и принцип действия микропроцессора.

## Микропроцессор

Микропроцессор — это центральный узел МУРЗ, предназначенный для управления работой всех остальных узлов и выполнения арифметических и логических операций над информацией. Современный микропроцессор является, практически, законченной системой управления. Он имеет сложную внутреннюю архитектуру и представляет собой сверхбольшую интегральную схему, формируемую на слоях кремниевой подложки. Для этого применяются специальные процессы формирования схемы под воздействием химических препаратов, газов и излучения.

Процессор содержит огромное количество микротранзисторов, связанных между собой сверхтонкими алюминиевыми соединительными каналами, обеспечивающими их взаимодействие при записи и обработке данных, позволяя микропроцессору выполнять множество различных функций. Самый первый микропроцессор модели 4004, о котором корпорация Intel объявила в 1971 году, рис. 42, содержал «всего» 2300 транзисторов и выполнял примерно 60 000 вычислительных операций в секунду.

Широко применяющийся сегодня в МУРЗ процессор 486 серии содержит уже 1,6 миллиона транзисторов, а процессор Pentium IV насчитывает 42 миллиона транзисторов и выполняют сотни миллионов операций в секунду.

На сегодняшний день микропроцессоры — самые сложные в производстве электронные устройства. Для создания современных микропроцессоров требуются сотни производственных этапов, к чистоте и точности каждого из которых предъявляются исключительно жесткие требования. Сначала на подложке под воздействием высокой температуры и кислорода формируется первый очень тонкий слой диоксида кремния. Затем подложка покрывается фотоэмульсией, способной разрушаться под действием, ультрафиолетового излучения, на которую наносится так называемая маска (трафарет с рисунком будущей схемы).

В процессе фотолитографии ультрафиолетовое излучение, проходя сквозь маску, формирует на подложке рисунок схемы. Засвеченные участки фотослоя становятся раство-

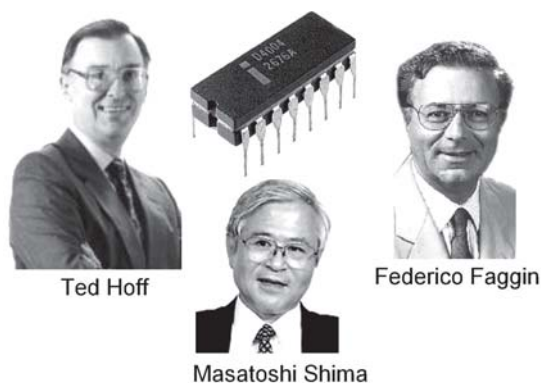
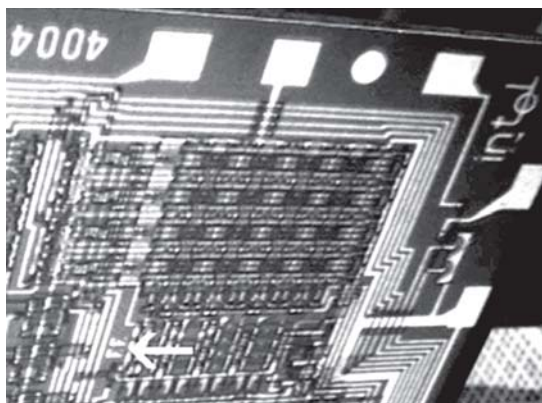


Рис. 42. Изобретатели первого в мире микропроцессора

римыми и вымываются специальным растворителем в процессе дальнейшей обработки, при этом открывается соответствующая часть слоя диоксида кремния, которая не была защищена маской. Эти незащищенные участки диоксида кремния вытравливаются химическими препаратами и на кремниевой подложке остается рисунок, выполненный диоксидом кремния, расположенный под маской. Чтобы отделить готовый слой от нового, на полученном рисунке схемы выращивается тонкий дополнительный слой диоксида кремния. После этого наносится слой поликристаллического кремния и еще один фотослой. Далее, таким же образом образуется вторая слой. Для засветки каждого из слоев микропроцессора применяется своя маска.

Формирование из чистого кремния полупроводников нужного типа проводимости и р-п-переходов будущих транзисторов, осуществляют с помощью процесса ионной имплантации, при которой области кремниевой подложки, обработанные ультрафиолетом, бомбардируются ионами различных примесей. Ионы проникают в подложку, обеспечивая необходимую электрическую проводимость этих областей.

Наложение новых слоев с последующим вытравливанием схемы осуществляется несколько раз, при этом для межслойных соединений в слоях оставляются очень малые по площади окошки, которые заполняются атомами металла и образуют соединения между слоями будущего микропроцессора (количество которых



**Рис. 43.** Сильно увеличенный фрагмент внутренней структуры первого в мире микропроцессора (Intel 4004). Стрелкой отмечены буквы FF (Federico Faggin), вытравленные на кристалле

может доходить до 20 и более в современных микропроцессорах), рис. 43. По краям кристалла также оставляют тончайшие металлические полоски, к которым в дальнейшем прикрепляют внешние выводы микропроцессора. Общий производственный цикл состоит из более чем 250 стадий, по окончании которого готовый микропроцессор тщательно тестируются и встраивается в защитный корпус.

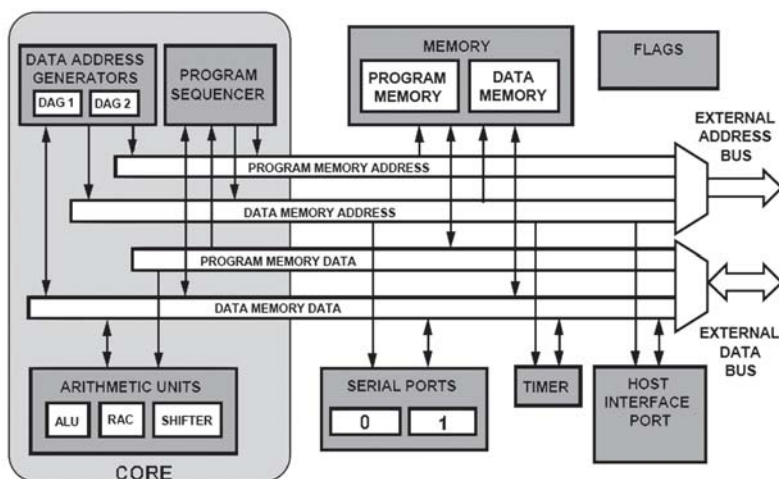
Микропроцессор выполняет следующие основные функции:

- чтение и дешифрацию команд из основной памяти;
- чтение данных из основной памяти и регистров адаптеров внешних устройств;
- обработку данных и их запись в основную память и регистры;
- выработку управляющих сигналов для выходных устройств МУРЭ.

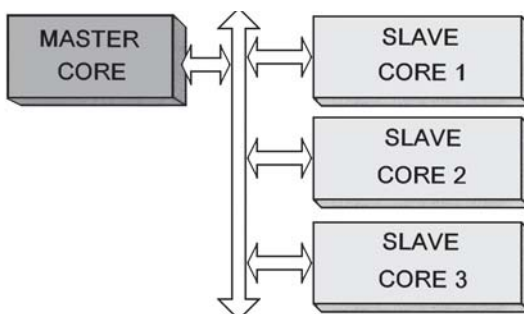
Конкретные задачи, выполняемые микропроцессора определяются его программным обеспечением.

Различные типы микропроцессоров отличаются типом и размером памяти, набором команд, скоростью обработки данных, количеством входных и выходных линий, разрядностью данных. В общем виде структурная схема микропроцессора может иметь следующий вид, рис. 44.

Центральный процессор (Central Processor Unit – CPU) является обязательным узлом любого микропроцессорного устройства, его ядром — core. Некоторые современные суперпроизводительные микропроцессоры содержат несколько таких ядер, работающих параллельно под управлением master core (рис. 45) и называются многоядерными процессорами («multicore processor»). В состав ядра обычно CPU входит: арифметико-логическое устройство ALU; регистр-аккумулятор (RAC); многоразрядный сдвигатель (Shifter), логические устройства управления и синхронизации (data address generators and program sequencer); внутренняя шина.



**Рис. 44.** Пример внутренней структуры серийно выпускаемого микропроцессора со встроенной памятью и некоторыми вспомогательными элементами



**Рис. 45.** Структура многоядерного процессора Master core – управляющее (ведущее) ядро; Slave core – (исполнительное) ведомое ядро



**Рис. 46.** Использование сдвигателя для умножения на 2. 10111 – двоичное изображение числа 23; 101110 – двоичное изображение числа 46

Арифметико-логическое устройство выполняет арифметические или логические операции над данными, представленными в двоичном или двоично-десятичном коде. Результат выполнения операции сохраняется в так называемом регистре-аккумуляторе.

Регистр-аккумулятор представляет собой ячейки оперативной памяти, но, в отличие от основной памяти, обмен информацией производится более короткими командами, т.е. регистр-аккумулятор является наиболее быстродействующим устройством памяти микропроцессора.

*Многоразрядный сдвигатель (Shifter)* с набором мультиплексоров используется при отработке логических команд сдвига и при выполнении операций умножения и деления. В бинарном вычислительном устройстве левый сдвиг двоичного числа на одну позицию дает тот же эффект, что и умножение на 2, рис. 46, а правый сдвиг — деление на 2 (нуль сдвигается в новую позицию). Поскольку операция сдвига происходит намного быстрее, чем умножение и деление, она широко используется в качестве инструмента программной оптимизации.

*Устройство управления и синхронизации* координирующее взаимодействие различных частей микропроцессора.

В состав устройства управления и синхронизации входит тактовый генератор и формирователь тактовых импульсов, а также Program Sequencer. Для генерации импульсов синхронизации используется кварцевый генератор, имеющий внешний кварцевый резонатор. Частота тактового генератора определяет быстродействие микропроцессора.

*Program Sequencer (or Controller-Sequencer)* обеспечивает временный останов выполнения одной программы в целях оперативного выполнения другой, в данный момент более важной. Program Sequencer обслуживает процедуры прерывания, принимает запрос на прерывание от внешних устройств, определяет уровень приоритета этого запроса и выдает сигнал прерывания в микропроцессор.

*Микропроцессорная память* предназначена для кратковременного хранения, записи и выдачи информации, используемой в вычислениях непосредственно в ближайшие такты работы машины. Микропроцессорная память строится на регистрах и используется для обеспечения высокого быстродействия МУРЗ, так как основная память не всегда обеспечивает скорость записи, поиска и считывания информации, необходимую для эффективной работы быстродействующего микропроцессора.

*Интерфейсная система* микропроцессора, предназначенная для связи с другими устройствами МУРЗ. *Включает в себя:*

- внутренний интерфейс микропроцессора;
- буферные запоминающие регистры;
- схемы управления портами ввода-вывода и системной шиной (порт ввода-вывода — это аппаратура сопряжения, позволяющая подключить к микропроцессору, другое устройство).

К микропроцессору и системной шине наряду с типовыми внешними устройствами могут быть подключены и дополнительные платы с интегральными микросхемами, расширяющие и улучшающие функциональные возможности микропроцессора. К ним относятся математический сопроцессор, сопроцессор ввода-вывода, контроллер прерываний и др.

*Математический сопроцессор* используется для ускорения выполнения операций над

двоичными числами с плавающей запятой, над двоично-кодированными десятичными числами, для вычисления тригонометрических функций. Математический сопроцессор имеет свою систему команд и работает параллельно с основным микропроцессором, но под управлением последнего. В результате происходит ускорение выполнения операций в десятки раз. Современные модели микропроцессора обычно включают математический сопроцессор в свою структуру.

*Сопроцессор ввода-вывода* за счет параллельной работы с микропроцессором значительно ускоряет выполнение процедур ввода-вывода при обслуживании нескольких внешних устройств, освобождает микропроцессор от обработки процедур ввода-вывода, в том числе реализует режим прямого доступа к памяти.

*Системные Шины* обеспечивают связь между различными элементами микропроцессора. Шина — это группа проводников, используемых в качестве линии связи для передачи цифровой информации. В микропроцессоре имеется три основных вида шин: это шина данных, адресная шина и шина управления. Шина данных обеспечивает передачу данных между узлами процессора. Адресная шина используется для передачи адреса ячейки памяти с целью получить данные из постоянного запоминающего устройства или оперативного запоминающего устройства. Шина управления используется для передачи управляющих сигналов от микропроцессора к другим элементам системы.

*Важнейшими характеристиками микропроцессора являются:*

*Тактовая частота.* Характеризует быстродействие процессора. Его режим работы задается специальной микросхемой, называемой генератором тактовых импульсов. На выполнение процессором каждой операции отводится определенное количество тактов. Тактовая частота указывает, сколько элементарных операций выполняет микропроцессор за одну секунду. Первый микропроцессор 4004 типа работал на частоте 108 кГц, микропроцессор 486 серии — уже на частоте 33 МГц, а Pentium-IV — на 1,5 ГГц. В микропроцессорах, обозначение которых содержит символы DX2 или DX4, используется внутреннее удвоение (x2) или учетверение (x4) тактовой частоты.

*Разрядность процессора* — это максимальное количество разрядов двоичного числа (битов), которое одновременно может обрабатывать процессор. То есть, если процессор за один раз может обработать 8 бит информации, то процессор 8-разрядный, если — 32 бита, то процессор 32-разрядный и т.д. Чем больше разрядность процессора, тем больше информации он может обрабатывать в единицу времени и тем больше, при прочих равных условиях, производительность устройства.

Например, микропроцессор 486 серии, который часто применяется в МУРЗ, является 32-битным (32 разрядным). В более простых технологических контроллерах широко применяются и более дешевые 8 и 16 разрядные процессоры. Как уже отмечалось, центральный процессор соединяется с остальными устройствами с помощью системной шины. Поскольку каждая из этих шин имеет свою разрядность, которая может не совпадать с разрядностью центрального процессора, то иногда разрядность центрального процессора обозначают двумя цифрами. Например, обозначение разрядности «32/64» означает, что процессор имеет 32-разрядную шину данных и 64-разрядную шину адреса. В МУРЗ не используются процессоры выше 32 разрядов. Сегодня 64-разрядные процессоры используются, прежде всего, в серверах, ориентированных на корпоративные сети, в которых работают приложения, требующие значительных вычислительных ресурсов и исключительной надежности систем, в банковской, производственной, инженерной и научно-исследовательской деятельности.

*Порт* — специальное устройство, через которое обеспечивается связь микропроцессора с внешними и периферийными устройствами. Для управления процессом передачи приема данных служат communication controllers, расположенных на главной плате. При этом возникает проблема предотвращения несанкционированного или неквалифицированного доступа к внутренней логике и настройкам МУРЗ.

В эпоху электромеханических реле, все соединения выполнялись жестким монтажным проводом, стянутым в жгуты, после ввода в эксплуатацию реле закрывались защитными крышками и пломбировались. Это гарантировало защиту от несанкционированного или неквалифицированного доступа к реле.

В МУРЗ внутренняя логика работы, выполняемые функции и настройки могут быть легко изменены с помощью внешнего компьютера и даже с помощью удаленного доступа local area networks (Ethernet). Последствия такого вмешательства непредсказуемы и опасны, поэтому некоторые производители МУРЗ предпринимают меры для предотвращения возможности такого вмешательства. Одной из таких мер является использование так называемой «жесткой логики» — алгоритма работы МУРЗ заранее полностью согласованного с заказчиком и не подлежащем изменению в процессе эксплуатации защиты. Такой принцип положен в основу МУРЗ типов SPAC-800, SPAC-810, производимых в России по лицензии компании АВВ.

«Полужесткая логика» (то есть алгоритм, допускающий ввод-вывод отдельных функций и уставок защит без доступа к изменению базовой логики) — это наиболее оправданный принцип, использующийся во многих типах МУРЗ.

Однако, в последнее время все большее распространение получают МУРЗ с так называемой «свободно программируемой логикой», которая, по мнению производителей, обеспечивает наибольшую гибкость и универсальность релейной защиты и предоставляет потребителю самые широкие возможности по адаптации МУРЗ под его конкретные специфические потребности и особенности. К таким типам МУРЗ можно отнести новейшие устройства серий SIPROTEC компании Siemens, устройства SEPAM-80 производства Schneider Electric и многие другие. Процесс программирования этих устройств формализован и заключается в работе со специальными таблицами, матрицами, логическими элементами, логическими уравнениями и укрупненными блоками логики (часто весьма несовершенными и требующими глубокого анализа для правильного выбора). Естественно, что в МУРЗ такого типа широко применяются многочисленные пароли для разных уровней доступа. Например, в МУРЗ типа SIPROTEC предусмотрено более десятка уровней доступа, при этом ни одним из них не удается полностью отделить доступ к логике от доступа к вводу параметров настройки реле. Поэтому в процессе наладки МУРЗ на месте эксплуатации приходится открывать полный доступ к его программированию, что лишает смысла деление допуска с паролями по уровням. Более того, в эксплуатации можно без затруднений уничтожить всю заложенную проектировщиками логику защиты вместе с настройками и загрузить любую другую. «Стирание» паролей и всей другой информации происходит при перепрошивке RAM посредством программы «Firmware-Update», при этом можно заново установить в МУРЗ любую логику.

Совершенно очевидно, что обратной стороной такой гибкости и универсальности является резко возросшая опасность несанкционированного или неквалифицированного доступа к реле. В этой связи имеют место попытки возврата к ограничению доступа к внутренней логике МУРЗ более надежными методами, применяющимися ранее в электромеханических реле. Так, например, в МУРЗ типа RCS-9671 (Transformer Differential Protection) китайской компании Nari-Relays для активации той или иной функции необходимо соединить монтажным проводом две точки на наружных выводных терминалах МУРЗ (то есть, установить соответствующую перемычку), обеспечивающей подачу плюсового потенциала (с отдельного, специально предназначенного для этого маломощного внутреннего источника питания напряжением 24 В) на вход, соответствующий активации данной функции. Очень удачное, по нашему мнению, решение проблемы.

*Продолжение в следующем номере*

**В. ГУРЕВИЧ**, канд. техн. наук