

**DIGITALNA RAČUNALA**, strojevi za obavljanje računskih operacija s numerički izraženim veličinama (*digit* = engl. znamenka, brojka, cifra). U takvim numeričkim strojevima (rus. *цифровые машины*), kako se oni također nazivaju, predstavljene su znamenke obično diskretnim fizičkim stanjima. Digitalna računala izrađuju se u čisto mehaničkoj, mehaničko-pneumatskoj, mehaničko-električkoj i električko-elektroničkoj izvedbi.

Digitalna računala mogu se prema svojoj konstrukciji i namjeni svrstati uglavnom u nekoliko grupa: u računala za opću upotrebu, računala za obradu podataka i specijalna računala prilagođena nekoj određenoj svrsi. U digitalna računala idu i obična mehanička stolna računala.

Digitalna računala za opću upotrebu služe kao pomoćno sredstvo pri naučnom, projektantskom i razvojnom radu, prvenstveno za rješavanje čisto matematičkih problema, tj. za numeričku analizu. Ona imaju memoriju s pomoću koje pamte primljene informacije i izvršavaju velikom brzinom, samostalno i bez čovjekova učešća, složene nizove računskih i logičkih (nearitmetičkih) radnji na osnovi primljenih instrukcija.

Računala za obradu podataka služe za pamćenje i obradu podataka. Ona su znatno jednostavnija od računala za opću upotrebu i nalaze veliku primjenu u proizvodnji, raspodjeli i administraciji (v. *Obrada podataka*).

Specijalna računala konstruirana su za rješavanje nekog određenog zadatka, pa je stoga tome prilagođena i njihova izvedba. Pojedine jedinice su im obično jednostavnije, a neke uopće ne postoje. Takva računala vrše često samo jednu ili samo nekoliko operacija, a ponekad se mogu i njihove jedinice prespojiti za izvođenje neke određene operacije.

Obični mehanički ili elektromehanički stolni računski strojevi služe za obavljanje 4 osnovnih operacija.

U ovom članku obraditi će se uglavnom samo digitalno računalo opće upotrebe, jer ono sadrži gotovo sve jedinice koje su sadržane u drugim računalima. Na neka specijalna računala osvrnut ćemo se kratko na kraju članka.

Potreba za bržim odvijanjem računskih operacija potakla je lude već vrlo rano na konstrukciju pomoćnih uređaja za računanje. Tzv. »abakus« (lat. *abacus*) kojim su se služili stari Egipčani, Grci i Rimljani predstavljao je prvi računski stroj (sl. 1). To je bila ploča sa 8 utora po kojima su se pomicali kamenčići.



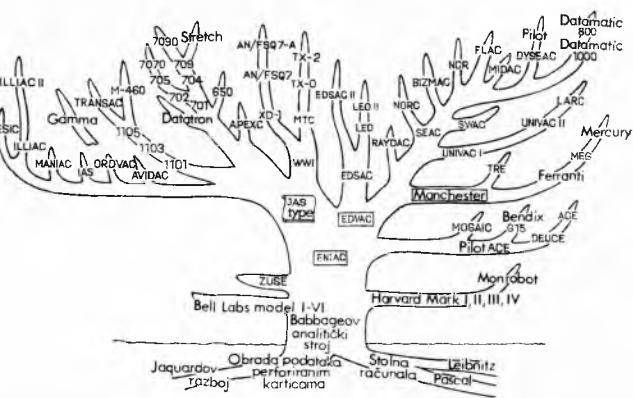
Sl. 1. Prikaz abakusa iz 1504. Slika prikazuje natjecanje između Pitagore (desno), koji se smatrao izumiteljem računanja s abakusom, i Boetija (lijevo) za koga se vjerovalo da je uveo računanje s indijskim (arapskim) brojkama. Sudac je božica Aritmetika; pobjeduje Boetije.

Ovo pomoćno računsko sredstvo ostalo je u upotrebi uz izvjesne izmjene sve do XVIII stoljeća, a ponegdje ga upotrebljavaju još i danas. Konstrukcijom računskih strojeva počeli su se već u XVII st. baviti mnogi stručnjaci, npr. E. Gunter (1620), B. Pascal (1642), G. W. Leibniz (1664). Tzv. »Pascalina« iz 1642., izrađena po zamisli Pascala, smatra se prvim mehaničkim računalom za

zbranjanje i odbijanje. U nju su se podaci unosili ručno s pomoću šiljka, a rezultati su izlazili automatski. Prvi računski stroj koji se prodavao za komercijalne svrhe konstruirao je Ch. X. Thomas 1820. Prve ideje i nacrte potpuno automatskog mehaničkog digitalnog računala dao je Ch. Babbage u prvoj polovini XIX st. Taj stroj imao je sve elemente današnjih digitalnih uređaja, kao što su pamćenje, aritmetička i upravljačka jedinica. Taj »analitički stroj«, trebalo je da služi rješavanju bilo kakvog algebarskog problema; zbog ondašnjeg stanja tehnike nije mogao biti ostvaren, ali i da nije bilo te zaprke, kao čisto mehanički uređaj ne bi mogao uspjeti u tom opsegu.

Prvim računskim strojevima vršilo se množenje i dijeljenje višestrukim zbrajanjem odm. odbijanjem; kasnije su se pojavili i strojevi specijalno konstruirani za množenje, kao npr. stroj L. Bolléea iz 1888.

Računski strojevi koji su građeni kasnije predstavljali su prevelike i spore sisteme te ekonomski nisu bili opravdani; stoga nisu ni značili neki narocići doprinos razvoju automatske računske tehnike. God. 1936 obradio je A. M. Turing problematiku numeričkog računala. Tek 1944 izrađen je na Pensilvanijskom univerzitetu prvi elektronički računski uređaj nazvan ENIAC. Otada pa do dana digitalna računska tehnika razvija se tako brzo da se u tom pogledu njen razvoj može usporediti jedino još s razvojem nuklearne i raketne tehnike, koje su, uostalom, također mnogo doprinijele razvoju računala. Naročit napredak u razvoju digitalnih računala zabilježen je počevši od 1958, otkad se u takvim uređajima primjenjuju poluvodički sastavni dijelovi.



Sl. 2. Stablo razvoja digitalnih računala

Sl. 2 prikazuje stablo razvoja računskih strojeva. Označke na stablu predstavljaju nazive najpoznatijih računala u svijetu u početnom periodu razvoja digitalnih računala. Mnoga od tih računala danas su zastarjela: brzine kojima su radijali znatno su premašene, načini njihova rada i mnogi uređaji koji su ušli u njihov sastav danas se više ne upotrebljavaju (npr. elektrostatičke memorije, živini zadržni vodovi, sklopovi s elektronkama itd.). Često se u razvoju računala razlikuju tri generacije: u prvu generaciju idu računala s elektronkama i klasičnim sastavnim dijelovima, u drugu računala s klasičnim tranzistorima, s minijaturnim sastavnim dijelovima i ev. štampanim krugovima, a treći i posljednji generaciju čine digitalna računala izrađena u mikrotehnici s pomoću integriranih sklopova.

**Razlika između digitalnih i analognih računala.** Digitalna računala valja razlikovati od analognih (v. *Analogno računalo*). Digitalna računala vrše s pomoću svojih računskih jedinica operacije sa znamenkama, a analogna računala rješavaju pojedine probleme simulirajući promjenljive veličine odgovarajućim modelima. U analognim računalima veličine se prikazuju neprekidno, nekom dužinom, električnim naponom, kutom ili na neki drugi način; numerička, tj. digitalna računala, pak, rade diskontinuirano, pomoću brojeva koji predstavljaju kvantizirane fizikalne veličine. Na taj se način izražavaju njima također funkcije i varijable kojima se označava neko stanje fizikalnih veličina, pozicije mehaničkih elemenata itd. Da bi se kontinuirano promjenljivi (analogni) podaci mogli obraditi u digitalnim računalima, oni se pretvaraju s pomoću analogno-digitalnih pretvornika u odgovarajuće brojeve, diskontinuirane, diskretne (digitalne) veličine, što se naziva kvantiziranjem. Digitalna računala mogu dakle da služe i za neposredno promatranje fizikalnih modela.

Naučni problemi mogu se rješavati bilo analognim bilo digitalnim računalima, ali su rješenja dobivena u jednom i u drugom slučaju po svom obliku i po svojim karakteristikama različita. Dok će se iz analognog računala dobiti rezultat u obliku neke funkcije, npr. krivulje na osciloskopu, digitalno će računalo dati opće ili pojedinačno rješenje u obliku brojčanih podataka, npr. u obliku neke tablice s brojevima. Tačnost digitalnih računala zavisi od njihovih karakteristika, npr. od broja decimalnih mesta i od vremena koje se želi potrošiti za određenu operaciju; po pravilu je ta tačnost veća od tačnosti analognih računala.

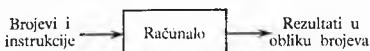
Kombinacija digitalnih i analognih računala naziva se *hibridnim računalima*. Ta su računala obradena na kraju ovog članka.

**Sastav i rad računala opće primjene.** Digitalna računala imaju zadatak da s brojevima i znakovima koje primaju na svom ulazu obave određene računske operacije primjenom određenih

# DIGITALNA RAČUNALA

logičkih postupaka i da na taj način dobivene rezultate šalju u obliku brojeva i znakova kroz izlaz računala (sl. 3).

Digitalno je računalo osposobljeno za izvršenje nekog konkretnog zadatka tek pošto mu se predstavi preko jedne ulazne jedinice odgovarajući *program*, koji se sastoji od niza pojedinih *instrukcija*.



Sl. 3. Shema rada digitalnog računala

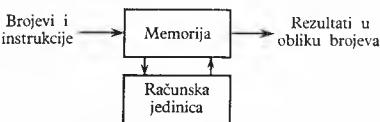
Instrukcije predstavljaju najmanje upute za rad računala, a sastoje se od dva dijela: operacioni dio sadrži nalog za izvršenje određene operacije, a adresni dio upućuje računalo gdje će naći podatke s kojima će operaciju izvršiti (*argumente*) ili kamo treba da smjesti (usklađišti) rezultat. Program koji se predstavlja računalu treba da je *kodiran*, tj. napisan u takvom obliku i redoslijedu da ga računalo može primiti i registrirati. Postupak sastavljanja kodiranog programa zove se *programiranje*.

O *programiranju u jeziku računala* govorit će ako su instrukcije ispisane u programu tačno onako kao što će biti uskladištene u pamćenju (memoriji) računala i kasnije izvršene. U takvom programiranju kodiranje je teško i zamorno, pa se u novije vrijeme prelazi sve više na *automatsko programiranje*. Pri njemu računalo samo učestvuje u sastavljanju konačnog programa prema kojemu će izvršavati operacije. Računalu se u tom slučaju predaje samo tzv. izvorni program, tj. prema odgovarajućim propisima oformljen zadatak, npr. u obliku formule. Na osnovu toga onda samo računalo, uz pomoć svog posebnog internog programa (tzv. kompilatora), sastavlja nizove instrukcija za izvršenje pojedinih operacija. Taj niz instrukcija sačinjava konačni objektivni program, koji se pohranjuje u memoriji računala i na osnovu kojeg računalo onda obavlja operacije i gotove rezultate ispisuje na jednoj od svojih izlaznih jedinica.

Pravila tzv. viših ili programskega jezika, kao što su npr. ALGOL, COBOL, FORTRAN, tačno propisuju kako treba pri automatskom programiranju pripremiti i oformiti (kodirati) zadatke. Jasno je da se zadatak smije pri automatskom programiranju kodirati samo na onom jeziku za koji postoji u računalu interni program (taj se normalno isporučuje zajedno s računalom).

Samo izračunavanje rezultata računalo obavlja na isti način kad je primijenjeno automatsko programiranje kao kad je program izrađen i predstavljen u jeziku računala. Stoga pri opisu računala i funkcije njegovih dijelova neće biti potrebno osvrnati se na automatsko programiranje, koje je, zajedno s programiranjem u jeziku računala, opširno obrađeno u narednom članku *Digitalna računala, programiranje*.

Digitalna računala rade vrlo brzo; pojedine računske operacije traju npr. u suvremenim računalima tek nekoliko milionih dijelova sekunde (mikrosekunda,  $\mu s$ ). Da bi se rad računala mogao odvijati što brže i bez zastojia, argumenti se ne unose kroz ulaz istovremeno kad se odvija i sama računska operacija, jer bi to bilo presporo, već se oni zajedno s instrukcijama predaju memoriji koja ih »pamtiti« (usklađištuje). Podaci se uzimaju iz memorije tek kad dođu na red u izvršenju računske operacije. Na isti način



Sl. 4. Uloga memorije u digitalnom računalu

pamti memorija i rezultate koji iz nje kasnije, polagano, prolaze kroz izlaz (sl. 4).

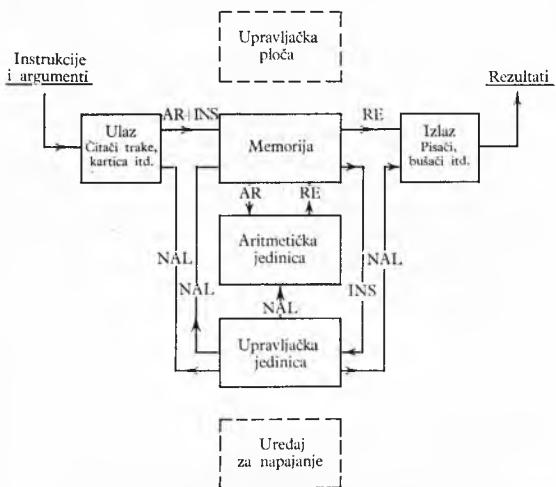
Svi podaci, tj. argumenti i instrukcije, koje digitalno računalo pamti, obraduju i prema kojima postupa, izraženi su znamenkama. Međutim, digitalna električna računala normalno ne rade s decimalnim brojevima, već upotrebljavaju druge brojčane sisteme — prvenstveno binarni sistem brojeva — jer su oni u pogledu tehničke izvedbe računala prikladniji. O tome je govora u narednom poglavljiju. Jasno je da moraju stoga i sve računske jedinice

i memorije računala biti prilagodene računanju sa znamenkama i računskim operacijama tih sistema.

Sastav električnog digitalnog računala u načelu prikazuje blok-sHEMA na slici 5. Iz nje se vidi da se takvo računalo sastoji od ulaznih i izlaznih jedinica, memorije i računske jedinice, koju tvore upravljačka i aritmetička jedinica. Osim tih dijelova postoje još upravljačka ploča i uređaj za napajanje strujom. Na slici vide se putevi kojima se kreću argumenti (podaci), instrukcije (upute), nalozi i rezultati.

*Ulavne jedinice*, koje predstavljaju vezu računala s vanjskim svijetom, sastoje se npr. od pisača, bušača i čitača perforiranih traka i kartica, od pisača i čitača magnetskih traka, ili nekih drugih uređaja. One pretvaraju i ulazne informacije u kôd, sistem s kojim dotično računalo radi.

Tako kodirane podatke u vidu riječi šalju ulazni organi u *memoriju* radi pamćenja i uskladištenja. Memorija se sastoji od velikog broja bistabilnih elemenata. Za ovu svrhu služe magnetske jezgrice, magnetske trake, diskovi i bubenjevi, električni multi-vibratorski sklopovi i drugi uređaji koji će biti kasnije detaljno



Sl. 5. Blok-sHEMA digitalnog računala opće primjene. AR Argumenti, NAL nalozi, INS instrukcije, RE rezultati

opisani. Pojedine grupe takvih elemenata predviđene su za pamćenje jedne riječi. Da bi se znalo kuda treba spremiti neku informaciju i odakle je kasnije u toku računanja opet uzeti, svaka jedinica memorijskih elemenata ima svoje ime, tj. svoju *adresu* koja se izražava odgovarajućim brojem. Izdavanjem informacija iz memorije i unošenjem rezultata u nju rukovodi upravljačka jedinica.

Jezgro digitalnog računala tvori računska jedinica koja se sastoji od upravljačke i aritmetičke jedinice. Te su dvije jedinice izgradene od sličnih elemenata.

Za automatsko odvijanje računske operacije brine se *upravljačka jedinica*, koja se sastoji od nekoliko podsklopova. Ona traži po završetku svake računske radnje od memorije slijedeću instrukciju i prema njoj izdaje aritmetičkoj jedinici sva naredenja za izvršenje određene računske operacije. Upravljačka jedinica poziva osim toga iz memorije argumente s kojima treba izvesti iduću računsku operaciju i šalje ih aritmetičkoj jedinici. Osim toga se brine da se medurezultati dobiveni u tekućem računskom postupku stave privremeno u internu memoriju koju aritmetička jedinica za ovu svrhu ima. Ona, konačno, šalje i završne rezultate glavnoj memoriji. Osim toga postoji u nekim računalima i uređaj sa satnim impulsnim generatorom koji u tačno određenim vremenskim intervalima s pomoću električnih impulsa upravlja radom svih organa računala i time vremenski uskladjuje dolazak pojedinih podataka s izvršenjem operacija.

*Aritmetička jedinica* obavlja računske operacije. Radi toga ona je sastavljena od računske jedinice, kojima se vrše te operacije, i od lokalnih memorija. U aritmetičkoj jedinici obavljaju se četiri osnovne računske operacije: zbrajanje, odbijanje, množenje i dijeljenje, i na njih se s pomoću programiranja svode i svi ostali, komplikiraniji i viši matematički postupci. Osnovne

se računske operacije ne izvode u svemu na način poznat iz računanja u decimalnom sistemu, nego se u računalima primjenjuju zbog upotrebe binarnog brojčanog sistema postupci algebarske logike kao što su: konjunkcija, disjunkcija, komplementiranje i drugi. Aritmetička jedinica je znatno jednostavnija u tzv. *serijskim računalima*, koja računske operacije izvode postupno, od brojke do brojke nekog broja, slično kao kad se računa olovkom, nego u *paralelnim računalima*, u kojima se računski rad odvija istovremeno na brojkama svih mesta. Stoga su i aritmetičke jedinice paralelnih računala skuplje.

Kao *izlazne jedinice* koje ispisuju ili prikazuju gotove rezultate služe pisači, perforatori, pokazivači i druge zapisne sprave.

*Upravljačka ploča* ima uglavnom veći broj sklopki i služi za ukopčavanje računala, upravljanje njegovim radom, njegovu kontrolu i ispitivanje, a također za uvodenje nekih programske promjene.

*Napajanje računala* vrši se obično iz gradske mreže.

#### ULAZNE I IZLAZNE JEDINICE RAČUNALA

Broj i vrsta ulaznih i izlaznih jedinica zavisi od vrste računala, odn. od njegove namjene. U proračunima koji se odnose na statističke, privredne i proizvodne probleme broj je podataka i broj rezultata velik, ali su računske operacije relativno kratke i jednostavne. Za rješavanje takvih problema potrebna su računala s mnogobrojnim i komplificiranim ulaznim i izlaznim jedinicama. Pri rješavanju tehničkih i naučnih problema potreban je samo mali broj razmijerno jednostavnih ulaznih i izlaznih jedinica, ali je sam proračun složeniji.

**Formiranje ulaznih informacija u riječi i njihovo kodiranje.** Kao što je naprijed rečeno, podaci koji se unose u računalo moraju biti prethodno na pogodan način pripremljeni, tj. prevedeni na jezik računala i kodirani. Jezik računala sastoji se od pojedinih »riječi«, koje se posredstvom kodiranja izražavaju određenim brojem binarnih znamenaka.

**Formiranje riječi.** U toku programiranja, numeričke vrijednosti koje računalo treba da preradi i instrukcije koje mu se daju za tu preradu formiraju se u riječi prema nekom ugovorenom kodu, a na osnovu prethodno sastavljenih spiskova u kojima su ti podaci prikazani decimalnim brojevima ili specijalnim kraticama. Svaka takva riječ sadrži jednu informaciju ili više informacija koje sačinjavaju neku cjelinu. S pomoću ulazne jedinice, npr. stroja za pisanje, ove se riječi prilikom unošenja u računalo pretvaraju u kód kojim ono radi, npr. kod binarnih računala u binarne brojeve koji se sastoje od određenog broja binarnih znamenki 0 i 1. (Binarna znamenka zove se i *bit*, prema engleskom *binary digit*). Koliki je broj bitova u broju kojim je izražena svaka riječ, to zavisi od konstrukcije računala. Dužina riječi, tzv. ritam, iznosio je ranije često 12 binarnih znamenki, kod novijih računala on se kreće između 16 i 64 bita. Dužina riječi se izražava često i u *bajtima* (engl. byte): to je slijed binarnih znamenki koje u računalu tvore jednu cjelinu. Bajt iznosi obično 4...8 bita, uz eventualni dodatak još neke pomoćne znamenke. Sve riječi istog računala imaju istu dužinu. Ako nema dovoljno informacija za popunjene cijele riječi, ili je broj koji se prenosi kratak, prazna se mesta riječi popunjavaju nulama. Postoje, međutim, i neka moderna računala kod kojih mogu riječi koje sadrže instrukcije biti i kraće od normiranih riječi ukoliko se primijeni neki simbolički jezik za programiranje. Riječi koje sadrže instrukcije prema vanni se ni u čemu ne razlikuju od riječi koje sadrže argumente, razlika se uočava samo kroz interpretaciju. Sastav pojedinih riječi tačno je propisan i on je usko povezan s konstrukcijom računala; tako, npr., već prema tipu računala, riječi s instrukcijama sadrže od jedne do tri adrese.

Sadržaj neke instrukcije s jednom adresom može npr. biti ovakav: »Zbroji broj koji se nalazi u memoriji aritmetičke jedinice s brojem koji je spremljen u glavnoj memoriji pod adresom 245«. Takva se informacija prilikom programiranja upisuje u spisak npr. ovako: +01245, gdje + znači oznaku za instrukciju, 01 matematičku operaciju a 245 adresu. (Prilikom unošenja u računalo ovi se znakovi kod binarnih računala pretvaraju u binarni oblik.) Cijela ova informacija predstavlja dakle jednu riječ. Jedna riječ pohranjuje se u memoriji vrlo često pod jednom adresom.

**Kodiranje riječi.** Svaki podatak što ga saopćavamo u svagdajnjem životu na određeni je način kodiran, jer ga nesvesno izražavamo na neki način koji je među određenim brojem ljudi uobičajen. Tako npr. izgovorena riječ »trinaest« za nas koji znamo naš jezik znači broj ili količinu. Za stranca, međutim, takvo uzastopno mijenjanje glasova nije razumljivo, jer njemu nije poznat kód našeg govora. Ako broj 13, međutim, napišemo brojkama uobičajenog decimalnog sistema, gdje 1 znači desetice, a 3 jedinice, onda taj način prikazivanja razumiju svi ljudi koji poznaju brojke i načela decimalnog sistema.

Teorijski mogu da postoje vrlo različiti sistemi brojeva. Danas je najpoznatiji decimalni brojčani sistem koji radi sa osnovom (radiksom) 10. Ako decimalni broj 4567,8 napišemo u razvijenom obliku, dobivamo:  $4 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1}$ . Vidi se da u decimalnom sistemu mesta brojki imaju svoje vrijednosti koje odgovaraju potencijama od 10. Općenito, za bazu  $q$ , važi da vrijednost broja  $N$  iznosi:

$$N = a_n \cdot q^n + a_{n-1} \cdot q^{n-1} + \dots + a_0 \cdot q^0. \quad (1)$$

U toj su jednadžbi  $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0$  brojke pojedinih mesta. Prijе decimalnog sistema (sa  $q = 10$ ) ljudi su upotrebljavali druge brojčane sisteme, u kojima je  $q$  iznosio 6, 12 pa čak i 60. Nekim ostacima tih sistema služimo se još i danas, npr. u jedinicama za kutove, jedinicama za vrijeme i kad računamo na tucete (12 komada) i grose (12 tuceta). U digitalnim računalima upotrebljavamo binarni sistem sa  $q = 2$ , oktalni sa  $q = 8$ , a često također seksadecimalni (heksadecimalni) sa  $q = 16$  i normalni decimalni sistem. Svaki brojčani sistem mora imati toliko brojki koliko iznosi  $q$ , dakle decimalni 10, binarni 2, itd.

Kako su ciljevi za pamćenje koje se upotrebljavaju u elektronskim računskim strojevima uglavnom bistabilni elementi, tj. elementi koji mogu zauzeti samo jedno od dva stabilna stanja, to su za rad u računalima prikladniji kodovi sa svega dvije osnovne veličine, simbolički označavane znamenkama 0 i 1. Tako npr. kontakt releja može zauzeti samo jedan od dva položaja, sklopovi s elektronikama i tranzistorima mogu biti ili u stanju vodljivosti ili u stanju nevodljivosti, magnetski uredaji mogu biti polarizirani samo u jednom ili u drugom smislu.

Da bi se binarna znamenka 1 razlikovala od decimalne, ona se u novije vrijeme često piše L. Iz razloga simetrije se onda obično i mjesto nule (0) piše slovo O. Npr. umjesto 0011 piše se OOLL.

Ako broj sastavljen od binarnih brojki ima 4 mesta, onda broj kombinacija od dviju binarnih brojki iznosi  $2^4$ , tj. 16; takve su kombinacije 0001, 0010, 1111, itd. Između tih 16 kombinacija se izražavaju brojki 0 do 9 izabire njih 10 prema različitim kriterijima, pa tako dobivamo različite binarne kodove. U računskim strojevima upotrebljavaju se dva načelno različita načina kodiranja, tj. dva načina izražavanja decimalnih brojki i slova s pomoću binarnih brojčanih kombinacija.

U kodovima prve vrste daje se binarnoj brojci 1 na svakom mjestu binarnog broja određena stalna brojčana vrijednost tako da zbroj vrijednosti svih mesta predstavlja broj koji se želi prikazati. Pri vrednovanju tih mesta mogu se upotrijebiti različiti kriterij, pa se je tako došlo do različitih binarnih kodova.

*Kód 8—4—2—1* dobiva se ako se posljednjem mjestu daje vrijednost  $2^0 = 1$ , pretposljednjem  $2^1 = 2$ , trećem  $2^2 = 4$ , četvrtom  $2^3 = 8$  itd. Brojevi tog koda predstavljaju, dakle, binarne brojeve prema jednadžbi (1), sa  $q = 2$ . Znamenke u tom sistemu mogu, dakako, biti samo  $a_0 = 0$  i  $a_1 = 1$ . U tablici 1 navedena su prva dvadeset i dva binarna broja po ovom kodu.

Tablica 1

Decim. broj	binarni broj	Decim. broj	binarni broj	Decim. broj	binarni broj	Decim. broj	binarni broj
0	0	6	110	12	1100	18	10010
1	1	7	111	13	1101	19	10011
2	10	8	1000	14	1110	20	10100
3	11	9	1001	15	1111	21	10101
4	100	10	1010	16	10000	22	10110
5	101	11	1011	17	10001	itd.	itd.

**Primjer.** Decimalnom broju 6 odgovara binarni broj 110 (ili 0110, 00110 itd., prema broju mesta u kodu) jer je  $1 \times 4 + 1 \times 2 + 0 \times 1 = 6$ .

## DIGITALNA RAČUNALA

Ako želimo decimalni broj pretvoriti u binarni broj, dijelimo prvo njega, a zatim kvocijente postupno sa 2, a ostakce zapisujemo. (Vidi primjer u tablici 2.) Ostaci čitani od ozdo prema gore daju binarni broj. Prema tome decimalnom broju 113 odgovara binarni broj 1110001.

Tablica 2

Kvocijent	Ostatak
113	1
56	0
28	0
14	0
7	1
3	1
1	1

binarni broj

Pojedinim mjestima binarnog broja mogu se dati i druge vrijednosti, pa se tako dobivaju druge vrste binarnih kodova, kao npr. kód 2421, kód 4221 itd. Često se kombinacije izaberu tako da zbroj brojki, kad je na svakom mjestu brojka 1, iznosi 9, npr. u kódru 4221 binarni broj 1111 odgovara decimalnom broju  $4 + 2 + 2 + 1 = 9$ .

U kodovima druge vrste ne daju se pojedinim mjestima određene vrijednosti, niti se te vrijednosti zatim zbrajaju, već binarna kombinacija kao cjelina dobije značenje određene brojke, znaka ili slova. Ovakvi kodovi imaju obično za brojeve 4 do 5 mesta, a za slova 5 do 7 mesta. Da se olakša kontrola ispravnosti i ispravnog prenosa, uzimaju se između svih mogućih kombinacija samo one koje odgovaraju još nekim dodatnim uvjetima, kao npr. da svaka kombinacija sa 5 mesta sadrži 2 puta binarnu brojku 1.

Tablica 3

Decimalni broj ili alfabetski znak	Brojevi i znakovi kodirani prema kódru	
	2 od 5	Eksces 3
0	00011	1000011
1	00101	0000100
2	00110	1000101
3	01001	1000110
4	01010	0000111
5	01100	0001000
6	10001	1001001
7	10010	1001010
8	10100	0001011
9	11000	1001100
A		1010100
B		0010101
.		.
Z		1111100

Medu ovakve kodove idu kodovi »Eksces 3«, »2 od 5« i dr.

Tablica 3 prikazuje binarne brojeve kodirane po ovim kodovima. Kód Eksces 3 zove se tako jer binarna vrijednost prvih 4 brojki zdesna po kódru 8421 prelazi za iznos 3 vrijednost što je predstavlja odredena kombinacija po kódru Eksces 3. Npr. 1001001 odgovara po kódru Eksces 3 decimalnom broju 6, a 1001 po binarnom kódru 8421 odgovara decimalnom broju 9, što prelazi 6 za iznos od 3.

Danas se upotrebljava obično alfa-numerička (brojčano-slovčana) verzija kódra »Eksces 3« koja ima 7 mesta, kao što se to vidi iz tablice 3. Zbog kontrole ispravnosti kodirane kombinacije nalazi se na posljednjem mjestu (prvom slijeva) znamenka 1 ako na ostalim mjestima ima paran broj znamenki 1, a 0, ako ih ima neparan broj. Iduće dvije znamenke (druga i treća slijeva) pokazuju da li kombinacija označava slovo (0, 1, 10, 11) ili znamenku (00).

U kódru »2 od 5«, koji ima samo 5 mesta, kombinacije su izabrane tako da zbroj znamenki 1 iznosi uvijek 2. I ovaj sistem služi lakšem otkrivanju grešaka.

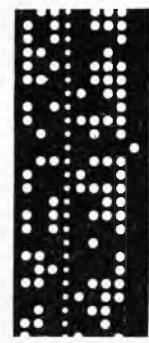
**Ulagne jedinice digitalnih računala** imaju zadatok da ulagne podatke s koda programa prevedu na kód računala i da ih prilagode njegovom načinu rada. Ali u svakodnevnoj praksi većina informacija koje računalo treba da obradi obično nije izražena u binarnom i električkom obliku, već npr. u obliku brojki, znakova ili pisanog teksta. Ulagne jedinice služe stoga kao pretvornici i one obavljaju trostruk zadatok: pretvaraju informaciju u pogodno kodiran digitalni oblik, daju digitaliziranoj informaciji električki oblik — tj. izražavaju je slijedom električkih impulsata — i po potrebi skupljaju bitove informacija u riječi i sinhroniziraju odašiljanje impulsa s radnim taktom računala.

Postoji velik broj uređaja s pomoću kojih se mogu unositi digitalni podaci u računalo. Najčešće služe za to: perforirane trake, perforirane kartice, magnetske trake i diskovi, strojevi za pisanje i polja s tipkama, a rijede i za specijalne namjene: čitači štampanog teksta, sljedila toka krivulja i neki mehanički uređaji. Za uvođenje analognih veličina u digitalna računala upotrebljavaju se analogno-digitalni pretvornici.

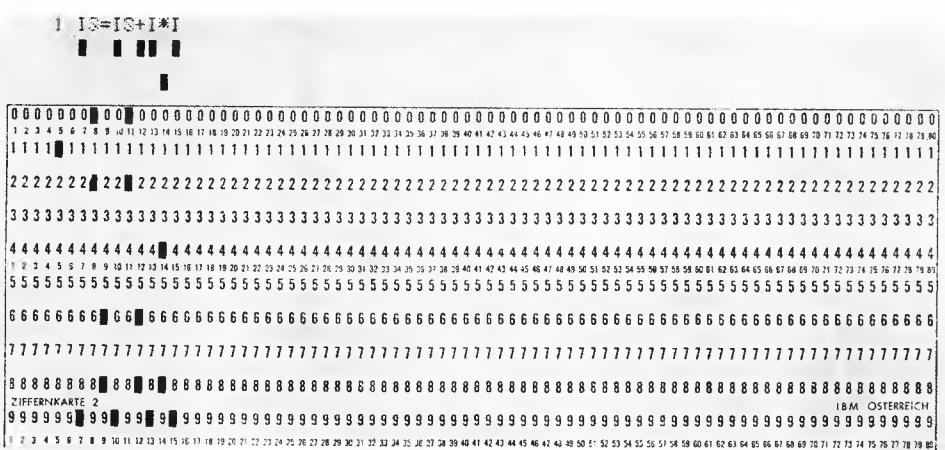
Medu ulaznim jedinicama ima takvih koje rade sporo, npr. strojevi za pisanje (sa 10 znakova u sekundi) i takvih koji rade znatno brže, npr. čitači magnetske trake (i do 3000 znakova u sekundi). Kad ulagne jedinice djeluju sporo, upotrebljavaju se redovito memorija kao posrednik između ulaza i računske jedinice. Memorija prima podatke od ulaznog pretvornika, pamti ih i predaje zatim velikom brzinom računskom dijelu računala. Kako je radni sat velikih digitalnih računala vrlo skup (danas 1000 do 2500 novih dinara), to se i za samo unošenje često primjenjuju brži ulazi, kako bi angažiranje računala trajalo što kraće vrijeme.

U nastavku opisat će se najvažnije vrste ulaznih jedinica koje se primjenjuju u digitalnim računalima.

**Perforirane trake.** Za unošenje informacija u računalo s pomoću perforiranih traka treba imati: perforator ili bušilicu, samu traku i, konačno, čitač perforirane trake, koji sačinjava, u stvari, ulaznu jedinicu računala. Perforirane trake su papirne vrpce standardnih širina, npr. 17,4, 22,2, 25,4 mm; na njima se specijalnim perforatorom tj. elektromehaničkim bušilom, koje ima tastaturu, izbuši u svakom redu (okomito na smjer dužine trake) određeni broj rupa koje prema određenom binarnom kódru odgovaraju određenom decimalnom broju, znaku ili slovu, kao što je to bilo poznato već od teleprinterskog telegrafskog prenosa (sl. 6). Broj rupa u jednom redu zavisi od vrste binarnog kódra koji se upotrebljava; iznosi obično od 4 do 8. Niz malih rupica u sredini trake služi za vođenje i transport trake. Rupa na traci znači bit 1, a mjesto bez rupe bit 0. Svi bitovi u jednom redu predstavljaju jedan znak. Ako, na primjer, riječi u računalu imaju dužinu od 30 bita, onda je, uz kód sa pet mjestâ, za ispisivanje jedne riječi potrebno šest redaka rupica. Perforatori traka imaju tipkalo s decimalnim brojevima, sa znakovima i slovima. Kad se npr. na perforatoru



Sl. 6. Perforirana traka sa sedam rupica



Sl. 7. Perforirana kartica

za kôd 8421 pritisne tipka, recimo, za brojku 6, perforator sam izvrši kodiranje, tj. na pritisak tipkala izbuši 2 rupice a 3 mjesta ostavi neizbušena, što odgovara binarnom broju 00110. Perforatori traka su često kombinirani sa strojevima za pisanje. Uredaj za čitanje perforirane trake u računalu pretvara izbušene rupe i nebušena mjesta u električne impulse i šalje ih u memoriju. Brzina čitanja perforirane trake može iznositi i nekoliko hiljada bita u sekundi. Sporiji uredaji za čitanje rade s pomoću mehaničkih ticala, brži čitači svjetlosnom zrakom koja aktivira foto-električnu celiju i time pretvara izbušene rupice u električne impulse.

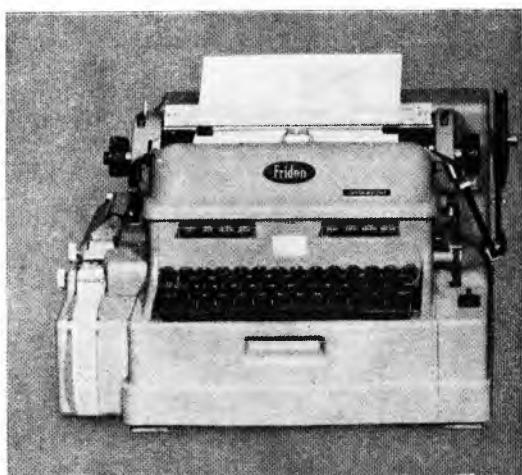
*Perforirane kartice.* Za perforirane kartice postoje slični perforatori i čitači kao za trake. Na karticama mogu rupice biti izbušene ili samo uz jedan rub, na isti način kao na traci, ili po cijeloj površini kartice (sl. 7). Uredaji za čitanje perforiranih kartica,



Sl. 8. Uredaj za čitanje perforiranih kartica

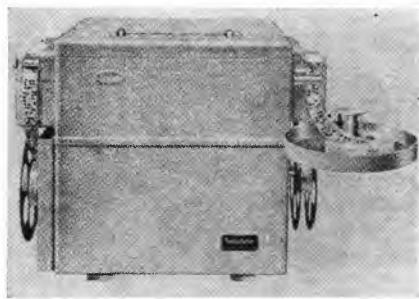
koji predstavljaju prilično veliku aparaturu (sl. 8), rade brzinom i do preko 10 000 kartica na sat.

*Strojevi za pisanje* su uredaji s tastaturom koji pretvaraju na mehanički ili električki način decimalne brojke, znakove i slova u binarno kodirane brojeve. Oni su po svom načinu rada vrlo slični bušačima traka ili teleprinterima (v. *Telegrafija*). Obično strojevi za pisanje imaju pisalo teksta za kontrolu podataka koji se šalju u računalu ili kao izlazni dio računala (sl. 9). Najčešće imaju



Sl. 9. Stroj za pisanje s dodatnim bušačem i čitačem perforirane trake. Uredaj omogućuje prethodnu pripremu trake uz ubacivanje instrukcije i brzu predaju informacija s pomoću gotove trake računalu

takvi strojevi za pisanje ugrađen i perforator za bušenje traka i kartica. U nekim računalima se za ovu svrhu primjenjuju speci-



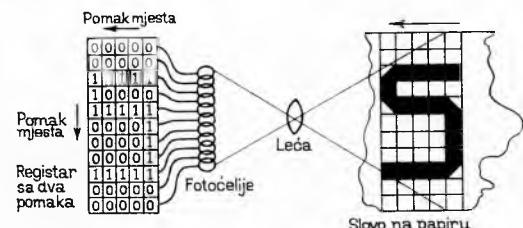
Sl. 10. Primopredajnik (čitač i bušilica perforirane trake) za rad s računalom na daljinu preko telefonske linije

jalno adaptirani teleprinter. Strojevi za pisanje daju na svom izlazu ili već pravilno kodirane i oblikovane električne impulse ili perforiranu traku. Najveća brzina rada takvih pisača iznosi obično 10 odn. 20 znakova u sekundi.

*Telegrafiske i telefonske linije* mogu se preko odgovarajućih adaptera priključiti izravno na memoriju računala kad se program i brojčani podaci šalju u računski centar iz nekog drugog poduzeća, instituta ili mesta. Podaci moraju u tom slučaju biti već unaprijed pripremljeni, obrađeni i kodirani. Prijenos podataka vrši se na udaljenom mjestu s pomoću stroja za pisanje ili čitača traka, a prijem rezultata s pomoću stroja za pisanje ili bušilice (sl. 10).

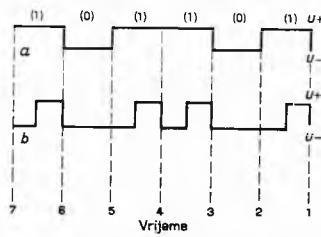
*Magnetske trake i diskovi* mogu se uz odgovarajuće uređaje za upisivanje i čitače također upotrijebiti kao ulazni organi ako treba unošenje podataka ubrzati. Oni po svojoj konstrukciji potpuno odgovaraju trakama i diskovima koji su opisani među memorijama. Magnetizirana tačka znači kod njih bit 1 a nemagnetizirana bit 0. Brzina prenosa s ovakve trake u memoriju može iznositi i do 100 000 bita u sekundi. Takvi uredaji idu dakle među brze ulazne organe.

*Uredaji za čitanje štampanog i pisanih teksta* mogu u specijalnim slučajevima također da služe kao ulazni organi. Postoji mnogo



Sl. 11. Princip uredaja za čitanje štampanog teksta s pomoću fotoćelija

sistema koji omogućuju čitanje slova i brojki. Neki od njih rade s pomoću svjetlosne zrake i fotoćelija (sl. 11), drugi s magnetskim crnilom, treći s crnilom koje pravi papir na ispisanim mjestima provodljivim. Svi oni rade obično na principu razlaganja slike na svijetle i tamne, magnetske i nemagnetske, vodljive i nevodljive tačkice, koje se kao bitovi 1 i 0 prenose u odgovarajuće matrice. Primjena takvih uredaja je mnogostrana; upotrebljavaju se najviše u bankama za provjeru čekova, potpisa i slično. Posebnu vrstu



Sl. 12. Promjene napona (a) i električnih impulsa (b) s pomoću kojih ulazni organi predaju pojedine riječi memoriji

## DIGITALNA RAČUNALA

takvih uređaja predstavljaju sljedila toka krivulja, koje mogu raditi prema opisanom ali i prema nekim drugim principima.

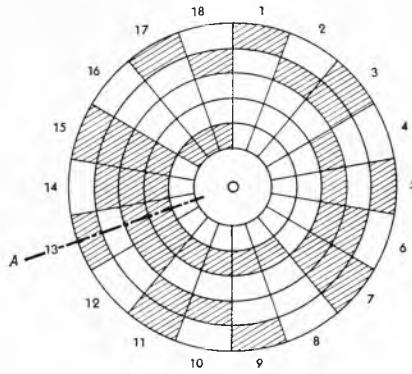
Ulagani organi predaju računalu (memoriji) pojedine riječi s pomoću električnih impulsa ili promjena napona kao što to pokazuje slika 12.

**Analogno-digitalni pretvornici** upotrebljavaju se za pretvaranje analognih podataka, koji se dobivaju npr. pri mjerjenju temperature, snage, momenta, protoka, kutova, položaja osovine i drugih kontinualnih veličina, u diskretne signale binarno-numeričkog tipa. Takvi pretvornici, koji mogu da rade na vrlo različitim principima, služe kao ulagani organi digitalnih računala u kojima se analogni (kontinualni) podaci matematički obrađuju. Načelno se analogni podaci mogu pretvarati u digitalne posredno ili neposredno.

Pri *posrednom ili indirektnom* pretvaranju se analogna veličina, koja se kontinuirano mjeri, pretvara najprije u električki kontinuirani signal i ovom se tek kasnije daje odgovarajući numerički oblik. Za posredno pretvaranje primjenjuje se često metoda s komparatorom. U komparatoru može se npr. uporediti ulazni analogni napon s naponom koji daje preko posebnog digitalno-analognog pretvornika neko brojilo koje stvara električne impulse. Ako je napon koji dolazi iz brojila veći od ulaznog napona, komparator daje bit 0, a ako je manji, bit 1. S pomoću ovih bita regulira se povratnim putem brojilo tako da se broj impulsa iz brojila povećava ili smanjuje dok ne odgovara analognom ulaznom naponu. Broj impulsa u jedinici vremena broji registar za brojenje, pa njegovo stanje predstavlja digitalni oblik analogne veličine u datom trenutku.

Drugi je način posrednog pretvaranja analogne veličine u digitalnu da se trenutnu vrijednost analogne veličine pretvori najprije u normirani impuls čija je širina proporcionalna vrijednosti analogne veličine u datom trenutku. Ti se impulsi kasnije kvantiziraju tako da se njima uspostavi spoj s jednim ulazom konjunktivnog sklopa, kojemu je drugi ulaz spojen s impulsnim generatorom sata računala. Time se dobiva na izlazu pretvornika broj impulsa koji je razmjeran širini impulsa, a time i mjerenoj analognoj veličini. Daljnji se postupak odvija kao što je naprijed navedeno.

Pri *neposrednom ili direktnom* pretvaranju analogna se veličina pretvara izravno u numeričko-kodiranu vrijednost. Kao primjer takva pretvaranja može poslužiti pretvaranje kutnog položaja neke osovine u brojčanu binarnu vrijednost. Ako pretvornik treba da radi s digitalnim računalom u kome se primjenjuje brojčani kod od 5 mesta, na osovinu čiji se kutni položaj želi izraziti numerički nalazi se ploča sa 5 koncentričnih koluta iste širine



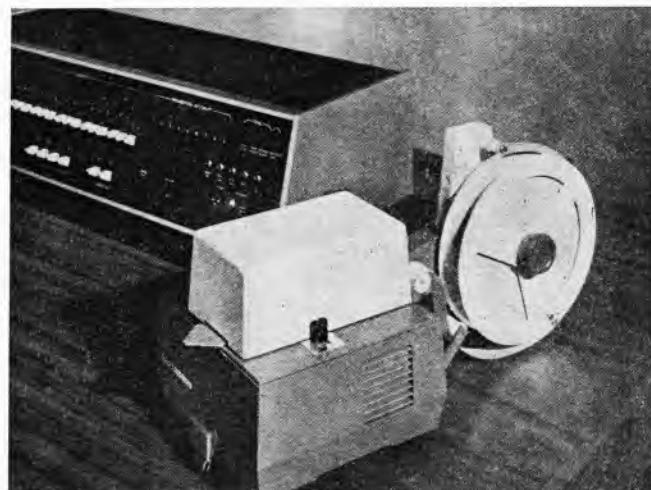
Sl. 13. Pretvaranje kutnog položaja u binarni broj. Tamne površine na kolutu pretvornika provodljive su, svijete su neprovodljive, prve predstavljaju binarnu brojku 1, druge brojku 0. Ako se četkice nalaze npr. u položaju A-O, tj. u sektoru 13, dobiva se binarni broj 01101, što odgovara decimalnom broju 13

(sl. 13). Cijela ploča podijeljena je na sektore određene širine, npr. 10°. Koluti su u nekim sektorima vodljivi a u drugim nevodljivi, pa se tako dobivaju vodljivi i nevodljivi segmenti. Po kolutima klizi 5 četkica koje se određenim mehanizmom ukopčavaju postupno od centra ploče prema obodu. Četkice koje se nalaze na vodljivom segmentu dobivaju preko njega napon, a

druge ostaju bez napona. Segmenti su kombinirani tako da slijed naponskih (1) i beznaponskih (0) stanja predstavlja binarni broj koji odgovara broju segmenata ili kutnom položaju u stepenima. Isti problem može se riješiti i s pomoću prozirnih i neprozirnih segmenata, pomične zrake svjetla i fotoćelije. Takvi pretvornici susreću se češće u hibridnim računalima.

**Izlazne jedinice digitalnih računala** jesu polagani i brzi pisaci strojevi, perforatori traka i kartica, katodne cijevi koje prikazuju izravno tekst i brojke (alfa-numerički pokazivači), kontinuirani (analogni) izlazi i zapisne sprave krivulja i sinoptičkih karata. U nastavku će se opisati neki najvažniji izlazni organi.

Najčešće služe kao izlaz iz računala *zapisne sprave* različnih tipova. One se mogu podijeliti na polagane i brze, na mehaničke i nemehaničke pisaci strojeve. Najčešće se susreću obični elektromehanički pisaci strojevi slični teleprinterima koji pišu slovo po slovo na list ili svitak papira (v. sl. 9). Brzina pisanja iznosi već prema tipu 10 ili 20 znakova u sekundi. Brzi, tzv. linijski pisaci strojevi stampaju istovremeno cijeli redak od ~120 znakova s time da mogu odštampati i 5 do 20 takvih redaka u sekundi (v. sl. 40, lijevo). Mehanički matrični printer firme Eastman Kodak stampa i do 350 redaka u sekundi.



Sl. 14. Perforator traka. U pozadini kontrolni pult.

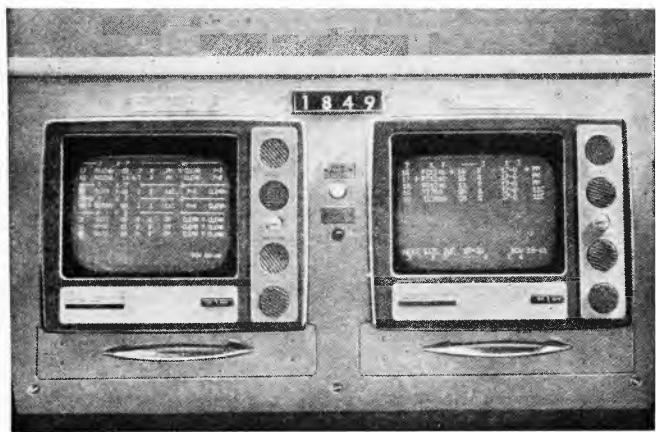
S pomoću nemehaničkih strojeva za pisanje prenosi se informacija na papir npr. fotografskim, elektrofotografskim ili magneto-fotografskim putem. Neki takvi pisaci strojevi upotrebljavaju kao izvor informacija svijetleći tekst sa ekrana specijalne katodne cijevi, koji se kontinualno preslikava. Brzina pisanja takvih uređaja iznosi 15 000 do 30 000 znakova u sekundi. Pri elektrofotografskom načinu reprodukcije površina se foto-papira nabija električnim nabojem neposredno prije snimanja. Na osvjetljenim mjestima papir postaje provodljiv i naboј nestane kad papir prelazi preko uzemljenog valjka. Zatim se pušta na papir prašina nabijena suprotnim polaritetom. Ona biva privučena i kupi se na mjestima koja nisu bila osvjetljena. Zagrijavanjem ova se prašina fiksira na papiru.

Osim opisanih vrsta sprava za pisanje postoje još brži strojevi koji su vrlo skupi i vrlo se rijetko upotrebljavaju.

Vrlo često služe kao izlazne jedinice *perforatori* traka bez tastature. Polagani perforatori buše desetak znakova u sekundi, a brzi postižu 150 do 1000 znakova u sekundi (sl. 14). Slično rade i bušilice kartica, koje mogu perforirati i više od 10 000 kartica na sat.

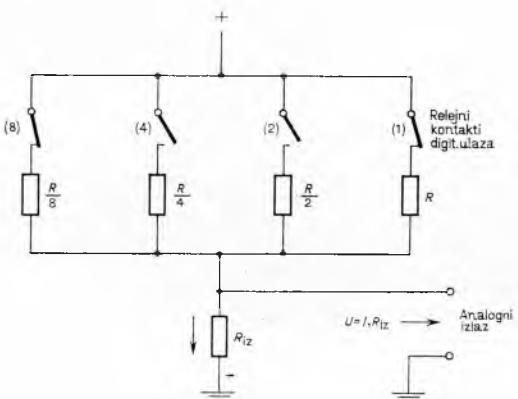
*Pokazivači s katodnom cijevi* za tekstualno (alfa-numeričko) prikazivanje rezultata digitalnih računala upotrebljavaju se u posljednje vrijeme sve češće. Tekst se sa zaslona izravno čita (sl. 15; v. i sl. 37).

*Digitalno-analogni pretvornici* služe za pretvaranje podataka, koje daje digitalno računalo u diskretnoj binarnoj formi, u kontinuirani (analogni) oblik, npr. radi prikazivanja podataka u grafičkom obliku u vidu krivulje ili radi ponovnog unošenja podataka u neki uredaj koji traži na svom ulazu analogne veličine. Ovi se



Sl. 15. Pokazivač s katodnom cijevi

prevornici stoga često upotrebljavaju kao izlazni organ digitalnih računala. Električni binarni impuls prevaraju se u kontinuirane veličine električkog napona ili struje obično s pomoću dioda, otpornika i slijedova otpornika. Često se za tu svrhu upotrebljavaju djelioci napona (sl. 16). Svaki od četiri prekidača, koji mogu



Sl. 16. Digitalno-analogni pretvornik na principu djelioca napona. Prikazani položaj pretvara binarni broj 1001 u analogni 9

biti npr. kontakti releja, odgovara kad je zatvoren bitu 1, a kad je otvoren bitu 0. Za svako mjesto binarne brojke predviđen je zaseban prekidač (1, 2, 4, 8). Ako su npr. zatvoreni prvi i posljednji kontakt, taj položaj odgovara broju  $1 + 8 = 9$  jer su i provodljivosti otpornika dimenzionirane proporcionalno vrijednostima pojedinih mjeseta binarnog koda. Iz izvora struje koji napaja pretvornike teći će dakle struja koja će biti proporcionalna dotičnoj digitalnoj veličini, pa će i pad napona na izlaznom otporniku  $R_{IZ}$ , ukoliko je taj malen spram ostalih, biti proporcionalan digitalnoj vrijednosti. Tako postoje i pretvornici vrlo različitih konstrukcija za kutne i druge veličine, ali u njihov opis ovdje ne možemo ulaziti.

Na digitalne pretvornike mogu se priključiti i koordinatni pisači i crtači krivulja.

#### JEDINICE ZA PAMĆENJE ILI MEMORIJE

Jedinice za pamćenje ili memorije su uređaji koji se primjenjuju za »pamćenje«, tj. spremanje informacija. Oni se sastoje od većeg broja osnovnih jedinica za pamćenje koje su sposobne da zauzmu jedno od dva stabilna stanja. Od takvih se sklopova traži da zapamte binarnu informaciju koja se sastoji bilo od stanja »0« ili od stanja »1«. Ako se pojavi informacija stanja »0«, jedinica za pamćenje ostaje nepromjenjena, pri ulasku informacije »1« za pamćenje će zauzeti drugo stanje ili položaj i zadržati ga do daljnog. Nakon predaje informacije može jedinica za pamćenje to

stanje i nadalje zadržati ili se vratiti u svoje osnovno stanje, što zavisi i od vrste memorije. Više takvih bistabilnih jedinica za pamćenje sačinjava jednu ćeliju za pamćenje, a velik broj ćelija, memoriju.

Pri današnjem stanju tehnike postoji velik broj uredaja, sklopova i jedinica koje se mogu upotrijebiti kao elementi za pamćenje u memorijama. Najčešće se upotrebljavaju za ovu svrhu: bistabilni električni sklopovi, magnetske trake, magnetski bubnjevi ili diskovi, matrice s feritnim jezgricama, a rjede: releji, perforirane trake i kartice, zadrživi vodovi i supervodljivi sklopovi. Ovi posljednji su još u fazi razvoja.

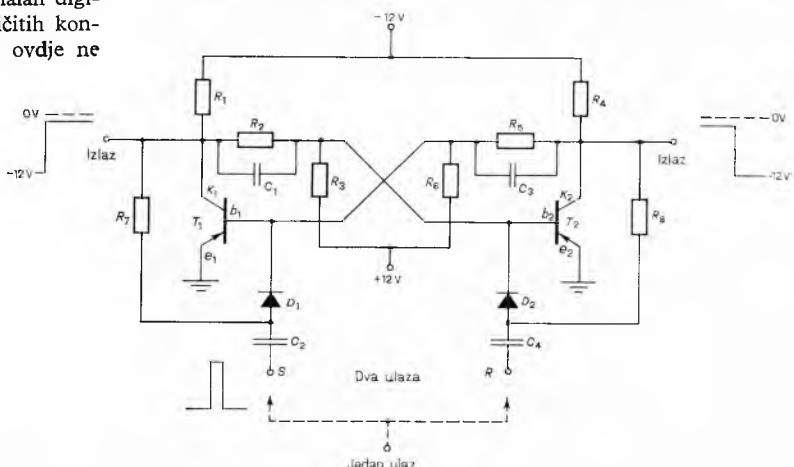
Memorije se mogu s obzirom na način ulaska i izlaska informacija podijeliti na paralelne, serijske i mješovite. U paralelnim memorijama informacije se predaju istovremeno svim jedinicama za pamćenje. To traži da do svake jedinice vodi zaseban vod, što iziskuje mnogo elemenata, pa je stoga skupo. Primjer takve memorije predstavljaju matrice s feritnim jezgricama. Serijskim memorijama predaju se podaci jedan za drugim. Primjer takve jedinice za pamćenje je memorija s magnetskom trakom. U mješovite memorije unosi se istovremeno veći broj informacija, od kojih se podaci za svaku pojedinu informaciju upisuju postupno jedan za drugim. Kao primjer za tu vrstu memorije mogu poslužiti magnetski bubnjevi na kojima se podaci upisuju istovremeno na više staza (v. sl. 21).

Karakteristične su veličine za svaku memoriju njezin kapacitet i vrijeme pristupa (zahvata ili traženja). Kapacitet se izražava brojem riječi što ga memorija može zapamtiti. Uz to može se naznačiti još i broj bita u riječi. Ako kažemo, npr., da neka memorija može pamtit 8192 riječi od kojih svaka sadrži 11 brojeva po 4 bita, to znači da takva memorija može pamtit 90112 znakmenki ili 360 448 bita. (To odgovara memoriji Iskrinog računala Z-23, v. sl. 39.) Vrijeme pristupa zavisi od tipa i vrste memorije. Na osnovu toga dijeli se memorije na brze i spore. Vrijeme pristupa brzih i paralelnih memorija kreće se, zavisno od vrste memorije, između  $10^{-9}$  i  $10^{-8}$  sek, a sporih i serijskih memorija između  $10^{-8}$  i  $10^{-1}$  sek.

Da bi podaci koji dolaze iz memorije pridolazili u pravom tempu i stizali u tačno određenom trenutku, kad su potrebni za izvršenje računske operacije, mora i rad memorije biti tačno sinhroniziran s računskom jedinicom. O tome se brine sinhronizirajući uredaj svojim impulsima.

Kao što je već ranije rečeno, postoji velik broj različnih memorija koje se u računalima upotrebljavaju za pamćenje riječi. Ovdje ćemo opisati samo neke najznačajnije.

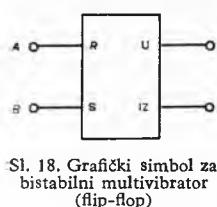
Među električke sklopove idu prvenstveno *bistabilni multivibratori*, koji su izrađeni u starijim uredajima s pomoću elektronki, a u novijim uredajima rade s pomoću tranzistora. Ponekad se nazivaju tijedaji i »flip-flopom«, prema anglo-američkom nazivu. Svi bistabilni multivibratori sastoje se od dva jednakih i među sobom simetrički spojena električna kruga. Dok jedan od njih provodi struju, drugi je zatvoren. Prebacivanje iz jednog stanja u drugo vrši se s pomoću vanjskih impulsa koji se šalju kroz ulaze  $S$  ili  $R$ . Uredaj prebačen u jedno od dva stabilna stanja ostaje u tom stanju dok ga novi vanjski impuls ne prebaci u drugo stanje.



Sl. 17. Primjer bistabilnog multivibratora s tranzistorima

Takav uređaj je dakle kada da privremeno pamti jedan binarni znak, 0 ili 1. Na njegovom izlazu pojavljuje se za vrijeme trajanja takvog stanja napon koji odgovara u jednom slučaju bitu 1, a u drugom bitu 0.

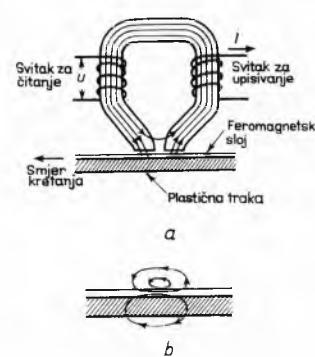
Slika 17 prikazuje primjer sheme takvog bistabilnog multivibratora sa tranzistorima PNP. Detalji o takvim uređajima iznijeti su u članku *Impulsna tehnika*. Ovdje će se objasniti uređaj samo u grubim crtama. Pretpostavimo da u trenutnom stanju tranzistor  $T_2$  provodi struju. Zbog pada napona na otporniku  $R_4$  vladat će na kolektoru  $k_2$  napon blizak nuli, a kroz  $T_2$  teći će struja zasićenja. Kolektorski napon prenosi se sa  $k_2$  preko otpornika  $R_5$  na bazis  $b_1$  tranzistora  $T_1$  i zatvara ga. To je ujedno i osnovno stanje (0) bistabilnog multivibratora. Ako na ulaz  $S$  damo pozitivan impuls od nekih +12 V, taj će napon preko kondenzatora  $C_2$  i diode  $D_1$  kratkotrajno zavladati na bazisu  $b_1$  i ukopčati tranzistor  $T_1$ . Zbog toga će narasti napon na kolektoru  $k_1$  otprilike na 0, što će preko  $R_2$  djelovati na bazis  $b_2$ , zaustaviti struju kroz tranzistor  $T_2$ , i time uspostaviti drugo stabilno stanje (1). Pozitivni impuls na ulazu  $R$  vratić će uređaj opet u osnovno stanje. Dioda na ulazima sprečava povratnu struju. Umjesto dva ulaza može postojati i samo jedan, kao što je to crtkano prikazano.



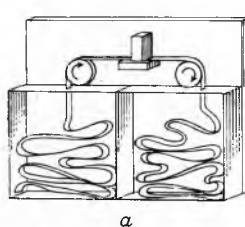
Sl. 18. Grafički simbol za bistabilni multivibrator (flip-flop)

Kako elektronski bistabilni sklopovi rade vrlo brzo, u djelićima mikrosekunda, to se oni upotrebljavaju kao sklopni uređaji a ponekad i kao memorija u registrima, a rijed u glavnim memorijama računala, jer ih tamo treba mnogo, a skupi su. Simbolički znak za takav uređaj pokazuje sl. 18. Bistabilni multivibratori mogu da posluže i kao sklopni, odn. logički uređaji.

*Magnetske trake* idu među najjednostavnije memorije i one se vrlo često upotrebljavaju kao glavne ili dodatne jedinice za pamćenje. One rade u principu na isti način kao magnetofoni sa magnetskom trakom (v. *Elektroakustika*). Dok se od magnetofonske trake traži da ispravno registrira zvučne titraje do nekih 15 kHz, memorija sa magnetskom trakom mora zapisati i pročitati i do milijuna bita u sekundi (sl. 19). Informacije se ubacuju na traku na koju je nanijet tanak sloj feromagnetskog materijala, s pomoću glave za upisivanje kojom se magnetizira magnetski materijal u vidu tankih nevidljivih magnetiziranih crtica. Za čitanje služe iste ili zasebne glave u kojima se prilikom prolaza magnetiziranih površina inducira naponski impuls koji se vodi preko pojačala u računalu. Širina trake s jednom stazom iznosi ~ 12 mm. Ukoliko je uređaj predviđen za rad sa više staza — obično se upotrebljava i do 7 staza — vrpca je znatno šira. Da bi se na traci dugoj nekoliko stotina metara mogla pro-



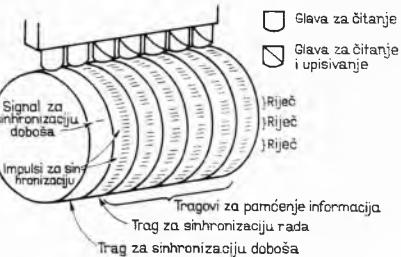
Sl. 19. Princip rada glave za upisivanje i čitanje signalna na magnetskoj traci. a) Glava i traka, b) magnetizirano mjesto na traci



Sl. 20. Uredaj za upisivanje i čitanje magnetske trake; a sa slaganjem trake, b s namatanjem trake

naći određena informacija, stavlja se već u toku programiranja ispred svake informacije adresa. Npr. ako instrukcija glasi: »Izvadi iz adrese 420 rječi s argumentima i prebac i u aritmetičku jedinicu«, uređaj će prilikom odvijanja trake paziti kad naide adresa 420 i brojeve koji slijede odvesti kamo treba. Vrijeme pristupa takvih memorija nešto je duže, jer se vrpca mora najprije odmotati do mjesta tražene informacije, mada ona to čini vrlo brzo (sl. 20). Na jednu traku može se smjestiti i više milijuna binarnih znakova.

*Magnetski bubnjevi* rade na istom principu kao i magnetske trake. Sl. 21 prikazuje načelni izgled takva bubenja, koji se okreće velikom brzinom, ponekad čak i do 20 000 obrtaja u minuti.

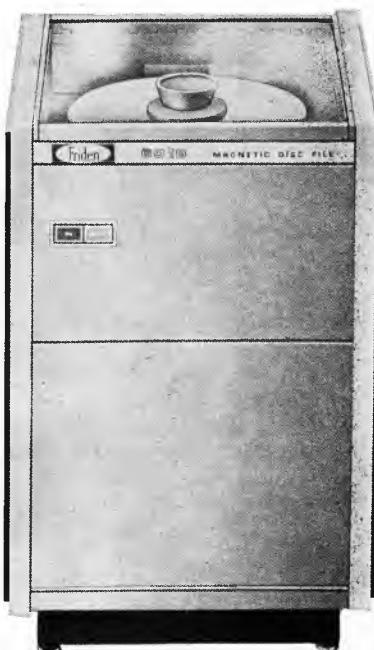


Sl. 21. Čitanje i upisivanje na magnetskom bubenju

Na površini bubenja, koja je također prevučena tankim feromagnetskim slojem, predviđeno je za upisivanje više paralelnih staza, a njima pripada isto toliko glava za upisivanje i čitanje. Na takav bubenj može se smjestiti i do 10 000 binarnih znakova. Kako se bubenj okreće brzo, i vrijeme je pristupa relativno kratko: iznosi u prosjeku svega nekoliko milisekunda. Kapacitet jednog bubenja iznosi nekoliko stotina hiljada bita.

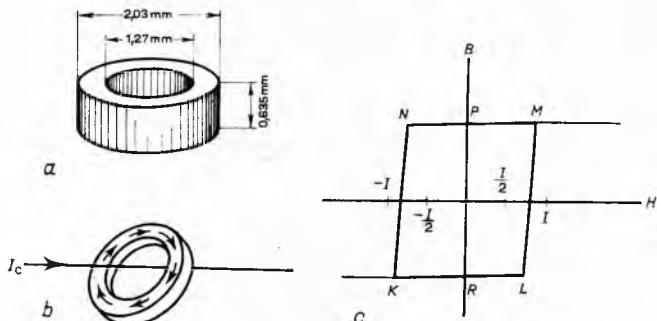
*Magnetski diskovi* rade na istom principu kao bubenjevi. Diskovi koji su obično izrađeni od aluminijumske ploče prekrivene feromagnetskim slojem imaju promjer od ~ 300 mm i mogu se ispisati s obje strane, a može biti predviđeno da se ručno ili automatski izmjenjuju. Magnetski diskovi podijeljeni su na zone (npr. dvije), a zone u pojase (npr. 60). U svaki takav pojaz ili stazu može se upisati ~ 50 digitalnih znakova. Ukupni kapacitet objiju strana takva diska iznosi i do 100 000 binarnih znakova. Diskovi se okreću sa više hiljada obrtaja u minuti. Vrijeme pristupa iznosi samo desetke milisekunda. Danas se magnetski diskovi upotrebljavaju vrlo često, naročito u manjim uređajima, i to kao računska i glavna memorija (sl. 22).

*Memorija s magnetskim jezricama* sastoji se od velikog broja sitnih feritnih prstena oblika i dimenzija otprilike prema slici 23 a. Ti se prsteni magnetiziraju s pomoću provučene žice kroz koju kratkovremeno teče struja. Smjer magnetskog toka u jezgri, u odnosu na smjer struje, vidi se na sl. 23 b. Feromagnetski materijali od kojih se izrađuju takve jezgrice (v. *Magnetizam*) imaju skoro pravokutnu petlju histereze (sl. 23 c, tačke  $K, L, M, N$ ). To će reći, s jedne strane, da će se magnetsko stanje, to jest smjer magnetskog toka, takva prstena promijeniti skokovito čim struja magnetiziranja naraste približno do vrijednosti  $+I$  (skok od  $L$  na  $M$ ) ili do vrijednosti  $-I$  (skok od  $N$  na  $K$ ). S druge



Sl. 22. Memorija s magnetskim diskom

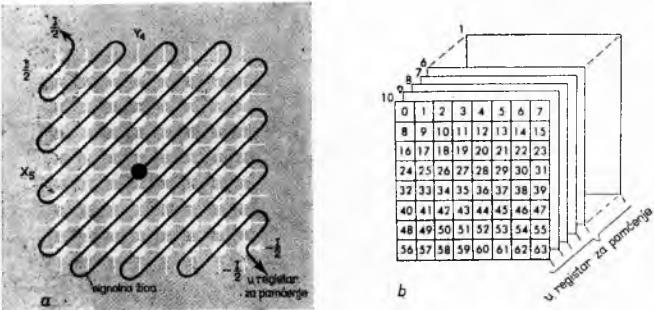
strane preostaje, čim struja magnetizacije nestane, jako velik remanentni magnetizam ( $P$  ili  $R$ ). Upravo s pomoću preostalog magnetizma jezgrica pamti informacije. Svaka jezgrica služi za pamćenje jedne binarne znamenke. Položaj  $P$  odgovara bitu 1, a položaj  $R$  predstavlja stanje mirovanja i odgovara bitu 0. Za



Sl. 23. Magnetske jezgrice za memorije. a Izgled i dimenzije, b smjer magnetskog toka prilikom prolaska struje kroz provučenu žicu, c krivulja histereze za ferite

pamćenje jedne cijele riječi potrebno je, prema tome, toliko jezgrica koliko riječ ima binarnih znamenki.

Magnetske jezgrice postavljaju se u jednoj ravnini u više horizontalnih redova tako da jezgrice svakog reda dolaze jedna ispod druge kao što to shematski prikazuje sl. 24 a. Kroz svaku jezgricu provučene su 3 ili 4 žice. Postoji više načina spajanja jezgrica. Jednostavan način takva spajanja prikazan je na sl. 24 a. Kroz sve jezgrice svakog horizontalnog reda provučena je po jedna horizontalna žica ( $X$ ), kroz svaki vertikalni red po jedna vertikalna žica ( $Y$ ). Sve ove žice  $X_1$  do  $X_n$  i  $Y_1$  do  $Y_n$  služe za magnetiziranje jezgrica. Da bi se magnetizirala neka određena jezgrica u polju (označena crno u slici) šalje se pola struje kroz žicu  $X_5$ , a druga polovica kroz žicu  $Y_4$ . Struja  $I/2$  koja teče kroz jednu žicu nije dovoljna za premagnetiziranje jezgrica, ali struje objiju žica koje prolaze kroz istu jezgricu — a to je samo ta jezgrica koju treba magnetizirati — stvorit će dovoljno jako magnetsko polje za prepolarniziranje feritne jezgrice. Slanjem struje  $I/2$  kroz jednu horizontalnu i jednu vertikalnu žicu vrši se dakle izbor jedne određene jezgrice. Kroz sve jezgrice povučena je još i treća, tzv. signalna žica. U trenutku skokovitog prelaza iz jednog magnetskog stanja u drugo, promjena magnetskog polja inducira u toj žici naponski impuls, koji se nakon pojačanja vodi u druge organe. Da ti impulsi ne bi izlazili u prilikom unošenja podataka u memoriju, u krug ove žice ubaćena je dioda koja propušta samo prilikom vađenja podataka. Za brisanje magnetskog stanja i vraćanje jezgrica u osnovno stanje služi ponekad zasebna, četvrta žica, kroz koju prolazi struja  $-I$ . Ali u vezi s time postoje i različite druge kom-



Sl. 24. Memorija s magnetskim jezgricama. a Razmještaj i označenje jezgrica u jednoj ravni, b razmještaj jezgrica u memoriji

binacije. Više polja jezgrica, koja nazivamo i *matricama*, smještaju se u računalu jedna pored druge, kao što to shematski prikazuje slika 24 b.

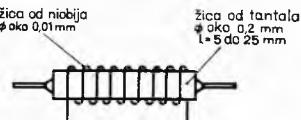
Prilikom izuzimanja podataka memorija s jezgicama se isprazni. Ukoliko je potrebno da se neki podatak pamti i nadalje, jezgrice se moraju odmah po »pražnjenju« ponovo premagnetizirati.

*Memorije sa zadržnim ili usporavajućim vodom* su uređaji u kojima se električni impulsi, koji predstavljaju informaciju izra-

ženu bitovima, pretvaraju s pomoću magnetostriktičkih ili piezoelektričkih pretvornika u mehaničke titraje koji se šire kroz vod za usporavanje, npr. žicu od nikla ili cijev napunjenu živom, u kome je brzina širenja relativno mala. Na drugom kraju takva voda se mehanički titraji pretvaraju u električne titraje, pojačavaju i opet šalju u ulazni pretvornik. Jednom tako umjetna informacija kruži u krugu koji sačinjavaju: vod za usporavanje, izlazni pretvornik, pojačalo, ulazni pretvornik, vod za usporavanje. Da informacija prevali taj cijeli put, potrebno je nekoliko milisekunda. Za dobivanje informacije iz ovog kruga predviđen je poseban uređaj. U modernim uređajima se zadržni vodovi sa niklom još primjenjuju ali zadržni vodovi sa životom više se ne upotrebljavaju.

*Memorije s električnim naboјima* slične su katodnim cijevima. Umjesto zaslona takve cijevi imaju izoliranu površinu na koju se s pomoću zrake elektrona na određeno mjesto dovedu električni naboјi. Tačke s naboјem i bez njega predstavljaju pojedine binarne znamenke informacije. Ako elektronskom zrakom ponovo pretražimo neku tačku radi utvrđivanja ima li na njoj naboјa ili ne, u slučaju da postoji naboј doći će do sekundarne emisije i stvaranja električkog impulsa. Ove memorije se u suvremenim uređajima više ne upotrebljavaju.

*Memorije na principu supravodljivosti*. Supravodljivošću niziva se pojava da neke tvari, npr. tantal, niob-arsenit i dr., gube na dovoljno niskim temperaturama, u blizini apsolutne nule ( $0\text{ }^{\circ}\text{K}$ ), sav svoj električki otpor i postaju beskonačno supravodljive. Temperaturni prag na kojem nastupa ova pojava zavisi još i od magnetskog polja u kome se takav vodič nalazi. Osnovni sastavni dio u kojem se ta pojava iskoristi za memoriju naziva se kriotron. To je  $5\text{--}25\text{ mm}$  duga žica od tantala preko koje je namotan svitak tanje žice od, npr., nioba. Niob prelazi u supravodljivo stanje već na  $9,9\text{ }^{\circ}\text{K}$ , a tantal na  $4,4\text{ }^{\circ}\text{K}$ . Ako se za hlađenje upotrijebi tekući helijum, koji kod isparavanja pri pritisku 1 at ima temperaturu od  $\sim 4,2\text{ }^{\circ}\text{K}$ , ova metala prelaze u supravodljivo stanje s vremenom  $\sim 0,2\text{ }^{\circ}\text{K}$  iznad temperature ključanja helijuma. Djeđovanjem već relativno slabog magnetskog polja može se tantal opet vratiti u stanje normalne vodljivosti i na taj način može se upravljati jачinom struje koja teče kroz kriotron. Pri tom smjer struje u svitku, odnosno smjer magnetskog polja, nema utjecaja. Od više takvih elemenata sastavljuju se memorije i logičke jedinice slične bistabilnom multivibratoru. Kriotroni služe u tim jedinicama kao bistabilni, pobudni i izlazni sklopovi. Takvi elementi mogu se, dakle, nalaziti u dva stabilna stanja: u stanju supravodljivosti i u stanju normalne vodljivosti.



Sl. 25. Shematski prikaz kriotrona

Struja koju daju na svom izlazu supravodljivi elementi dosta je velika i ne treba je više pojačavati, što je znatna prednost.

Za održavanje tako niskih temperatura potreban je tekući helijum. Primjena uređaja za pravljenje tekućeg helijuma isplati se samo kod većih digitalnih računskih uređaja. Pored mnogih dobrih strana imaju takve čelije i nedostatak što im je relativno dugo vrijeme pristupa.

Pored opisanih sistema postoje još i drugi uređaji koji rade na električnom, dielektričnom ili magnetskom principu. Od magnetskih memorija valja spomenuti feritne pločice i jezgrice sa više provrta, transfluksoare i tankoslojne (thin film) memorije.

#### UPRAVLJAČKA JEDINICA

Upravljačka jedinica vodi odvijanje računskih operacija na osnovu instrukcija tako da se operacije izvršavaju u ispravnom redoslijedu i u skladu jedna s drugom. Ta jedinica se sastoji od uređaja za dekodiranje instrukcija i generatora signala za upravljanje. Uredaj za dekodiranje sadrži još i registar instrukcija i registar tekućih adresa. Postoje znatne razlike u konstrukciji i veličini upravljačke jedinice različitih vrsta računala. Upravljačke jedinice sastavljene su, kao i aritmetičke jedinice, od logičkih elemenata i od elemenata memorije.

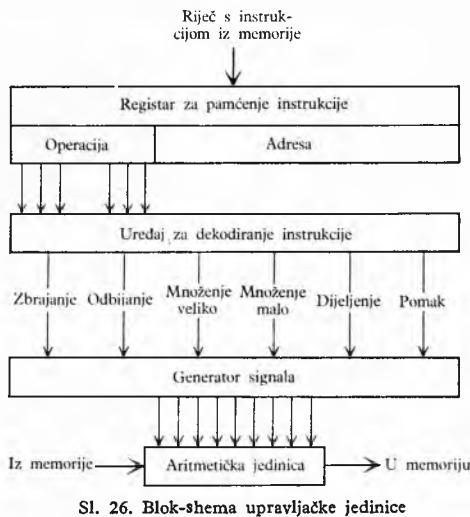
Upravljačka jedinica je samo izvršilac naredenja što ih sadrže pojedine instrukcije programa. Zbog toga je potrebno da se prije

početka rješavanja nekog problema pošalje u memoriju računala kompletan program, s time da instrukcije budu unijete u ispravnom redoslijedu. O programu i instrukcijama v. članak *Digitalna računala, programiranje*, ali radi boljeg razumijevanja treba već ovdje reći da instrukcije sadrže: kodirano naredenje za izvođenje određene računske operacije, adrese argumenata s kojima treba provesti operaciju (operanda), adresu u koju treba smjestiti rezultat i adresu memorije u kojoj se nalazi iduća instrukcija. Instrukcije dakle nikad ne sadrže argumente, već samo njihove adrese. Koliko će podataka i koliko adresa biti u riječi koja sadrži instrukcije zavisi od dužine riječi dotičnog računala i njegove konstrukcije.

Upravljačka jedinica izvršava naredenja onim redoslijedom kojim su instrukcije smještene u memoriji. Taj redoslijed se može prekinuti ili izmijeniti s komandnog pulta, ako se dà naredenje za preskok na neko drugo mjesto u programu ili za prelazak na neki drugi program.

U nastavku se opisuje u glavnim crtama kako se odvija rad u upravljačkoj jedinici (sl. 26). S pomoću registra tekuće adrese traži se nova instrukcija. Ona se dovodi u registar instrukcija gdje se pamti. Bitovi koji predstavljaju kodirano naredenje za određenu matematičku operaciju, npr. »izvrši zbrajanje«, vode se u uređaj za dekodiranje, a adresni dio instrukcije služi zato da riječ s operandom iz naznačene adrese bude prebačena u registarsku memoriju aritmetičke jedinice. Prema tome tri osnovne funkcije registra instrukcijâ i registra adresâ jesu: određivanje adrese koja je potrebna u idućoj fazi, praćenje i upravljanje normalnim slijedom radnji instrukcije i eventualno preskok i prelaz na anomalni slijed instrukcijâ. Pri kraju svake faze adresni registar izračunava novu adresu instrukcije a registar instrukcijâ se vraća u osnovni položaj.

Upravljanje nekom aritmetičkom operacijom počinje u uređaju za dekodiranje. Ulazni signal za taj uređaj čine bitovi iz registra instrukcija. Na osnovu primljenog naredenja, npr. »izvrši množenje«, dekoder daje određeni signal za predviđenu operaciju. Svaka komplikiranija operacija sastoji se od više faza, npr. za dijeljenje može biti potrebno i više od 20 faza. Jednostavnii signali, koji ne traže više faza rada, idu pravo u aritmetičku jedinicu, naredenja za složenije operacije idu prethodno u generator signala koji ima zaseban ulaz za svaku pojedinu operaciju i koji daje za aktiviranje pojedinih sklopova u aritmetičkoj jedinici signale tačno raspoređene po fazama rada.



Sl. 26. Blok-sHEMA upravljačKE JEDINICE

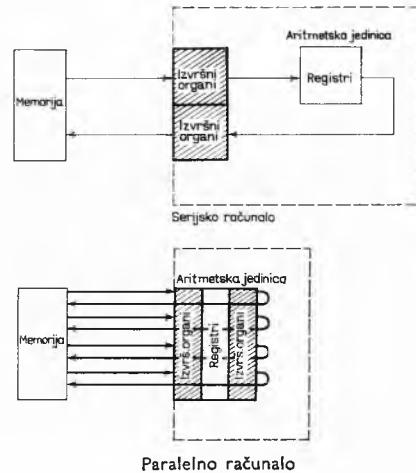
Osim toga što treba u računalu tačno sinhronizirati pojedine faze, valja i radu računala dati određen tempo rada, u kojem će se izvršiti pojedine radnje. Jedna faza za drugom izvršava se npr. svakih nekoliko mikrosekunda. Za upravljanje tempom služi specijalni satni oscilator od npr. 1 MHz, koji svojim impulsima regulira brzinu rada i time uskladije rad cijelog računala preko upravljačke jedinice.

Takva računala nazivamo sinhronim računalima. U tzv. asinhronim računalima služe za vremensko uskladivanje rada zadržni

vodovi, preko kojih završetak jedne radne faze pokreće izvršenje iduće instrukcije.

#### ARITMETIČKA JEDINICA

Aritmetička jedinica je dio računala koji vrši računske operacije s brojevima. Ona prima operande, tj. brojeve s kojima treba izvršiti neku računsку operaciju, neposredno iz glavne memorije, a naredenja za izbor određene računske operacije i naredenja za njezino izvršenje prema instrukciji stižu joj posredno, iz upravljačke jedinice. Aritmetička jedinica se sastoji od logičkih sklopova i internih memorija koje nazivamo *akumulatorom* i *registrima*.



Sl. 27. Blok-shema serijskog (gore) i paralelnog (dolje) računala

Normalno se prebacuje iz memorije u računalo odjednom samo jedna riječ koja sadrži argument (sl. 27). U serijskim računalima ta se riječ prenosi bit po bit u tekućem slijedu. U paralelnim računalima prebacuju se odjednom svi bitovi jedne riječi iz memorije u registar i obratno. Na taj isti način obavljaju se i računske operacije. U serijskim uređajima je za izvršenje određene operacije dovoljan samo mali broj računskih organa, koji je nezavisan od broja mjestâ operandâ. Ovakvi uređaji su stoga manji i jeftiniji, ali njihov rad traje dulje. Paralelna računala moraju imati toliko logičkih i memoriskih jedinica koliko operand ima mesta. Stoga takvi uređaji rade znatno brže od serijskih, ali su i mnogo veći i skuplji. Postoje i mješoviti, serijsko-paralelni sistemi.

Operandi kojima se vrše računske operacije izraženi su s pomoću binarnih brojeva ili binarno kodiranih decimalnih brojeva. Stoga se mora u računalima primjeniti i binarna aritmetika. Ovdje se dakle ne radi više o računskim operacijama u običnom smislu, niti se govori više o brojevima, već o nekontinuiranim ili diskretnim promjenljivim veličinama kojima se bavi posebna disciplina matematike, tzv. Booleova algebra simboličke logike (v. Logika). Da bi se mogao shvatiti rad aritmetičke jedinice, njenih logičkih organa i internih memorija, treba se najprije ukratko upoznati s osnovama algebre logike i njezinim najvažnijim funkcijama.

**Algebra logike.** Pri računanju binarnim brojevima ne upotrebljavaju se oni računski postupci koji se primjenjuju pri radu s decimalnim brojevima, već se upotrebljavaju računske operacije algebre logike, koje nisu istovjetne sa četiri osnovne operacije što ih vršimo s decimalnim brojevima. Tri osnovne funkcije algebre logike s pomoću kojih se mogu izraziti i sve ostale logičke funkcije i provesti sve osnovne matematičke operacije jesu: *negacija*, *konjunkcija* i *disjunkcija*. Prema tome moraju i logički skloovi od kojih su sastavljene računske jedinice digitalnih računala, a s pomoću kojih se vrše sve logičke računske operacije, imati svojstva tih osnovnih funkcija algebre logike i posjedovati dvovrednosna, a memorije i bistabilna stanja. Postoji mnogo mehaničkih i električkih sklopova i sastavnih dijelova koji imaju takva svojstva. Oni mogu raditi na čisto mehaničkom, elektromehaničkom, električkom ili elektroničkom principu. Ovamo idu

T a b l i c a 4  
PRIMJERI ELEKTRIČNIH SKLOPOVA ZA OSTVARENJE TRIJU OSNOVNIH LOGIČKIH FUNKCIJA

Realizacija s pomoću:	releja	dioda	tranzistora	elektronki
Funkcija:  Negacija, inverzija (NE-funkcija)		—		
Konjunkcija (I-funkcija)			—	
Inkluzivna disjunkcija (ILI-funkcija)				

npr. pneumatski mehanizmi, elektromehanički i električni releji, skloovi s elektronikama, tranzistorima i diodama.

Valja imati na umu da Booleove funkcije u svojoj suštini predstavljaju samo logičko rezoniranje o tome da li je neka tvrdnja tačna ili ne. U računalima je broj pretpostavki o kojima se raspravlja malen, jer su tu prvenstveno posrijedi samo naponi koji vladaju na ulazima u neki logički organ, jer su sve riječi s argumentima i instrukcijama predstavljene sljedovima dvaju različitih napona (0 i 1). Prema tome će se u računalu postaviti npr. pitanje: »Da li na ulazu  $A$  nekog logičkog organa vlada ili ne vlada napon od 1 V?« i računalo daje kao odgovor tvrdnju: »u  $A$  vlada napon od 1 V« ili »u  $A$  ne vlada napon od 1 V«. Umetanjem riječice NE u neku tvrdnju i riječice I ili ILI između dvije tvrdnje dobivaju se iz jednih tvrdnja nove tvrdnje (postavke), dobivaju se različite logičke funkcije prvo bitnih argumenata. Tako npr. predstavlja primjer disjunktivne funkcije tvrdnja: »Ako na ulazu  $A$  ILI na ulazu  $B$  nekog logičkog organa vlada napon od 1 volta, taj će napon vladati i na njegovom izlazu«.

Simbolički znakovi što se primjenjuju u algebre logike ponešto odstupaju od uobičajenih računskih simbola. Osnovne postavke, tj. osnovne promjenljive, označavaju se obično velikim početnim slovima abecede:  $A$ ,  $B$ , itd., za kombinirane postavke pišemo obično posljednja velika slova abecede:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , ili pak  $f(A, B)$ .

Nakon ovog općeg uвода obradit ćemo detaljnije tri osnovne funkcije logike: negaciju, konjunkciju i inkluzivnu disjunkciju, i razmotriti električne ili elektroničke sklopove kojima se one mogu u praksi realizirati. Pregled takvih električnih i elektroničkih naprava prikazuje tablica 4.

*Negacija* (NE-funkcija) je funkcija algebre logike koja ima uvijek vrijednost suprotnu, tj. komplementnu, vrijednosti argu-

menta. Negacija se označava crticom iznad argumenta pa je  $f_{\text{neg}}(A) = \bar{A}$ . Prema tome, ako je  $A = 1$ , funkcija negacije je  $\bar{A} = 0$ , a ako je  $A = 0$ , negacija iznosi  $\bar{A} = 1$ . Grafički simbolički znakovi koji se upotrebljavaju za funkciju negacije i za naprave kojima se može iz promjenljive dobiti njezina negacija prikazani su na sl. 28.

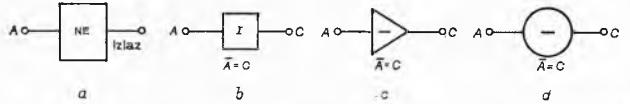
Iz prvog reda tablice 4 vidi se da se funkcija negacije može realizirati s pomoću naprava koje sadrže releje s mirnim kontaktom, tranzistore ili elektronke. Pozitivni impuls (1) aktivira preko ulaza  $A$  reljef  $R$  koji zbog toga privuče svoju kotovicu i time otvori mirni kontakt  $r$ . Time pozitivni napon, koji je dotada vladao na izlazu, spadne na nulu. Isto tako će pozitivan impuls na bazisu NPN-tranzistora otvoriti tok struje kroz tranzistor, pa će zbog pada napona na otporniku  $R$  na izlazu zavladati negativni napon, čime se dobiva na izlazu impuls suprotnog smisla. Slično i pozitivni impuls na ulazu sklopa s elektronkom daje na izlazu negativan impuls.

*Konjunkcija* (I-funkcija) je funkcija dvaju argumenata. Ona ima vrijednost 1 samo ako su i jedan i drugi argumenat jednaki 1. Sva četiri slučaja koja mogu da nastupe na konjunktivnim sklopo-vima ( $a$  do  $d$ ) prikazuje tablica 5.

Tablica 5

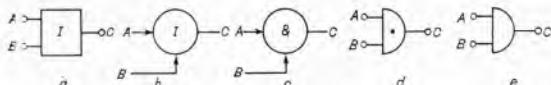
	$a$	$b$	$c$	$d$
Ulaz $A$	0	1	0	1
Ulaz $B$	0	0	1	1
Izlaz $X$	0	0	0	1

Konjunkcija se označava simbolom »·« ili »&«. Prema tome je  $f_{\text{kon}}(A, B) = A \cdot B = A \& B$ . Simbolički znak za funkciju konjunkcije i za prikazivanje konjunktivnog sklopa prikazan je na sl. 29. Za izvršenje logičke operacije koja odgovara funkciji konjunkcije mogu se upotrijebiti različite naprave s reljima, diodama, tranzistorima ili elektronikama, od kojih su nekoje prikazane u



Sl. 28. Grafički simboli za negaciju. a) Simbol za funkciju negacije, b...d) simboli za prikazivanje logičkih uređaja negacije

drugom redu tablice 4. Radni kontakti  $r$  i  $s$  releja  $R$  i  $S$  vezani su u seriji. Na izlazu dobit će se pozitivan napon (1) samo kad se zatvore oba kontakta, što će se desiti kad se i na ulazu  $A$  i na ulazu  $B$  pojavi pozitivan napon (1), koji će aktivirati oba releja istovremeno.



Sl. 29. Grafički simboli za konjunkciju.  $a, b, c$  Simboli za funkciju konjunkcije,  $d, e$  simboli za logičke uređaje konjunkcije

Nadalje, obje diode propuštaju struju samo u smjeru strelice. Dok na ulazima  $A$  i  $B$  vlada napon nula (0), struja koja teče preko otpornika  $R$  stvarat će na njemu pad napona, zbog čega će na izlazu vladati niski napon (0). Čim se pojavi na oba ulaza pozitivan napon (1) jednak naponu izvora  $U$ , struja prestaje teći, nestaje pad napona i na izlazu se pojavljuje pozitivan napon izvora (1).

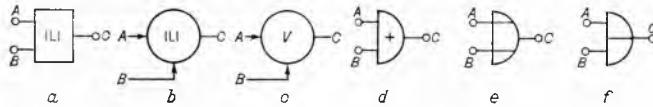
Da bi se postigla konjunkcija sklopom s elektronikama ili tranzistorima, potreban je komplikiraniji sklop. U tabl. 4 prikazan je kao primjer sklop s elektronikama. Anode izlaznih elektronika  $E_3$  i  $E_4$ , na koje je spojen izlaz, vezane su na zajednički otpornik  $R_s$ . Dok bar jedna od njih propušta struju, na izlazu će, zbog pada napona na otporniku  $R_s$ , vladati niži napon  $U(0)$ . Međutim, čim nijedna od elektronika  $E_3$  i  $E_4$  više ne propušta struju, izlazni napon naraste na vrijednost  $U(1)$ . Zatvaranje izlaznih elektronika vrše elektronike  $E_1$  i  $E_2$  inverzijom pozitivnih ulaznih napona  $U(1)$ .

*Inkluzivna disjunkcija* (ILI-funkcija) je također funkcija dvaju argumenta  $A$  i  $B$ . Ona je jednaka 1 samo kad je bar jedan od oba argumenta (jedan ili oba) jednak 1. Svi mogući slučajevi koji mogu nastupiti na disjunktivnim sklopovima ( $a$  do  $d$ ) prikazani su u tabl. 6.

Tablica 6

	$a$	$b$	$c$	$d$
Ulaz $A$	0	1	0	1
Ulaz $B$	0	0	1	1
Izlaz $X$	0	1	1	1

Simbolički se disjunkcija označava znakom »+« ili » $\vee$ «, pa je  $f_{dis}(A, B) = A + B = A \vee B$ . Grafičke simbole za disjunktivne funkcije i za disjunktivni sklop prikazuje sl. 30. (Znak  $\vee$  je



Sl. 30. Grafički simboli za disjunkciju.  $a, b, c$  Simboli za funkciju disjunkcije,  $d, e, f$  simboli za logičke uređaje disjunkcije

potjeće od lat. »vel«, što znači »ili« u inkluzivnom smislu, tj. u smislu i/ili.)

Za izvršenje logičkih operacija koje odgovaraju funkciji disjunkcije mogu se upotrijebiti sklopovi s relejima, diodama, tranzistorima i elektronikama. Nekoliko takvih sprega prikazano je u poslijednjem retku tablice 4. Radni kontakti  $r$  i  $s$  releja  $R$  i  $S$  spojeni su paralelno. Na izlazu dobiva se pozitivan napon (1) kad se pojavi pozitivan napon na bilo kojem od ulaza  $A$  ili  $B$ . Prikluči li se pozitivan napon (1) na ulaz  $A$  ili  $B$  diodnog sklopa, struja će teći u smjeru strelice i na otporniku  $R$  pojavljuje se pad napona, što ima za posljedicu pozitivan napon na izlazu. Ako se na ulaze  $A$  ili  $B$  tranzistorskog PNP-sklopa sa dva paralelna PNP-tranzistora priključi negativan napon, proteći će kroz dotični tranzistor struja, na otporniku  $R$  pojavit će se pad napona, a na izlazu negativan napon. Isto tako dobit će se na izlazu sklopa sa dvije paralelne elektronike pozitivan napon zbog pada napona na otporniku  $R$  kad se na rešetku jedne ili druge elektronike priključi pozitivan napon.

Osim spomenutih triju osnovnih logičkih funkcija ima i drugih (ukupno ih se, zajedno s osnovnim, navodi 16), ali se svaka od njih može prikazati kombinacijom nekih od triju osnovnih funkcija. Ovdje će se navesti još jedna funkcija koja se primjenjuje u digitalnom računalu: ekskluzivna disjunkcija.

*Ekskluzivna disjunkcija* (ekskluzivna ILI-funkcija) je funkcija dvaju argumenta  $A$  i  $B$ . Ona ima vrijednost 1 samo ako *ili A ili B* ima vrijednost 1 (*ne oboje!*). (To značenje izražava latinska riječ »aut« za »ili«.) Tablica 7 prikazuje slučajevi koji mogu nastupiti na ekskluzivnodisjunktivnim sklopovima.

Tablica 7

	$a$	$b$	$c$	$d$
Ulaz $A$	0	1	0	1
Ulaz $B$	0	0	1	1
Izlaz $X$	0	1	1	0

Simbolički se ekskluzivna disjunkcija označava znakom  $\nabla$  ili  $\leftrightarrow$ .

Logički sklopovi opisani su podrobnije u članku *Impulsna tehnika*.

Osnovne računske operacije s pomoću funkcija algebre logike vrše se, naravno, na nešto drukčiji način nego s pomoću decimalnih brojeva, ali se može odgovarajućom kombinacijom logičkih funkcija izvesti bilo koja osnovna matematička operacija.

**Računske operacije s binarnim brojevima.** U računalima izvode se četiri osnovne aritmetičke operacije, na koje se prilikom programiranja svode i sve ostale komplikiranije računske radnje. Te operacije ne izvode se računalima na isti način kao s decimalnim brojevima, već se vrše s pomoću binarnih brojeva i postupaka algebre logike. Razmotrit ćemo ukratko kako se odvijaju te računske operacije i kakvi su logički sklopovi koji u različitim vrstama računala služe za tu svrhu.

*Zbrajanje binarnih brojeva* vrši se olovkom na analogan način kao zbrajanje decimalnih brojeva, s time da se ovdje mora izvršiti prijenos na više mjesto kad se zbroj popuni na binarno 10 (= decimalno 2). Za binarne brojeve važi naime da je:  $0 + 0 = 0$ ,  $0 + 1 = 1$ ,  $1 + 0 = 1$  i  $1 + 1 = 10$  (binarno). Zbrajanje brojeva 25 i 26 izgledalo bi u binarnom sistemu ovako:

$$\begin{array}{r} 11001 \text{ (= decimalno 25)} \\ + 11010 \text{ (= decimalno 26)} \\ \hline 110011 \text{ (= decimalno 51)} \end{array}$$

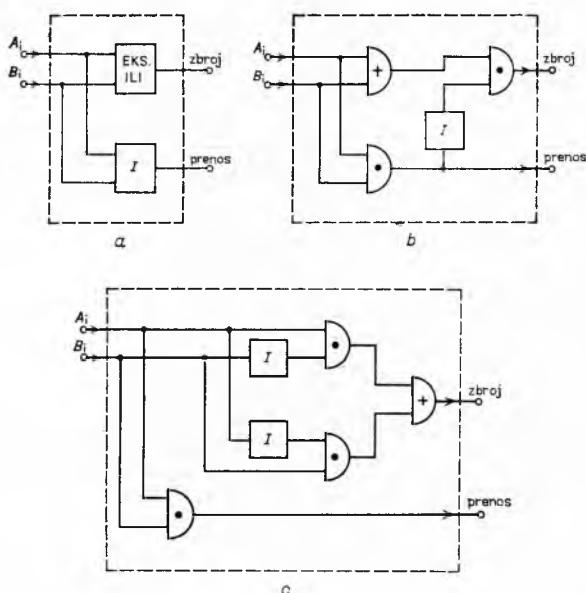
Zbrajanje u računalima uz primjenu funkcije logike izvodi se drukčije. Razmotrit ćemo najprije koje sve vrijednosti može imati zbroj dviju binarnih znamenki  $A$  i  $B$  na bilo kom mjestu nekog broja.

Tablica 8

$A$	$B$	Zbroj	Prijenos
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	10	1

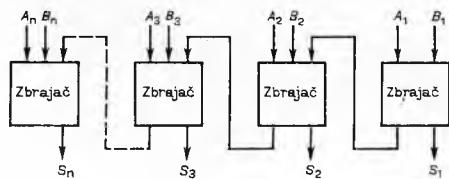
Iz prednje se tablice vidi da ona odgovara (za zbroj) tablici ekskluzivne disjunkcije. Sklop kojim se može takva funkcija realizirati dobiva se kombinacijom sklopa s karakteristikom disjunkcije i sklopova s karakteristikom drugih osnovnih logičkih funkcija. Nadalje se vidi iz podataka tabl. 8 da se bit 1 pojavljuje kao prenos jedino u slučaju kad su obje promjenljive  $A$  i  $B$  jednake 1. Iznos prenosa može se dakle dobiti sklopom koji ima karakteristike konjunktivne funkcije (v. tabl. 5). Računski sklop koji ima karakteristike ekskluzivne disjunkcije i konjunkcije može dakle poslužiti za zbrajanje, a naziva se *poluzbrajačem* ili *polusumatorom*. Postoji više izvedbi polusumatora; slika 31 pokazuje dvije moguće spreme.

Da bi se binarne brojke svakog mesta mogle po redu zbrajati, potrebno je zbroju tekućih dviju brojaka dodati još i prenos sa prethodnog mesta. Prvi dio zadatka vrši prvi polusumator,



Sl. 31. Poluzbrajač. a Princip rada b, c dvije izvedbe poluzbrajača kombinacijom osnovnih sklopova

a drugi dio zadatka, drugi polusumator. Oba polusumatora predstavljaju jednu jedinicu koja se zajedno naziva *sumatom* ili *zbrajačem*. U paralelnim računalima se sumatori spajaju paralelno, pa ih u tom slučaju ima koliko i mjestâ (sl. 32). Serijska računala imaju samo jedan sumator, kroz koji prolaze brojke svakog broja po redu zdesna naljevo.



Sl. 32. Zbrajanje u paralelnom računalu. Za svako mjesto postoji zaseban zbrajač, a svi rade istovremeno uz prenošenje

Odbijanje binarnih brojeva vrši se po pravilu:  $0 - 0 = 0$ ,  $1 - 0 = 1$ ,  $1 - 1 = 0$  i (binarno)  $10 - 1 = 1$ . Ako za računanje olovkom uzmemmo kao primjer opet dva ista decimalna broja 26 i 25, dobivamo:

$$\begin{array}{r} 11010 \text{ (= decimalno 26)} \\ - 11001 \text{ (= decimalno 25)} \\ \hline 00001 \text{ (= decimalno 1)} \end{array}$$

Da bi se mogao upotrijebiti isti organ računala za zbrajanje i za odbijanje, u računalima se odbijanje obično ne vrši direktno, već zbrajanjem minuenda i komplementa suptrahenda s time da se prenos koji ostane na posljednjem mjestu (prvom slijeva) pribroji prvom mjestu (zdesna) kao što to pokazuje ovaj primjer:

$$\begin{array}{r} \text{minuend} & 11010 \text{ (= decimalno 26)} \\ \text{komplement} & \\ \text{suptrahenda} + & 00110 \\ & \hline [1]00000 \\ & + \longleftarrow 1 \\ \text{rezultat} & 00001 \end{array}$$

Komplement se dobiva tako da se u suptrahendu na mjesto svakog bita 0 stavi 1, a na mjesto svakog bita 1 bit 0. U računalima dobiva se komplement obično s pomoću sklopa za inverziju npr. tako da se na jedan ulaz spregi s karakteristikom funkcije ekskluzivnog ILI daje uvijek 1. Za odbijanje je dakle potrebno predvidjeti odgovarajuće organe za komplementiranje u memoriji registra koji sadrži suptrahend. Da bi se postojeći sumator mogao upotrijebiti za odbijanje, potrebno je predvidjeti u prvom zbrajaču (pri paralelnom radu) spregu za zbrajanje ostatka sa posljednjem mjestu, kao što to prikazuje sl. 33.

*Množenje binarnih brojeva* vrši se prema ovoj tablici množenja:  $0 \times 0 = 0$ ,  $0 \times 1 = 0$ ,  $1 \times 0 = 0$  i  $1 \times 1 = 1$ . Olovkom se binarni brojevi množe slično kao decimalni. U računalima može se množenje izvesti na više načina. Mi ćemo ovdje opisati množenje na principu uzastopnog zbrajanja uz pomicanje mesta; taj se način množenja često primjenjuje u serijskim računalima. Kao primjer uzet ćemo opet decimalne brojeve 25 i 26 i prikazati kako se množe rukom a kako serijskim računalom.

Računanje rukom:

$$\begin{array}{r} 11001 \times 11010 \text{ (= decimalno 25 i 26)} \\ \hline 00000 \\ 11001 \\ 00000 \\ 11001 \\ 11001 \\ \hline 1010001010 \text{ (= decimalno 650) Produkt} \end{array}$$

Računanje serijskim računalom:

$$\begin{array}{r} 11001 \times 11010 \\ \hline 00000 \\ 11001 \\ 00000 \\ 11001 \\ 00000 \\ \hline 110010 \\ 11001 \\ 11111010 \\ 11001 \\ \hline 1010001010 \text{ Produkt} \end{array}$$

Prema tome mogu se za množenje upotrijebiti isti organi kao i za zbrajanje, ako su osposobljeni za pomicanje mesta.

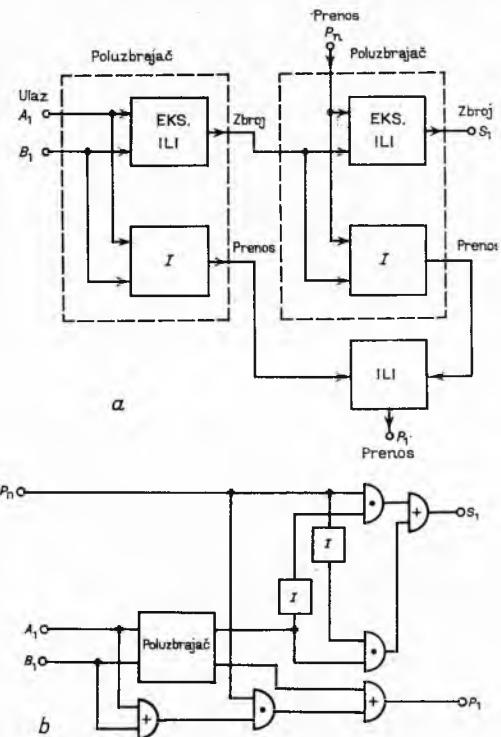
Za množenje paralelnim računalima ne može se primijeniti paralelni rad kao za zbrajanje i odbijanje. Međutim, radi skraćenja postupka se ipak primjenjuju različiti specijalni postupci.

Dijeljenje može se vršiti analogno množenju s time da se uzastopno odbija divizor od dividenda i da se mesta pomiču u suprotnu stranu. Obično se, međutim, dijeljenje u serijskim računalima vrši po sasvim drugom principu, naročito ako je divizor  $D$  veći od dividenda  $N$ . U tom slučaju dobiva se kvocient opet postupnim odbijanjem s time da se dividend, i kasnije ostaci, prethodno pomnože sa 2, po shemi  $Q_1 = 2N - D$ ,  $Q_2 = 2N' - D$  itd., dok ostatak ne postane manji od nule. Tada se dvostrukom iznosu ostatka pribraja  $D$ . Paralelnim računalima vrši se dijeljenje također po specijalnom postupku uz primjenu odbijanja i zbrajanja čim je ostatak manji od divizora.

**Provodenje računske operacije računalom.** Rad računala za vrijeme trajanja jedne instrukcije za zbrajanje može se općenito podijeliti na 4 radne faze:

Prva faza: Na osnovu adrese dobivene iz instrukcije poziva dekodirajući uredaj s pomoću odgovarajućeg signala iz memorije I argument i smješta ga u akumulator koji ga privremeno pamti.

Druga faza: Na isti način poziva se II argument, a istovremeno se nareduje odgovarajućim signalom iz generatora signala



Sl. 33. Primjer sumatora. a Princip, b izvedba sumatora kombinacijom osnovnih sklopova (K ulaz prenosa sa zadnjeg mjesata, C<sub>i</sub> izlaz prenosa s prvog mjesata, S<sub>i</sub> zbroj prvog mjesata)

izvršenje operacije. Rezultati se stavljuju u dio akumulatora koji se u međuvremenu ispraznju.

Treća faza: Rezultat se prebacuje iz akumulatora u memoriju na adresu predviđenu instrukcijom.

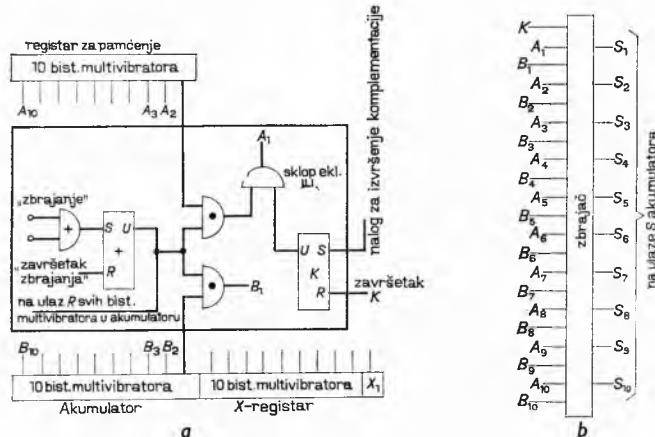
Cetvrta faza: Utvrđuje se adresa iduće instrukcije i pamti u registru tekućih adresa u upravljačkoj jedinici.

Ove faze važe u principu za svaku od 4 osnovne računske operacije s razlikom da je razmještaj pojedinih veličina u pojedine memorije za različite operacije ponešto različit (tablica 9):

Tablica 9

Memorija	Zbrajanje	Odbijanje	Množenje	Dijeljenje
Registar	adend	suptrahend	multiplikand	divizor
Akumulator	augend i zbroj	minuend i razlika	produkt	dividend
X-registar			multiplikator	kvocijent

Sl. 34 prikazuje jedno od mogućih rješenja za aritmetičku jedinicu paralelnog računala. Ona se sastoji od tri interne memorije: akumulatora, registra za pamćenje u X-registru, nazvanog ponekad i multiplikatorsko-kvocijentnim registrom. Nadalje se



Sl. 34. Shematski prikaz aritmetičke jedinice. a) Interne memorije i logički preklopni skloovi (prikazani su samo preklopni skloovi za posljednje mjesto brojeva, A<sub>1</sub> i B<sub>1</sub>), b) blok-sHEMA pripadajućeg zbrajača

ona sastoji od logičkih sklovnih krugova i zbrajača. U shemi primjera računala koje je predviđeno za rješenje od svega 10 bita ucrtani su logički krugovi samo za posljednje mjesto. Krugovi za ostala mesta izgledaju analogno.

Zbrajanje se odvija na prikazanom primjeru računske jedinice ovako: Prvi argument (augend) koji se sastoji od 10 bita (B<sub>1</sub> do B<sub>10</sub>) prebacuje se u toku prve faze iz memorije u akumulator, drugi argument (adend) koji se sastoji od 10 bita (A<sub>1</sub> do A<sub>10</sub>) prebacuje se u toku druge faze u registar za pamćenje. Impuls iz upravljačke jedinice kojom se nareduje zbrajanje aktivira preko disjunktivnog sklopa bistabilnog multivibratora označen za +, koji na osnovu toga svojim + - naponom aktivira oba konjunktivna sklopa i time omogućuje da preko njih bitovi A<sub>1</sub> i B<sub>1</sub> iz obiju internih memorija stignu do zbrajača. Taj isti napon ujedno preko R-ulaza bistabilnih multivibratora akumulatora briše njihov sadržaj i vraća ih u osnovni položaj, čime je akumulator ispraznjen. Rezultat S<sub>1</sub> dobiven iz zbrajača prebacuje se u akumulator koji je u međuvremenu ispraznjen.

Odbijanje vrši se analogno zbrajanju, s tom razlikom da upravljačka jedinica šalje osim signala za zbrajanje još i signal za komplementiranje. Ovaj impuls na S-ulazu multivibratora K izaziva na njegovom izlazu + - napon (1) s pomoću kojeg se u invertorskom sklopu vrši komplementiranje bita A<sub>1</sub> prije nego što ide u zbrajač. Završni prenos ubacuje se preko R-ulaza multivibratora K u prvi zbrajač.

Pri množenju nalazi se multiplikand u registru za pamćenje, a multiplikator u X-registru; akumulator je na početku prazan.

Prema sklopu koji prikazuje primjer obavlja se množenje uzastopnim zbrajanjem uz pomicanje mjesta. Sklop za pomicanje nije na slici prikazan. Pomicanje brojeva vrši se u akumulatoru i u X-registru tako da se multiplikator nakon svakog pomicanja skraćuje za jednu brojku, s time da na posljednjem mjestu (X<sub>1</sub>) stoji brojka koja upravo množi. Ako je ta brojka 0, vrši se samo pomicanje; ako je jednaka 1, vrši se najprije pomicanje pa zbrajanje multiplikanda iz registra za pamćenje s pomaknutim brojem. Taj se postupak opetuje do 10 puta. S obzirom na to da umnožak može imati i do 20 mesta a akumulator u kome se pamti produkt ima samo 10 mesta, uredaj je napravljen tako da se akumulator produžuje u X-registar. Zbrajanje se realizira na taj način da će pozitivan napon, ako je posljednji bit u X-registru 1, aktivirati preko disjunktivnog sklopa bistabilni multivibrator sa oznakom +, kao pri zbrajanju.

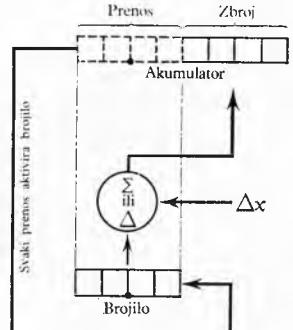
Dijeljenje vrši se ovakvim uredajem analogno kao i množenje, s time da se umjesto pomicanja udesno vrši pomicanje uljevo, a umjesto zbrajanja, odbijanje. Divizor se nalazi u tom slučaju u registru za pamćenje, dividend u akumulatoru, a kvocijent u X-registru.

Ostale računske operacije dobijaju se programiranjem uz primjenu opisanih osnovnih operacija.

#### NEKA SPECIJALNA RAČUNALA

Naprijed je opisano računalo za opću primjenu koje može da rješava i komplikirane računske probleme. Zbog toga i imaju računala te vrste jako razvijene računske jedinice i jedinice za pamćenje. Računala za specijalne namjene sastavljena su uglavnom od istih osnovnih organa, s tom razlikom da će neki od tih organa biti znatno manji i jednostavniji, a drugi će ponekad sasvim otpasti. Specijalna računala se naime uvijek prilagođuju konkretnom zadatku. Njihova je karakteristika, naročito kad se primjenjuju u privredi i industrijskim procesima, da imaju obično velik broj ulaza i izlaza. Ako se pojave i u tim oblastima neki komplikiraniji računski problemi, ide se na integraciju specijalnih računala s računalima za opću primjenu. U nastavku dat će se samo kratak opis nekih specijalnih računala, jer će računala za obradu podataka biti obrađena u ovoj enciklopediji na drugom mjestu (v. Obrada podataka).

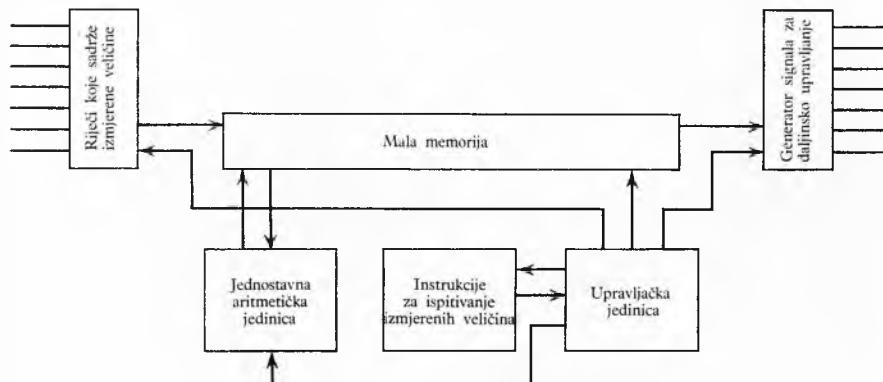
**Digitalni diferencijalni analizator** (DDA) služi za izračunavanje neke funkcije tačka po tačku. Često se naime s pomoću analognih računala ne može postići dovoljna tačnost, pa se primjenjuje ovo malo i jeftino računalo. DDA izračunava postepeno vrijednosti neke funkcije uzastopnim diferencijalnim zbrajanjem. To je izraženo u općem obliku jednadžbom:  $y(x_{t+1}) = y(x_t) + (y)_x$ . Pri tom je važno da se  $y$  izračunava naročito jednostavno. Ovaj uredaj radi bez instrukcije i programa u memoriji. Program se postiže odgovarajućim spajanjem pojedinih organa. Osnovna računska jedinica analizatora DDA sastoji se od sklopa za zbrajanje ili odbijanje, akumulatora i brojača i vidi se na sl. 35. Radi rješenja određenog zadatka može se i više takvih sklopova spojiti u red.



Sl. 35. Osnovna računska jedinica digitalnog diferencijalnog analizatora. Svaki prijenos aktivira brojilo i povećava iznos funkcije u brojilu za jedinicu

**Računala za upravljanje proizvodnim dinamičkim procesom** donose u toku proizvodnje odluke o tome treba li neku radnju izvršiti ili ne. Ove se odluke donose na osnovu izmjerjenih veličina. Tako treba npr. donijeti odluku da se neki spremnik isprazni kad je pun, ili da se pomiješa jedan rastvor s drugim kad je skupljena pogodna količina ili postignuta pogodna temperatura. Takav uredaj imat će zasebne organe za svaku radnju i signalni generator koji se na daljinu aktivira izvršenje ako ulazni signal daje zadovoljavajući rezultat. Shemu ovakva uredaja pokazuje sl. 36. Ulazni organi su pretvarači mjernih podataka i oni od njih

sačinjavaju riječi, a izlazni signali aktiviraju signalni generator kojim se aktiviraju izvrsni organi (npr. otvaranje ventila) s pomoću servo-uredaja. Računski postupak se sastoji u tome da se ulazne riječi s izmjerenim veličinama uporeduju s riječima (prvom i drugom) koje propisuju granične uvjete. Ovo upoređivanje nastavlja se dok se ne dobiva zadovoljavajući rezultat. Memorija mora biti samo tolika koliko je potrebno za pamćenje riječi koje sadrže izmjerene i propisane veličine i još neke druge podatke. Kad



Sl. 36. Blok-sHEMA računala za upravljanje nekim proizvodnim procesom

upoređenje zadovoljava, izuzima se na odnosnoj adresi naredenje za izvršenje. Program, koji se samo rijetko mijenja, unosi se izravno preko pulta za upravljanje.

Slično su izradena i računala kojima se prati neka situacija, npr. u zraku oko aerodroma. Podaci ulaze u tom slučaju automatski preko radara.

**Računala za rješavanje problema u privredi** prilagodena su opet problemima što ih postavlja skladišna služba, inventura, potrošnja rezervnih dijelova, održavanje bankovnih konta, bilansa, itd.

**Hibridna elektronska računala** predstavljaju kombinacije digitalnih i analognih računala (v. *Analogno računalo*). U takvim kombinacijama digitalna računala služe za kontrolu podataka analognih računala u pojedinim fazama procesa proračuna, za analizu rezultata i za proračun određenih funkcija i dodavanje tih podataka analognom računalu.

Najčešće se upotrebljavaju ove kombinacije digitalnih i analognih računala: a) kombinacija digitalnog računala s diferencijalnim analizatorom, koji predstavlja posebnu vrstu analognog računala za rješavanje diferencijalnih jednadžbi; b) kombinacija analognog i digitalnog računala i c) sistem integriran od analognog i digitalnog računala sa diferencijalnim analizatorom. U kombinaciji a) postiže se znatno povećanje brzine rješavanja diferencijalnih jednadžbi. U kombinaciji b) služi digitalni dio računala za logičko upravljanje, promjene programa, za pamćenje funkcija, rezultata i tabelarnih podataka i, konačno, za izvođenje aritmetičkih proračuna velikom tačnošću.

Hibridna računala su vrlo skupa i primjenjuju se stoga samo pri rješavanju vrlo značajnih zadataka, kao što su npr. proračuni putanja raketa i satelita i drugi proračuni u vezi sa svemirskim letjelicama.

#### PRIMJENA DIGITALNIH RAČUNALA I SISTEMA

Digitalna računala i digitalni sistemi primjenjuju se danas u mnogim granama čovjekove djelatnosti, kao što su privreda, industrija i nauka. Njihova afirmacija u najrazličitijim vrstama posla postaje iz dana u dan veća. Tome pridonose njihova osnovna svojstva: vanredna brzina kojom vrše računske operacije (i po više hiljada u sekundi), velika tačnost i pouzdanost pri računanju i mogućnost da se njima obradi vrlo velik broj podataka. Digitalna računala postala su danas prijeko potrebni instrumenti svugdje tamo gdje se radi o brzom rješavanju komplikiranih matematičkih problema.

Elektronička računala afirmirala su se najprije u mnogim granama tehnike i nauke, a tek kasnije u privredi. S pomoću digitalnih računala može se riješiti svaki zadatak koji se može prika-

zati u vidu računskog ili neračunskog algoritma, tj. programa sastavljenog od slijeda operatora, u slučaju da algoritam radi s operatorima za koje je predviđeno računalo. S digitalnim računalima mogu se rješavati brojni i opsežni zadaci s područja numeričke analize, a također nearitmetički zadaci, o čemu će biti riječi malo kasnije. Za naučne i tehničke proračune u vezi s projektiranjem u gradevinarstvu, mašinstvu, elektronici i drugim granama tehnike digitalno je računalo postalo neophodno pomoćno sredstvo naučenjaka, inženjera i konstruktora.

U nastavku razmotrit će se neka područja primjene takvih računala.

**Numerička analiza.** Digitalno računalo opće primjene predviđeno je u osnovi za rješavanje zadataka iz numeričke analize. Svaki matematički problem treba u toku programiranja rastaviti u slijed zbrajanja, odbijanja, množenja i dijeljenja, za što je do danas već razrađeno mnoštvo metoda i formula. Među najznačajnije numeričke zadatke koji se mogu rješavati s pomoću digitalnih računala idu: rješavanje simultanih linearnih jednadžbi, algebarskih i transcedentnih jednadžbi, evolucija funkcije s pomoću polinomske aproksimacije, integracija, diferencijacija, rješavanje diferencijalnih jednadžbi i dr.

U *statističkoj analizi* dobiva primjenu digitalnih računala sve veće značenje. Ovamo idu npr. jednostavna korelacija, parcijalna korelacija I i II reda, autokorelacija i spektralna analiza. Statistička analiza pruža također sve veće mogućnosti u planskim proračunima i u ekonomici.

**Nenumerički problemi.** Digitalna računala mogu se upotrijebiti i pri rješavanju problema čiji rezultati nemaju numerički oblik. Među takve probleme idu: logika, igre, jezični prijevodi, traženje literature itd. U ovakvim problemima traže se prvenstveno logičke operacije i spektar rezultata.

**Logika** je područje koje zasjeca u samo bivstvo računala i njegovo djelovanje. Problemi te vrste pojavljuju se npr. u automatskom programiranju i u automatici uopće. S pomoću postojećeg računala može se isprojektirati konstrukcija nekog novog računala ukoliko se izabere odgovarajuća simbolika. Ta simbolika poznata je iz matematičke logike, čije su grane npr.: teorija funkcija algebre logike, predikativni račun i teorija algoritama. S pomoću računala mogu se modelirati i logički problemi kojima se može dati fizička struktura.

I mnogi *problem igara* mogu se svesti na logičke probleme. Većina igara ima diskretan karakter, gdje su važne pozicije figura i kretanja. Upravo stoga se problemi igara mogu programirati i na digitalnom računalu. Stroj se služi strategijom igre i može odrediti optimalna rješenja. Stroj može stoga igrati različite igre, npr. šah, domino, ratne igre itd., ponekad i bolje od čovjeka.

**Problem prevodenja** tekstova s jednog jezika na drugi s pomoću digitalnih računala svodi se zapravo na problem prekodiranja iz jednog jezika u drugi jezik. Takvi strojevi imaju u svojoj memoriji vrlo opsežan rječnik, a osim toga nalaze se u memoriji još i lingvistička pravila za formiranje fraza i rečenica. Među jezicima ne postoji naime jednostavna zavisnost i riječi u jeziku na koji se prevodi, navedene u istom redoslijedu kao u jeziku s kojeg su prevedene, ne daju još pravilnu rečenicu. Značenje imaju cijele rečenice, a značenje rečenice zavisi od semantičkog sadržaja i sintaktičke funkcije riječi. Za automatsko prevodenje potrebne su stoga vrlo opširne lingvističke analize obaju jezika. U USA i SSSR ulažu se veliki naporci za usavršenje digitalnih računala za prevodenje sa ruskog na engleski i obratno. Ipak su zasada takvi prijevodi još strogo specijalizirani po strukama. Taj je način prevodenja za sada još i vrlo skup.

Primjena digitalnih računala raste velikom brzinom i u *industriji*, gdje ih nalazimo kod strojeva za automatsku obradu i kod uređaja za optimizaciju i regulaciju; tamo su često povezani i s analognim sistemima (v. *Automatizacija*, TE 1, str. 494).

### IZVEDBA DIGITALNIH RAČUNALA

Kao što je to već ranije istaknuto, cijela se garnitura uređaja koji sačinjavaju komplet digitalnog računala sastoji od ulaznih jedinica, centralnog električkog dijela računala i izlaznih jedinica. Veličina takvog računala zavisi u velikoj mjeri od vrste i



Sl. 37. Elektroničko računačko u obliku pisačeg stroja. Vrši osim 4 osnovne operacije i vodenje kvadratnog korijena. Rezultati se vide na ekranu katodne cijevi

namjene računala. Ona se kreće od računala veličine pisačeg stroja (sl. 37) do velikog skupa aparatura koje zapremaju cijelu prostoriju osrednje veličine. Primjenom modernijih i minijaturnih sastavnih dijelova i uređaja veličina se računala postepeno smanjuje.

Današnja računala srednje veličine imaju obično izgled pisačeg stola na kome se nalaze kontrolna ploča i neke ulazne i izlazne jedinice. Sve ostale električke, logičke i memoriske jedinice smještene su u samom stolu (sl. 38). Veća računala imaju dio uređaja smješten i po ormariima koji okružuju centralno radno mjesto programera. Neki takvi dodatni uređaji znaju biti prilično veliki, npr. različite memorije s magnetskim trakama i diskovima, bušači kartica, crtači itd. (sl. 39 i 40).

Po svojoj strukturi računala su dosta složeni uređaji jer imaju golem broj električkih spojeva. U nešto većem računalu red veličine broja kontakata koje treba spojiti iznosi  $10^6$ , pa provedba tih spojeva predstavlja vrlo velik posao. (Vidi sliku na prilogu u bakrotisku.) Pojedine električke jedinice izrađene su u vidu modula, tj. u vidu ožičenih ploča na kojima su usko zbijeni svi sastavni dijelovi koji sačinjavaju jedinicu. U najnovije vrijeme se za izradu takvih jedinica, koje se uvrštavaju u računalo uticanjem u odgovarajuća podnožja s pomoću mnogopolnih kontaktora, primjenjuju svi vidovi najmoderne električke tehnike, kao što su štampani krugovi, integrirani krugovi, mikrominiaturna tehnika, itd.



Sl. 38. Digitalno računačko u stolnoj izvedbi. Na stolu vide se sljeva nadesno: čitač perforirane trake, upravljački pult i kao izlaz bušač perforirane trake. Svi ostali dijelovi, koji su većinom izrađeni u mikrominiaturnoj tehnici s epitaksijalnim planarnim silikonskim poluvodičima, smješteni su u samom stolu

nika, epitaksijalne i planarne silicijumske konstrukcije (v. sliku na prilogu u bakrotisku).

Računski strojevi uzimaju struju iz gradske mreže, ali često preko akumulatora koji se napajaju u puferu.

Podložnost kvarovima modernih uređaja, koji su potpuno tranzistorizirani i građeni po modernim principima, vrlo je mala. Računa se da prosječno nastupa jedna greška na dvije hiljade radnih sati računala. Za utvrđivanje grešaka postoje naročiti tražici grešaka i specijalni dijagnostički programi s pomoću kojih se svaka greška može vrlo brzo utvrditi i locirati.

### TENDENCIJE U RAZVOJU RAČUNALA

Tehnička konstrukcija računala nalazi se u stalnom razvoju. Dok se velika računala izrađuju uglavnom još maloserijski ili pojedinačno, računala za širu primjenu, kao npr. računala za komercijalne i industrijske svrhe, proizvode se danas već serijski, što donosi sa sobom mnoge prednosti, a naročito pojeftinjenje. I



Sl. 39. Programska vođeno binarno digitalno računačko Zuse-Iskra tip Z-23



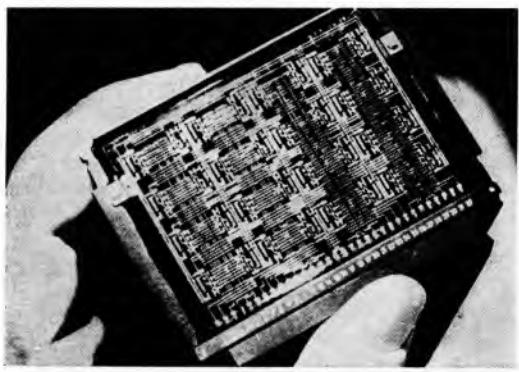
Sl. 40. Veliko digitalno računačko opće namjene prilagođeno za privredu. Na slici lijevo: brzi pisač, u sredini: upravljački pult, desno: običan pisač, straga memorije s magnetskim trakama

pri samom razvoju i konstrukciji digitalnih računala primjenjuju se računala radi optimizacije, npr. radi postizanja što manjeg broja vodova i što kraćih međuspojnih vodova.

Osim u sastavu računala golem je napredak postignut pri konstrukciji sastavnih dijelova. Od nekadašnjih elektronki prešlo se u potpunosti na poluprovodničke elemente, tj. na tranzistore i diode, tako da je već 1958 izrađeno prvo tranzistorizirano računalo. Prednost primjene poluprovodničkih dijelova je znatno manja zapremina, veća brzina rada i dulji vijek računala. Brži rad takvih logičkih jedinica tražio je i brže memorije. S obzirom na to da su brze memorije skupe, sada se u računalima kombiniraju brze i

sporije memorije, i to se u računskim jedinicama i svagdje gdje je to još potrebno upotrebljavaju brze memorije, a na drugim mjestima sporije i jeftinije. Tendencija je da se razviju što brže, a ipak jeftinije memorije. Tako su magnetske jezgrice s vremenom pristupa od 2 do 20 mikrosekunda istisnule neke ranije brze memorije. Iz istog razloga dobivaju sve veće značenje magnetski diskovi koji se mogu mijenjati kao gramofonske ploče u džuk-boksim. Takve ploče imaju vrijeme pristupa od 2 do 400 mikrosekundi (srednja vrednost 150 mikrosekundi). Tek odnedavna su u upotrebi tankslojne magnetske memorije naparene na staklenu ili metalnu foliju, kojima je vrijeme pristupa samo 0,06 mikrosekundi. U najnovije vrijeme se radi i na razvoju dijelova koji rade na principu supravodljivosti a sastavljeni su od kriotrona. Oni služe kao bistabilni multivibratori ili kao čelije za memoriju. Primjena supravodljivih dijelova u tankslojnoj tehnici još je u stanju razvoja.

Minijaturizacija dijelova našla je upravo u računskim strojevima svoju najveću primjenu. Štampani krugovi, integrirani sklopovi, planarne i epitaksijalne silicijumske konstrukcije brzo su prihvачene od konstruktera računala. Istovremenom izradom



Sl. 41. Minijaturni integrirani poluvodički elektronski sklop

dioda, tranzistora, otpora i kondenzatora na zajedničkoj podlozi nevjerojatno je smanjena veličina, a naročito zapremina pojedinih logičkih i memorijskih organa.

Paralelno s razvojem računala i njegovih organa razvijaju se i ulazne i izlazne jedinice. Pri tom je osnovni cilj brzina rada. Primjenjuju se brži čitači koji rade na čisto optičkim principima a i brži pisači na elektro-optičkim osnovama koji postižu sa specijalnim papirom i brzinu od 3000 do 5000 redaka u minutu. Njihova cijena je zasada još visoka. U razvoju su pisači koji rade s elektrostatičkom fotografijom. S njima se postižu još znatno veće brzine.

LIT.: *W. Meyer zur Capellen, Mathematische Instrumente, Leipzig 1949.* — *D. R. Hartree, Calculating instruments and machines, Cambridge 1950.* — *H. Rutishauser, A. Speiser, E. Stiefel, Programmgesteuerte digitale Rechengeräte, Basel 1951.* — *A. D. Booth, K. H. V. Booth, Automatic digital calculators, London 1956.* — *F. Alt, Electronic digital computers, New York 1958.* — *H. A. Архангельский, В. И. Зайцев, Автоматические цифровые машины, Москва 1958.* — *C. V. L. Smith, Electronic digital computers, New York 1959.* — *Handbook of automation, computation and control, vol. 2: Computers and data processing, New York 1959.* — *T. C. Bartee, Digital computers' fundamentals, New York 1960.* — *B. A. Бартаков, В. И. Богатырев, Электронные цифровые машины, Москва-Ленинград 1961.* — *А. И. Китов, Н. А. Криницкий, Электронные цифровые машины и программирование, Москва 1961.* — *И. С. Евдокимов, Г. П. Евстифеев, В. Н. Крушин, Цифровые вычислительные машины, Москва 1961.* — *В. А. Зимин, Электронные вычислительные машины, Москва 1962.* — *В. И. Лоскутов, Управляющие математические машины, Москва 1962.* — *Л. И. Гутенмехер, Электронные информационно-логические машины, Москва 1962.* — *M. Greenberger, Computers and the world of the future, Cambridge, Mass. 1962.* — *J. S. Murph, Elektronische Ziffernrechner (prevod s engleskog), Berlin 1965.* — *A. P. Speiser, Digitale Rechenanlagen, Berlin-Heidelberg-New York 1965.* — *H. W. Gschwind, An introduction to the design of digital computers, Wien-New York 1967.* — *G. Schubert, Digitale Kleinrechner, Berlin 1968.* — *T. R. H. Sizer, ed., The digital differential analyzer: an incremental computer, London 1968.*

*A. P. Železnikar*

**DIGITALNA RAČUNALA, PROGRAMIRANJE.** Programiranje ili sastavljanje programa sastoji se u određivanju niza postupaka prema kojima treba digitalno računalo zadane podatke da pretvoriti u tražene rezultate. Da bi se dakle neki problem mogao obraditi s pomoću automatskog digitalnog računala, moraju se pripremiti podaci, a pored toga treba za određeni zadatak izraditi program rada računala. U prvoj fazi izrade programa određuje

se vrsta i redoslijed operacija koje računalo treba obaviti (programiranje u užem smislu), u drugoj se fazi tako sastavljeni program ispisuje u takvom obliku da ga računalo može primiti i prema njemu računati (kodiranje).

Put od problema do rezultata ne obuhvaća samo programiranje već i širi pripremu zadatka, u koju idu: izbor računala, formuliranje zadatka, analiza, programiranje s kodiranjem, testiranje i računanje (sl. 1). Velik rad uložen u pripremu svakog većeg programa ipak je obično ekonomski opravдан jer se računanje s istim programom ali s različitim zadanim podacima obavlja obično mnogo puta.

#### PRIPREMA ZADATKA

U istom gradu ili čak u istom računskom centru može programer biti na raspolaganju nekoliko računala. Još prije nego je neki problem precizno formuliran, pristupa se *izboru računala*, vodeći računa o ekonomičnosti izvođenja zadatka i o brzini dobivanja rezultata. Općenito je jeftinije računanje na bržem računalu, ali na izbor računala utječe i druga svojstva pojedinih računala, npr. veličina glavne memorije, veličina i vrsta vanjskih memorija, brzina davanja rezultata, mogućnost upotrebe viših jezika za programiranje, raspoloživo vrijeme za rad na računalu.

Stručnjaci za problem prelaze zatim na *formuliranje zadatka*, što se vrši obično pomoću matematičkih izraza, jednadžbi i nejednadžbi, ili pomoći jasnih i jednoznačnih rečenica. Kad su zadaci složeniji, može se već prilikom formulacije problema nacrtati tzv. *blok-dijagram*, kojim se zadatak prikazuje rastavljen na nekoliko dijelova. Tako formuliran zadatak predaju stručnjaci za pripremu programera, tj. stručnjacima koji treba da pripreme zadatak za obradu u računalu. Da prilikom predaje zadatka ne dođe do nesporazuma, mora zadatak biti precizno i detaljno formulisani.

Slijedeći dio pripreme, *analiza zadatka*, obuhvaća ispitivanje broja rješenja i određivanje približnih postupaka. Najprije se ispituje ima li zadatak rješenje, i ako ga ima, postoji li samo jedno rješenje ili ih ima više. Ako prema formulaciji zadatka postoji više rješenja, a traži se samo jedno, treba formulaciju problema upotpuniti. Slično, ako formulirani zadatak nema rješenja, a prema prirodi problema rješenje mora postojati, treba formulaciju ispraviti.

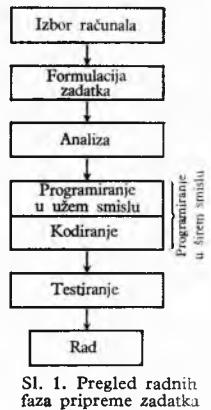
Poslije ispitivanja mogućnosti rješenja analiziraju se pogreške. Kod jednostavnih zadataka takva analiza nije potrebna, ali ako se beskonačni procesi zamjenjuju konačnim, mora se istražiti u kojoj mjeri takva aproksimacija utječe na rezultat. Strogo uvezvi gotovo uvijek nastaju takve pogreške, jer se beskonačni razlomci zaokružuju na konačne i jer se brojevi zaokružuju na određen broj decimala. Međutim, u većini tehničkih proračuna ovo se ne odražaju na rezultat.

Nakon analize pristupa se *programiranju u užem smislu*. Pri tom se određuje vrsta i slijed operacija. Broj tih postupaka može biti velik, tako da se lako gubi pregled nad njima. Radi lakšeg snalaženja obično se slijed operacija i kriterija prikazuje *dijagramom toka*.

Dijelovi pripreme koji su do sada opisani ne ovise gotovo nikako o svojstvima računala.

Slijedeći dio pripreme, *kodiranje*, postupak je u kome se ispisuju instrukcije na jeziku računala ili na nekom višem jeziku koji računalo može prevesti na svoj jezik. Kodiranje je detaljnije opisano u ovom članku u poglaviju Osnove programiranja i kodiranja. Kodiranje je vezano za svojstva računala.

Po završenom kodiranju, a prije prelaska na računanje, treba program *testirati*, tj. provjeriti u samom računalu. Pri tom se pogreške u kodiranju traže tako da se stroju zadaju ulazni podaci za koje je rezultat unaprijed poznat. Testiranje s traženjem i ispravljanjem pogrešaka često je mučan i dugotrajan posao. Kod zamršenih programa nema vremena da se provjere svi dijelovi i sve mogućnosti u programu. Zato se nakon važnijih testiranja prelazi pažljivo na upotrebu programa za rješavanje novih zadataka



Sl. 1. Pregled radnih faza pripreme zadatka