

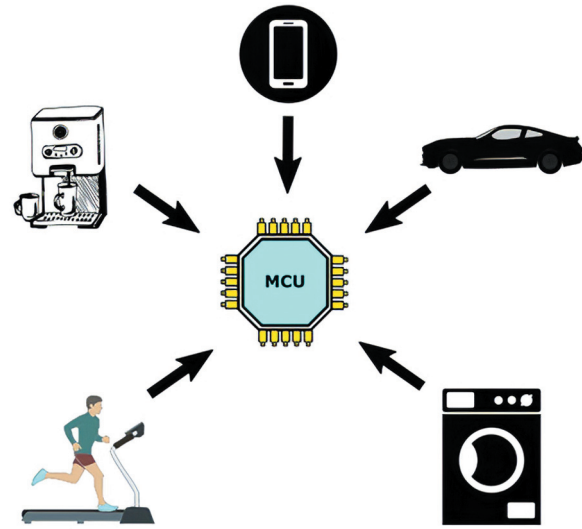
СТАНИСЛАВ ГОЛИК,

к. т. н., доцент каф. систем автоматического управления СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

АЛЕКСАНДР МИКЕРОВ,

д. т. н., проф. каф. систем автоматического управления СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Микропроцессоры стали логическим завершением развития технологии интегральных схем, позволившей реализовать основные функции цифрового компьютера на одном чипе. Статья посвящена 50-летию создания первых микропроцессоров.



ПЕРВЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРЫ

Всякая формализованная задача автоматического управления решается путем применения ряда операций (сложения, умножения, интегрирования, логики и т. д.), которые могут выполняться либо специализированным устройством (схемой), либо универсальным (программируемым) вычислителем. Совершенствование полупроводниковых интегральных схем, о которых рассказывалось в предыдущей статье [1], сделало возможной техническую реализацию всей задачи на одном чипе в виде большой интегральной схемы (БИС) специализированного устройства или микрокомпьютера как универсального вычислителя, называемого микроконтроллером (рис. 1) [2].

Наиболее существенной частью (сердцем) микроконтроллера является центральное процессорное устройство (микропроцессор) МП, выполняющее арифметические, логические операции и операции

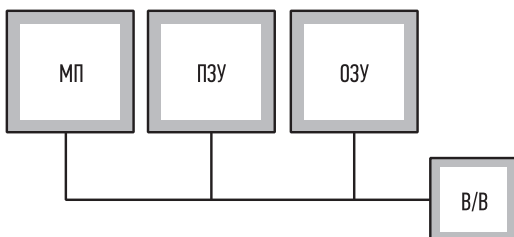
управления процессом вычислений в соответствии с записанной в нем программой [2, 3]. Кроме того, как и обычный компьютер, микроконтроллер содержит блоки постоянного (ПЗУ) и оперативного (ОЗУ) запоминающих устройств и блок ввода-вывода В/В, соединенные цифровой шиной.

Микропроцессор на одном чипе появился в 1970-х гг. как итог процесса интеграции цифрового процессорного устройства (ЦПУ) компьютера, начавшегося с десятка микросхем (чипов). Примером его реализации является ЦПУ МР944 бортового компьютера американского истребителя F14, разработанное компанией Garrett AiResearch в 1970 г. [2–5]. Этот компьютер заменил электромеханический вычислитель предыдущего поколения истребителя «Фантом» на кулачках и шестернях, решавший задачи управления полетом путем изменения геометрии крыла. Схему нового вычислителя разработал молодой специалист с бакалаврским дипломом Калифорнийского политехнического университета (Помона) Рэй Холт (Ray Holt). Контроллер компьютера содержал блоки памяти на чипах ОЗУ и ПЗУ, а его ЦПУ включало арифметико-логическое устройство (АЛУ), выполненное на шести чипах четырех видов: умножитель,

делитель, арифметические и логические функции и функция управления. Было трудно найти компанию, способную изготовить столь сложные узкоспециализированные чипы, — за исключением стартапа American Microsystems, однако и они отказались подписывать контракт, узнав, что весь объем выпуска не превышает 1000 шт. Тогда президент компании Garrett AiResearch просто купил этот стартап на бирже, а после выполнения заказа продал его, оперативно решив таким образом острый вопрос. F14 был принят на вооружение в 1974 г., но технические решения по бортовому компьютеру не были запатентованы и оставались строго засекреченными до 1998 г.

Это дало возможность американскому инженеру и основателю компании Microcomputer Гилберту Хайату (Gilbert Hyatt), имевшему диплом магистра компьютерных наук, оформить в 1970 г. и получить через 20 лет в 1990 г. патент, описывающий систему управления трехкоординатным фрезерным станком Ст с микроконтроллером на одном чипе, показанную на рис. 2 [2, 3, 6, 7]. Она содержит электроприводы ЭПх, ЭПу, ЭПз (по трем координатам соответственно), управляемые чипом микроконтроллера МК, с дополнительным блоком внешнего ПЗУ, пультом управления ПУ

РИС. 1. ▼
Микроконтроллер



и блоком задания БЗ (например, на перфоленте).

Патентные материалы включают подробное описание структуры микропроцессора, входящего в состав микроконтроллера, и его программу, однако при тогдашнем уровне технологии практическая реализация процессора на одном чипе была невозможной.

В 1967 г. инженер компании Fairchild Ли Бойсель (Lee Boysel), выпускник Мичиганского университета, разработал технологию изготовления БИС на MOS-транзисторах, которую он унес с собой, образовав в Кремниевой долине в 1968 г. собственную преуспевающую компанию Four-Phase Systems [2–4, 6, 8, 9]. С помощью этой технологии ему удалось создать одно из первых АЛУ на чипе типа AL1, которое широко применялось и принесло миллионные прибыли, однако его автору посчастливилось избежать судебных исков только благодаря широкой реорганизации, проходившей в это время в компании Fairchild. Бойсель называл свой чип первым микропроцессором, и позднее он даже создал демонстрационный макет (рис. 3) микроконтроллера, который действует как текстовый процессор, содержащий чип AL1 (МП) (1), ПЗУ (2), ОЗУ (3) и устройство ввода-вывода (4), и подключен к компьютерному терминалу [10].

Однако на практике для создания полноценного микроконтроллера требовалось использовать не менее трех чипов AL1. Поэтому сам чип Бойселя не может претендовать на роль первого микропроцессора: он не содержит устройства управления процессом вычисления, роль которого в макете Бойселя исполнял чип ПЗУ (2).

Наиболее известным стал микропроцессор 4004, созданный совместными усилиями Intel и японской компании Busicom в 1971 г. (рис. 4) [2–4, 6, 7, 11].

Инициатором проекта был вице-президент японской компании Sharp Тадаши Сасаки (Tadashi Sasaki), имевший докторскую степень Киотского университета и руководивший работами по замене электромеханических калькуляторов и кассовых аппаратов на электронные. Он одним из первых пришел к мысли о целесообразности применения в калькуляторах комплекта БИС, в пределе сводимого

к одному чипу. Однако американская компания Rockwell, имевшая исключительные права на поставки в Sharp всей полупроводниковой комплектации, не только не одобрила эту идею, но и запретила обращаться к конкурентам. Тогда Сасаки пошел на хитрость, финансово поддерживая новую японскую компанию Busicom с условием ее сотрудничества с Intel, руководителя которой Нойса он знал лично [1].

В июне 1969 г. инженер Масатоши Шима (Masatoshi Shima) прибыл в Америку с заказом на 12 специализированных чипов вычислителя калькулятора. У Шима было химическое образование, однако он самостоятельно освоил электронику и программирование. В Intel работа была поручена Теду Хоффу (Ted Hoff), имевшему докторскую степень электротехники Стэнфордского университета. Изучив техническое задание, он нашел его трудновыполнимым, а цену будущего продукта неприемлемо высокой. Вместо этого он предложил решать задачу универсальным вычислителем (комплект 4000) в виде микроконтроллера, сделанного по структуре мини-компьютера PDP-8, с которым был хорошо знаком (рис. 5).

Аналогично изображенному на рис. 1 вычислитель содержал четыре чипа: микропроцессор МП (чип 4004), блок памяти ПЗУ (чип 4001), блок ОЗУ (чип 4002) и блок ввода-вывода (чип 4003), соединенные цифровой шиной. Проект привлекал Intel еще и тем, что включал чипы памяти, которые тогда были основным бизнесом компании.

Контракт был подписан, и Шима улетел в Японию переделывать проект калькулятора, а когда вернулся в Intel через три месяца, то обнаружил, что работа несколько не продвинулась из-за того, что ни Хофф, ни другие специалисты Intel не умели проектировать подобные чипы. Дело сдвинулось с мертвой точки лишь после переманивания из Fairchild итальянского инженера Федерико Фаджина (Federico Faggin), имевшего степень доктора физики университета Падуи, который разработал в Fairchild оригинальную MOS-технологию изготовления чипов. Благодаря героическим усилиям самого Фаджина, перешедшего на 80-часовую рабочую неделю, и помощи Шима первые образцы

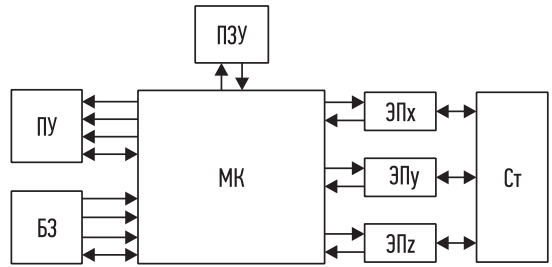


Рис. 2. ▲ Управление станком Хайата

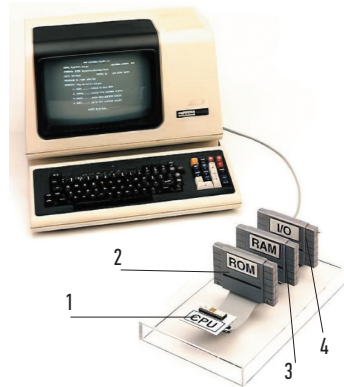


Рис. 3. ◀ Макет Бойселя

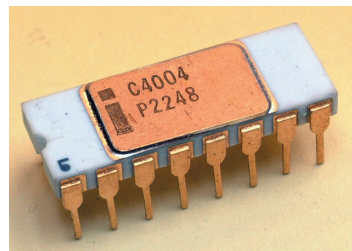


Рис. 4. ◀ Микропроцессор 4004

комплекта 4000 были испытаны уже в начале 1971 г. Программное обеспечение разработал Стэнли Мазор (Stanley Mazor), выпускник университета Сан-Франциско. Сразу же начались поставки, что позволило Busicom выпустить 100 тыс. калькуляторов.

Intel предусмотрительно выкупил у Busicom права на производство и продажу отдельного микропроцессора 4004, который быстро нашел

Рис. 5. ▼ Комплект 4000

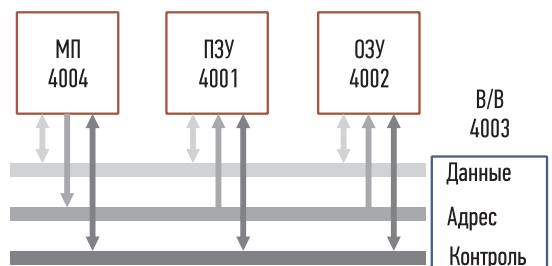
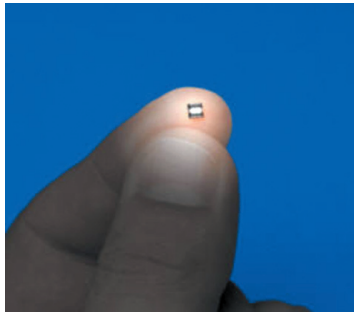


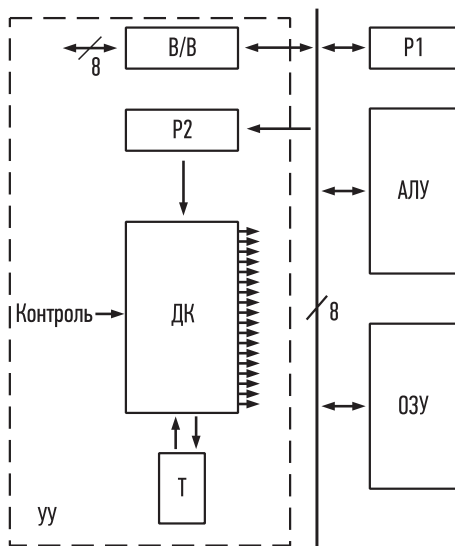
РИС. 6. ►
Кристалл
микропроцессора



применение в простых устройствах и системах автоматизации. Это был четырехразрядный микропроцессор, содержащий 2300 транзисторов и имевший вычислительную мощность первого знаменитого электронного компьютера ENIAC на 17 тыс. ламп, построенного в США в 1945 г. и весившего 30 т. При этом сам полупроводниковый кристалл, размещенный внутри корпуса 4004 (рис. 4), был совсем крошечный, подобный показанному на рис. 6 [4].

Параллельно другой микропроцессор был разработан практически в том же 1971 г. компанией Texas Instruments для компании Computer Terminal, которая задумала в 1969 г. создать универсальный компьютерный терминал — по факту простейший настольный компьютер Datapoint 2200, аналогичный показанному на рис. 3 [8, 9]. Предполагалось использовать в нем чип восьмиразрядного микропроцессора, который и был

РИС. 7. ▼
ТМХ1795



заказан независимо компаниями Intel и Texas Instruments. В Intel был создан чип 8008, а в Texas Instruments — чип ТМХ1795, которые в конце концов оба были отвергнуты заказчиком, заменившим их набором транзисторной логики, обладавшей по тем временам большим быстродействием.

Однако коммерческие права на разработанные чипы компания легкомысленно уступила, что и позволило Intel впоследствии создать знаменитые микропроцессоры 8080 и 8086, ставшие ядром всех будущих персональных компьютеров IBM. Чип ТМХ1795 же отдельно не поставлялся, а входил в состав популярных калькуляторов с микроконтроллером на чипе компании Texas Instruments [9].

Микропроцессор ТМХ1795 (рис. 7), описанный в патенте США [12], входит в состав вычислительной системы, а по сути — микроконтроллера, созданного по схеме рис. 1. Микропроцессор содержит АЛУ, рассчитанное на восемь операций, встроенное ОЗУ на 64 кбайта, устройство управления УУ и регистр временного хранения P1, подключенные к общей 8-разрядной цифровой шине. Устройство управления выполнено в виде декодера ДК, который формирует 18 команд управления как самим микропроцессором, так и внешними ПЗУ, ОЗУ и устройством ввода/вывода микроконтроллера. Декодер принимает внешние сигналы контроля и управляется встроенными тай-

мерами T и инструкциями, хранящимися в регистре инструкций P2, а также содержит внутреннее 8-разрядное устройство ввода/вывода В/В.

Микропроцессор был создан в 1971 г. инженером компании Texas Instruments Гарри Буном (Gary Boon), имевшим степень магистра по автоматическому управлению университета штата Айова.

Отдельного внимания заслуживает патентная история микропроцессора на чипе [2, 4, 6–9, 11, 12]. Технические решения бортового вычислителя Холта не были запатентованы из-за секретности. Бойсель не патентовал чип AL1, поскольку построил весь свой бизнес на компьютерах, а не на интегральных схемах. Хофф и Фаджин пытались запатентовать 4004, но не встретили понимания патентного поверенного, который посчитал, что архитектура микропроцессора заимствована из обычного компьютера, пускай даже маленького, и потому не имеет новизны. В результате Intel довольствовался двумя второстепенными патентами на организацию системы памяти. Это не помешало компании Texas Instruments получить в 1973 г. основополагающий патент Буна на микропроцессор на чипе (рис. 7) с приоритетом от 1971 г. [12]. Более того, Буну и его коллеге Майку Кохрану (Mike Cochran) удалось создать в 1971 г. и запатентовать в 1978 г. (также с приоритетом от 1971 г.) калькулятор на чипе

- Микропроцессоры были созданы в начале 1970-х гг. несколькими американскими компаниями.
- Среди первых можно назвать чипы БИС, которые входили в состав специализированных микрокомпьютеров, разработанных Холтом в компании Garrett AiResearch и Бойселем в компании Four-Phase Systems.
- Первым универсальным микропроцессором стал чип 4004 компании Intel, спроектированный по заданию компании Busicom.
- Практически одновременно Бун создал микропроцессор ТМХ1795, входивший в состав калькулятора компании Texas Instruments.
- Патентные права на микропроцессор были в центре многих судебных разбирательств, улаженных заключением лицензионных соглашений.

TMS1802NC, имеющий структуру микроконтроллера (рис. 1) [9]. Этот патент был дополнен рядом других патентов компании на подобные калькуляторы, которые выпускались массовым тиражом.

Все это поставило компанию Texas Instruments, имевшую 5000 патентов, в положение монополиста, что привело к возбуждению с конца 1980-х гг. ряда судебных процессов «ТИ против всех», на которых компания требовала роялти со всех производителей микропроцессорной техники, в том числе с Intel [8, 9]. Однако в 1990 г. был опубликован патент Хайата на микроконтроллер на чипе (рис. 2), заявка на который была подана ранее заявкой Буна из Texas Instruments, что позволило Хайату получить \$70 млн в виде роялти. Правда, в 1996 г. суд, начатый Texas Instruments, претензии Хайата отверг, основываясь на утверждении экспертов о том, что его чип не мог быть создан при тогдашнем уровне технологии и практически не был реализован [3, 6, 7].

Масла в огонь подлил и Бойсель, продемонстрировавший в 1995 г. в зале судебных заседаний по делу

Texas Instruments свой действующий макет (рис. 3) на чипе AL1, который, по его мнению, и являлся первым микроконтроллером на чипе, содержащим микропроцессор [3, 4, 8, 9]. Эксперты со стороны Texas Instruments с трудом доказали, что АЛУ Бойселя не обеспечивает управления процессом вычисления по загружаемой программе и потому не является полноценным микропроцессором. Тем не менее все это ставило под сомнение приоритетные права Texas Instruments, в результате чего компания пошла на заключение перекрестных лицензионных соглашений по микропроцессорам с крупнейшими американскими производителями электроники [4, 9].

Микропроцессор на одном чипе — изумительная вершина развития электроники. «История электроники составляет лишь малую часть человеческого опыта. За столетие мы перешли от устройств с одной лампой к устройствам с сотнями миллиардов транзисторов. Будущее для нас непостижимо, но, конечно, поразительное станет обычным делом» [4]. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Микеров А. Г. Развитие полупроводниковых элементов управления // Control Engineering Россия. 2021. № 3 (93).
2. <https://en.wikipedia.org/wiki/Microprocessor>.
3. Shirriff K. The surprising story of the first microprocessors // IEEE Spectrum. 2016. Aug. 30.
4. The Microprocessor at 40. www.ganssle.com/item/history-of-the-microprocessor.html
5. Ray Holt and the Origins of the Microchip Computer. <https://theaccidentalengineer.com/ray-holt-and-the-origins-of-the-semiconductor/>
6. Who Invented the Microprocessor? <https://computerhistory.org/blog/who-invented-the-microprocessor/>
7. Aspray W. The Intel 4004 Microprocessor: What Constituted Invention? // IEEE Annals of the History of Computing. 1997. Vol. 19, № 3.
8. Boysel L. Court room Demonstration System 1969 AL1 microprocessor. <https://archive.computerhistory.org/resources/access/text/2016/05/102720326-05-01-acc.pdf>
9. The Texas Instruments TMX 1795: the (almost) first, forgotten microprocessor. <http://www.righto.com/2015/05/the-texas-instruments-tmx-1795-first.html>
10. EECS Presentation. <https://archive.computerhistory.org/resources/access/text/2017/03/102770847-05-01-acc.pdf>
11. The Birth of the Microprocessor. <https://www.pcmag.com/news/the-birth-of-the-microprocessor>
12. Boone G. W. Computing systems CPU. Patent US3757306. 1971.