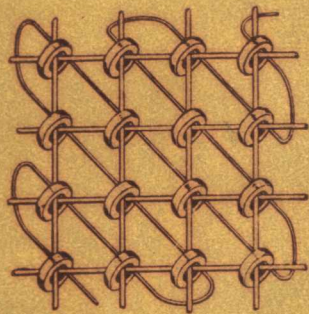


电子数字计算机

(元件与电路)

苏联 Ф. В. 馬依奧罗夫著

周玉珂等译



人民邮电出版社

苏联
业余无线电
丛书

Ф. В. МАЙОРОВ
ЭЛЕКТРОННЫЕ
ЦИФРОВЫЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ
УСТРОЙСТВА
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
1957

內 容 提 要

本書介紹电子数字计算机的工作原理和它的各部分元件。其中主要是介紹用电子管、晶体二極管和三極管，以及用鉄鎂氧磁心制成的各种电子数字计算机的元件。

本書供已經了解电子学基本原理的讀者閱讀。也可供高等学校有关專業的师生和从事计算机方面工作的工程技術人員參考。

电子数字计算机

著 者：苏联 Ф В 馬 依 奧 羅 夫

譯 者：周 玉 珂等

出版者：人 民 郵 電 出 版 社

北京东四條13号

(北京市書刊出版登記證出字第〇四八号)

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

發行者：新 華 書 店

开本787×1092 1/32

1959年10月北京第一版

印張4 16/32 頁數72

1959年10月北京第一次印刷

印刷字數104,000字

印數1—4,000册

統一書号：15045·总1096-无297

定 价：(10) 0.59 元

目 录

第一章 电子数字计算机	1
1. 电子数字计算机的类型	1
2. 数的编码	10
3. 电子数字计算机的方框图	18
4. 程序设计原理	20
第二章 电子管及半导体二极管计算机元件	24
5. 计算机元件的种类及其功用	24
6. 电子开关	26
7. 触发单元	32
8. 动态触发器	35
9. 二极管放大器	40
10. 电子计数器	45
11. 移位寄存器	54
12. 电子开关与换接器	58
13. 串行加法器	65
14. 并行加法器	68
第三章 半导体三极管元件	74
15. 开关电路和触发电路	74
16. 脉冲反相器和脉冲跟随器	81
17. 半导体三极管和半导体二极管的逻辑电路	83
18. 表面阻挡层三极管的开关电路	86
19. 表面阻挡层三极管的逻辑电路	89
20. 移位寄存器	92
21. 加法器	96
第四章 磁心(铁淦氧)计算机的元件	102
22. 计算机中的磁心元件	102

23. 半导体三极管和磁心組成的计算机的元件	107
24. 移位寄存器	109
25. 磁心和面結合型三极管組成的动态触发器	112
26. 磁心和面結合型三极管組成的二进位計数器	114
27. 串行加法器	115
第五章 存儲器	118
28. 基本特性	118
29. 穿孔帶、穿孔卡片和磁鼓	119
30. 超声波延迟綫	124
31. 电子射线管存儲器	132
32. 鉄淦氧磁心存儲器	134

第一章 电子数字计算机

1. 电子数字计算机的类型

快速电子计算机的問世是本世紀——原子能与电子自动裝置的世紀——卓越成就之一。利用算盤、計算尺和手搖計算机来加快計算已經为时很久了。如果需要計算的数字不大，这些簡單的工具是很好的。

随着科学技术的發展与工業生产范围的扩大，有必要完成大量的計算操作，它需要人們付出成百上千小时的劳动。因此，研制了能以空前未有的高速和准确程度来解复杂数学問題的电子計算机。1945年制成了第一架电子計算机。

用計算机解任何数学問題都必需預先編好机器將要順序进行的算术运算的詳細程序。为了使程序設計不花很多時間，要采用專用計算机来解某一类問題。專用机的結構簡單，所用的电子管数量少，而且机器工作的可靠性高。

通用計算机主要用于解需要大量計算、高度准确的問題。它的結構很复杂，有几千个电子管、几万甚至几十万个各式各样的無綫电零件。机器的設備要佔用一个大机房。

例如有一架通用計算机，它有4000多个电子管及12,000多个半导体二極管。它由十一个部件組成，总重达12吨。此外，机器工作时所需的冷却設備达80吨。放置机件的机櫃有兩公尺高。机器佔用的机房面积为100平方公尺，消耗功率达60千瓦。在这架机器上进行釋放原子能时的輻射作用的計算，飞机与導彈的空气动力特性的計算，結構零件的强度与振动的分析，以及地球物理等方面的計算。它用十位十进数操作，每秒

进行 16666 次加法或减法运算，或是 2192 次乘法运算。一个计算员用普通的手摇计算机来计算，如果每天不超过 1000 次算术运算的话，那么这架电子计算机能代替不少于 300 000 人的劳动。

苏联制造了几种通用数字计算机。例如苏联科学院的快速电子计算机 БЭСМ(圖 1)，它用于求解各种科学技术领域中需要大量计算的问题。它有 5000 个左右的电子管，并佔用一个大机房。БЭСМ 电子计算机平均每秒进行 7000—8000 次加法。计算的结果记在磁带上，然后印在胶片上，印刷的速度是每秒 200 个数。

苏联科学院动力研究所研制的通用电子计算机 М-2(圖 2)

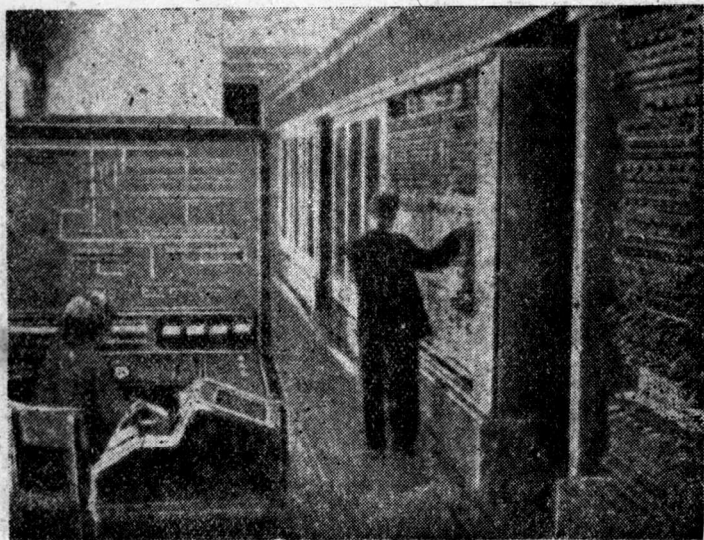


圖 1 电子计算机 БЭСМ

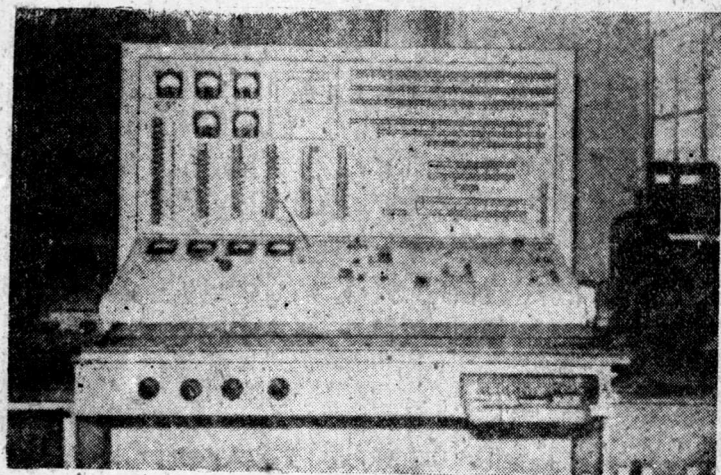


圖 2 电子计算机 M-2

要小得多。它有 1670 个电子管，所佔房間的面积为 22 平方公尺。操作速度約为每秒 3000 次加法。机器消耗的功率为 29 千伏安。

表 1 列出現代通用电子计算机的主要数据。

按照解数学問題的原則来分，数字计算机可分为兩类：算术机和积分机。算术机內，数是以二进記数制代碼的形式表示，把解数学問題归之为四則运算——加法、減法、乘法、除法。这一类数字计算机是按預先給定的程序工作的电子计算机中的一种。

积分机用脉冲操作，每个脉冲是給定量的一定增量。这些脉冲在电子計数器中累加之后形成数碼，此数碼是給定物理量的总值(积分)。因此，与数字算术机不同，这一类机器的全部計算化为积分运算，它可以由数的加法或減法来表示。这一类

計算机（具有連續作用的特点）首先用于解微分方程。在文献中常称它为数字微分分析机。

某些小型的和专用的电子数字计算机的主要特性在表 2 中列出。

解微分方程的专用数字计算机总共只有約 400 个电子管和几百个鍺二極管。它的大小与普通的写字台差不多，重量也不过是 160 公斤，而消耗的功率大約只有 3 千伏安。机器用六位十进数操作，計算速度很高（每秒約为 5000 次加法或減法）。它用于解描述飞行軌跡的空气动力学微分方程式，以及解积分方程、代数方程等。

除了上述的计算机外，还有一种称为自动机，它按照人們給定的程序作邏輯操作，如选择“是”与“非”；数的比較；选择所需的数值；确定数的符号等。

存儲器容量大的数字计算机，可以用来进行將一种語言譯成另一种語言的自动翻譯，存儲、选择和整理参考資料，选择文献資料等。

为了进行自动翻譯，例如將英文譯为俄文，机器的存儲器內存有以編碼形式表示的、已翻成俄文的英文詞典以及將句子联結起来的許多單个詞組等。要翻譯比較簡單的文章，机器按照写成程序形式的一定規則在詞典內找所需的詞，并將它按照語法和句法規則加以整理。而后以确定的詞序構成句子并將它在紙上印出。

最近一个时期，电子计算机用于自动控制及調整各种生产过程（这种计算机就是所謂“控制机”）。在机器中送入標誌生产过程的所有原始数据；測量儀器的指示值；机床的工作状态和所需要的程序；有关需要裝配的零件的情况等。控制机不仅按給定的程序进行計算，而且还作生产过程进一步操作所必需

的邏輯結論，并据此發出指令調整与生产过程有关的物理量。

为蒸气透平輪叶复杂表面进行加工的銑床自动化，可以作为用計算机控制生产过程的一个例子。計算机按給定的公式和原始量計算輪叶断面上若干点的坐标，机床依据这些坐标而無須整套圖或样板，就能以高速和高精确度自动地复制所需的工件断面。

电子数字計算机可以迅速地由解某一問題轉为解另一問題，或同时解几个問題。例如裝在飞机上的电子数字計算机，当飞机起飞时可用來駕駛飞机，然后轉換为解旁的問題，以后再用来导航。飞行仪表的指示值（高度、速度、航程、方位角等）每隔一定時間，比方說 0.1 微秒，自动送入計算机一次，在这段時間內它送出計算結果。計算机有 800 个超小型电子管，体积比普通的电视机稍微大一点。

不久以前，美国用半导体元件造了一架飞机数字积分机。它有 1000 个結式半导体三極管，3500 个半导体二極管，机器总重只有 56.7 公斤，体积仅为 0.085 立方公尺，比具有同样技术性能的用电子管造的計算机輕了四分之三，体积减少了七分之六。該机可解复杂問題，为此，机器中有 93 个数字积分器。机器的存儲器用的是磁盤，容量为 20000 个二进碼。在磁盤上讀写用的放大器也是用結式半导体三極管作成。

通用計算机也开始广泛采用半导体三極管。一架商用計算机有 2165 个結式三極管和 3600 个鍺二極管，一个电子管都沒有。这台机器只消耗功率 310 瓦，比电子管構成的类似的計算机消耗的功率少 95%，体积只为一半而且还能更小。半导体元件構成的計算机比电子管構成的計算机工作既可靠又耐用。

上面例子証明，电子計算机是科学技术發展的强有力的工

通用计算机基本数据

机器名称	机器类型	二进制数目	存 储 器		存 储 量 (代码地址数)
			名 称	存取时间	
БЭСМ (苏联)	并行	32	电子射线管(专用的) —ЭТ, 磁鼓—МБ, 磁带—МЛ.	12微秒	ЭТ-1023 МБ-5120 МЛ-4 × 30000
М-2 (苏联)	并行	32	电子射线管(普通的) —ЭТ, 磁鼓—МБ及 磁带。	—	ЭТ-512 МБ-5000
IBM-701 (美国)	并行	36	电子射线管—ЭТ, 磁 鼓及磁带。	12微秒	ЭТ-2048
NORC (美国)	并行	16位 十进数	电子射线管—ЭТ, 磁 带—МЛ.	8 微秒	ЭТ-2000 МЛ-4, 200, 000
BECK (瑞典)	并行	40	电子射线管—ЭТ, 磁 鼓—МБ, 磁心(用于 新样机内)。	—	ЭТ-512 МБ-8192
UNIVAC (美国)	串行	12位 十进数	水银延迟线—ПЛ(频 率=2250 千赫), 新 样机中采用磁心—MC 和磁鼓—МБ。	—	ПЛ-1024 MC-4096 МБ-16384
DYSEAC (美国)	串行	45	水银延迟线(频率— 1000千赫), —ПЛ, 磁带—МЛ.	384微秒 (平均)	ПЛ-512 МЛ-4096 到120,000
CAB-2022 (法国)	串行	22	磁心—MC, 磁鼓— МБ。	—	MC-128 МБ-8192
“箭” (苏联)	并行	10个 十进数	电子射线管(专用的) —ЭТ, 磁带—МЛ.	—	ЭТ-1023 МЛ-100,000
IBM-705 (美国)	并行	36	磁心—MC, 磁鼓— МБ, 磁带—МЛ.	—	MC-8192 МЛ-4,000,000 МБ-8192到16384
“旋风 I” (美国)	并行单 地址	16	电子射线管—ЭТ, 磁 心—MC, 磁鼓—МБ, 磁带—МЛ.	—	ЭТ-2048 MC-2048

表 1

計 算 速 度 (每秒加法、乘法、 除法的次数)	元 件 数 量		附 註
	电子管	鍍二極管	
5500—13000 次加法, 3700 次乘法。	5000	—	所佔面积 100 公尺 ² , 消耗功率 75 千伏安。以后改用磁心存储器, 容量为 1023 个数。
3900 次加法	1670	—	所佔面积 22 公尺 ² , 消耗功率 29 千伏安。
17000 次加法	4000	12 800	成批生产, 由高 180 厘米的 11 个机櫃組成, 总重 14.5 吨, 消耗功率約 80 千伏安。
66000 次加法, 32000 次乘法。	9800	30 000	采用十进計数制, 消耗功率 168 千伏安 (無冷却)。
18000—20000 次加法	2000	300	消耗功率 15 千伏安。
1700 次加法	3500	—	成批生产, 也用作信息統計机。
1000 次加法	884	24 100	运送时放在两个貨車上。
4350 次加法 190 次乘法	800	8 000	采用有印刷电路的插件, 消耗功率 8 千瓦, 机器尺寸 6×0.9×2.1 米。
2000—3000 次加法	8000	60 000	
14000—83000 次加法 4500—5000 次乘法	—	—	
20490 次加法, 16400 次乘法, 10000 次除法。	6800 个 电子管, 1800 个 继电器。	22 090	所佔面积 306.5 平方米, 消耗功率 60 千伏安, 机器中脉冲跟隨 頻率为 1000—2000 兆赫, 此类机器用于防空处理系統。

小型通用与專用电子计算机的基本数据

机器名称	机器类型	位 数	存 储 器		
			名 称	存取时间	代 码 容 量
M-3 (苏联)	并行	—	磁 鼓	8000 轉/分	1024 个代码
MONROE ORT (美国)	串行	20位 十进数	磁 鼓	3600 轉/分	300
CRC (美国)	数字积分	6 位 十进数	磁 鼓	3600 轉/分	60 个积分器
DIGITAC (美国)	串行 (飞机的)	17位 二进数	磁 鼓—MB, 延迟綫—J13。	—	MB-1056 数 J13-6 个数碼
JECOMP (美国)	并行 (飞机的)	24位 二进数	磁心寄存器—PΦ, 穿孔卡片。	4 微秒	PΦ-128 代码
“烏拉尔” (苏联)	串—并行	10位 十进数	磁鼓—MB, 外存储器—BП,	—	MB-1023 代码, BП-50000个数。
IBM-650 (美国)	并行	10位 十进数	磁鼓—MB, 穿孔卡片。	MB-1300 轉/分	20 000
数字微分分 析机 (美国)	飞机用串 行数字积 分机	23位 二进数	磁盤	—	20 000 (93个积分器)
数字微分分 析机 D-12 (美国)	用于科技 計算的串 行数字积 分机	8 位 十进数	磁鼓—MB, 穿孔帶, 圖形记录。	MB-43 微秒	22000 个数

表 2

計 算 速 度	电子管数量	附 註
每秒30次操作	800	所佔面积 2 平方米
每秒 9 次加法	—	体积相当于写字台
每秒3600次积分	400	机櫃尺寸: $96 \times 180 \times 225$ 厘米, 消耗功率 3.3 千伏安。
每秒解两个题	434	重量 100 公斤, 体积 0.34 立方米, 消耗功率 1.3 千伏安。
—	800	尺寸 $56 \times 61 \times 71$ 厘米
每秒100次操作	800	消耗功率 2 千伏安
每秒200次加法, 每秒100次乘法。	—	为科学及商業計算而造
脉冲跟随频率 为 50 千赫。	1000个半导体 三极管, 3500个二极管。	消耗功率 100 瓦, 重量 56.7 公斤, 体积 0.085 立方米, 不用电子管, 只 用晶体管及印刷綫路。
脉冲跟随频率 为 1000 千赫	700电子管, 2200二极管。	消耗功率 7.5 千伏安, 成批制造, 1955 年的最新样机(J15D 型)与串行 算术机裝在一起。

具。可以断言，未来將借助计算机实现車間及企業的自动控制；編造计划；进行財務及預算的計算工作，編造报表等。

2. 数的編碼

数字计算机以一定順序的电脉冲所表示的数来操作，这些脉冲称为代碼。在电子计算机中采用的电子管及半导体二極管及三極管最便于用在只有两个工作状态——开和閉。第一种状态时电子管通导电流，第二种状态时不通导。因此，在这里电子管相当于电子开关。与电子开关的两个状态相对应，机器用来操作的数以所謂二进計数制編碼。

大家都習慣的十进計数制需用十个数（由0到9）。二进制不同于十进制的是：表示数只用两个符号——0及1。与十进制一样，二进位数亦分成許多位，按通常自左至右的写法第一位（最低位）是最右的数位，第二位是右起第二位等等。高一位的十进位数字是它后一位同样数字的十倍，而二进制中前后兩位数字只不过是兩倍的关系。十进制的数字2在二进制中已經是第二位的1，二进制中第三位是十进制的4，第四位是8，第五位是16，第六位是32等等。

二进制的数是以級数和的形式表示，其中各項是2的1 2 3…次方与1或0的乘积。例如数13可表示如下：

$$1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 13$$

与此相应的二进制数碼可写之如下：

位号	4321
数碼	1101

此处的位号有些2的乘方次数的意义：第一位对应于 2^0 ，第二位—— 2^1 ，第三位—— 2^2 等等。

送入机器中的代碼是：电脉冲对应代碼1，無脉冲对应代

碼 0。数 13 的脉冲順序如圖 3 所示。因此，任何数都可以用二进計数制的确定脉冲順序表示。

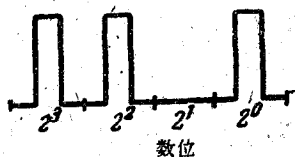


圖 3 数 13 的脉冲二进碼

机器中位数的选择与所需的計算精确度有关，例如十位时，可写为二进計数制的最大数目等

于 2^{10} 或 1024。如果用十个二进位，数 235 就写成下式：

$$0 \times 2^9 + 0 \times 2^8 + 1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 235.$$

因此数碼“+235”可写之如下：

0 0011101011

此处左边方框內的代碼表示数的符号碼（表示正数用 0，表示負数用 1）。

近代計算机中位数选为 16 到 40 甚至更多，此数对应 5 到 12 位或者更多位的十进数。

机器中进行运算的数的位数应当不超过預先設計的位数。因为算术操作时，例如乘法时，能得到大于机器所能計算的位数，故此时数的低位或者舍棄或者舍入。机器中数的整数部分与小数部分也像普通計算时一样，用小数点分开。

小数点的位置可以是固定不动的，我們称机器的操作是定点操作，若定点在最高位之前，則机器可以操作的最大数值等于 1。此时，輸入机器的数以及得到的計算結果不应当大于最大数——1。由于此点开始解题时难于确定，为了計算方便故有所謂浮点計算机。此类机器內，机器本身会将小数点放在需要的地方上。为此，数碼內有与低位分开的、位于小数点前面的若干高位。小数点前面的第一位的阶是 10^1 ，第二位是 10^2 ，第三位是 10^3 等等。

例如，数 285.324 在小数点前三位，故可表示为 $10^3 \times 0.285324$ 。二进制中，数的阶在机器内以数码中的阶码表示。在加法与减法时，各个数皆化为十进小数的形式（小于 1），而且有相同的阶。例如下面两数相加：

$$\begin{aligned} 54.286 &= 10^2 \cdot 0.54286 \\ 124.108 &= 10^3 \cdot 0.124108 \end{aligned}$$

为了这两数能相加，它们的阶必须相同。因此，阶小的数向右作适当的移位，以使两数的阶相同。上例可化为下式：

$$\begin{array}{r} 10^3 \times 0.054286 \\ + \quad 10^3 \times 0.124108 \\ \hline \text{和数等于 } 10^3 \times 0.178394 \end{array}$$

若对位时或所谓规格化时，较小的数码向右移位而自机器的位数中跑出，则数码中由寄存器末位跑出的低位码被舍弃。数的阶与数本身一样，通常亦按二进制计数制编码。

采用二进制计数制有可能把所有算术运算化为数码的加法与减法，而且每一位代码都可叠加。在此情况下，某位上两个 1 相加，在此位上和数是 0，1 进到下一位（高一位）；若 1 与 0 相加，则和数是 1。

例如 +13 与 +9 相加：

十进制	二进制
+ 13	0 01101
+ 9	0 01001
+ 22	0 10110

符号码的运算与数码本身的运算一样，相加之后得到的符号码就是和数的符号码。

当负数相加时，应当取数的补码。数的补码由反码（即数码中每一位都 1 变 0，0 变 1）在最后一位加 1 而构成。例如

若数+9的原碼写成 $\boxed{0} 01001$ ，則数9的反碼写成：

$\boxed{1} 10110$

再在最后一位加1就得补碼

$\boxed{1} 10111$

它所表示的数就是-9。

为了举例說明，將0到±11的正負数代碼列于表3。

表3 正負数代碼

正数						負数							
二进制代码， 数位：						二进制代码， 数位：							
十进数	符号	5	4	3	2	1	十进数	符号	5	4	3	2	1
		2^4	2^3	2^2	2^1	2^0			2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+1	0	0	0	0	0	1	-1	1	1	1	1	1	1
+2	0	0	0	0	1	0	-2	1	1	1	1	1	0
+3	0	0	0	0	1	1	-3	1	1	1	1	0	1
+4	0	0	0	0	1	0	-4	1	1	1	1	0	0
+5	0	0	0	0	1	0	-5	1	1	1	0	1	1
+6	0	0	0	0	1	1	-6	1	1	1	0	1	0
+7	0	0	0	0	1	1	-7	1	1	1	0	0	1
+8	0	0	0	1	0	0	-8	1	1	1	0	0	0
+9	0	0	0	1	0	0	-9	1	1	0	1	1	1
+10	0	0	0	1	0	1	-10	1	1	0	1	1	0
+11	0	0	0	1	1	1	-11	1	1	0	1	0	1
И Т Д						И Т Д							

и т. д.

и т. д.

例如作+15加-9，即15减9。为此可以把兩数的代碼相加。

十进制	二进制
+ 15	$\boxed{0} 01111$
+ - 9	+ $\boxed{1} 10111$
+ 6	$\boxed{0} 00110$