

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

F. V. Majorov

Elektronické počítačí stroje

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 1 (1956), No. 3, 248--258

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137138>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1956

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

## ELEKTRONICKÉ POČÍTAČÍ STROJE<sup>1)</sup>

Dnešní rychlý rozvoj vědy a techniky a neustálý růst průmyslové výroby vyžaduje řešit složité problémy, které samy zase vyžadují provádění velkého množství různých matematických operací. Tato potřeba, která starými methodami vyžadovala sta a tisíce hodin lidské práce, vedla ke vzniku elektronických počítacích strojů, jež umožňují provádět matematické výpočty v rozsahu, s přesností a s rychlostí dříve nedostupnou. Elektronické počítací stroje umožňují řešit složité matematické problémy, které by jinak vyžadovaly práce, trvající několik let.

Počítací stroje, sloužící k urychlení výpočtů v účetnictví a ve statistice, byly zkonstruovány již koncem XIX. a začátkem XX. století. O něco později byly postaveny počítací stroje pro účely dělostřelectva.

V roce 1911 sestrojil akademik A. N. Krylov model stroje pro řešení diferenciálních rovnic; použil tu mechanických sčítačů, násobičů a integrátorů.

Bouřlivý rozvoj elektroniky v třicátých a čtyřicátých letech našeho století vedl ke vzniku strojů nového typu — k elektronickým počítacím strojům, které ve srovnání s dřívějšími mechanickými a elektromechanickými stroji vynikají vysokou přesností práce, rychlostí při provádění početních operací a universálním použitím. První elektronický počítací stroj byl sestrojen v r. 1946. Od té doby vzniklo několik desítek různých druhů tak zvaných elektronických číslicových strojů. Tyto stroje umožňují řešit libovolný matematický problém, pokud jeho řešení vede na řadu elementárních aritmetických operací. Takové stroje jsou nenahraditelné všude tam, kde je třeba velké přesnosti výpočtů (na 6—10 i na více desetinných míst).

Pro řešení jakékoli matematické úlohy je nutno sestavit program po sobě jdoucích aritmetických operací, které stroj provede. Takové „programování“ vyžaduje hodně času. Pro zjednodušení konstrukce, snížení počtu elektronek a pro zvýšení spolehlivosti se začaly konstruovat speciální číslicové stroje, které jsou určeny k řešení úloh vždy jen určitého typu.

Universálních číslicových strojů se používá k řešení různých matematických úloh, jež vyžadují provést velké množství výpočtů s velkou přesností. Takové úlohy se vyskytují na příklad v nukleární fyzice, v aerodynamice, v radiotechnice, v chemii, v biologii a jinde. Tak na příklad je při navrhování anten a vlnodů v radiotechnice nutno řešit rovnice pro šíření elektromagnetické energie v prostoru; s řešením diferenciálních rovnic je spojen výzkum létajících raketových střel. Také v meteorologii, při předpovídání počasí je třeba řešit velký počet algebraických nebo diferenciálních rovnic. Zpracovávání velkého počtu experimentálních výsledků, statistických údajů, sestavování matematických tabulek atd., to vše jsou úkoly, které vyžadují velkého množství přesných výpočtů. Elektronické číslicové stroje tyto úkoly s úspěchem vykonávají.

Universální elektronické číslicové stroje jsou velmi složité. Obsahují tisíce elektronek, desítky tisíců různých radiotechnických součástek (odporů, kondensátorů, usměrňovačů atd.). Prostorově zabírá takový stroj celou velkou místnost.

Jeden z takových strojů na příklad má přes čtyři tisíce elektronek a dvanáct tisíc polovodičových usměrňovačů (germaniových diod). Sestává z jedenácti bloků, jejichž váha je asi dvanáct tun. K chlazení stroje za chodu je třeba osmdesáti tun chladicího zařízení. Stroj zabírá místnost o podlahové výměře asi 100 m<sup>2</sup>, jeho elektrický příkon činí kolem 60 kW. Na tomto stroji se propočítává záření, vznikající uvolňováním ato-

<sup>1)</sup> Referát z článku: Doktor techn. nauk profesor F. V. Majorov, *Elektronnyje vychislitelnyje mašiny*, Vsesojuznoje občestvo po rasprostraněniju političeskich i naučnych znanij, ser. IV, No 37, Izd. „Znanije“, Moskva 1955.

mové energie, aerodynamické charakteristiky letadel a řízených raket, analýza vibrací a napětí v materiálech strojových součástí, geofyzikální problémy atd. Stroj pracuje s desetimístnými desetinnými čísly a provádí 16666 součtů a rozdílů nebo 2192 součinů za vteřinu. Nahrazuje tak neméně než 300 000 výpočtářů, počítáme-li na jednoho výpočtáře maximálně tisíc aritmetických operací za pracovní den.

Speciální číslicové stroje mají značně méně elektronek, spolehlivý chod, zaujímají menší prostor a jsou jednodušší konstrukce; pracují přitom dostatečně přesně. Tak na příklad stroj pro řešení diferenciálních rovnic obsahuje asi sto elektronek a několik set germaniových diod. Jeho rozměry nejsou o mnoho větší než rozměry normálního psacího stolu, jeho váha je asi 160 kg, jeho příkon 3 kW. Stroj pracuje s šestimístnými desetinnými čísly a je schopen provést kolem pěti tisíc součtů nebo rozdílů za vteřinu. Používá se pro řešení diferenciálních rovnic aerodynamiky, které popisují dráhu letu, pro řešení integrálních a algebraických rovnic atd.

Schopnost elektronických počítačích strojů řešit složité úlohy je tak překvapující, že jsou někdy nazývány „myslícími“ stroji nebo „elektronickými mozky“. Schopnost myslet je ovšem vlastní jen člověku. Stroj může jen automaticky provádět výpočty nebo logické závěry podle daného programu [viz poznámku <sup>3)</sup>]. Výchozí data i program, podle kterého bude stroj provádět výpočty, mohou být ovšem velmi rozmanité. Tato okolnost činí právě z elektronických počítačích strojů stroje universální.

Schopnost elektronických počítačích strojů provádět různé logické operace, jako na příklad volbu mezi „ano“ a „ne“, srovnávání čísel, výběr potřebných čísel, určení znaménka atd., umožňuje konstruovat tak zvané „logické“ stroje automaty, které pracují podle programu předem sestaveného člověkem. Číslicových strojů je možno použít také pro strojové překládání z jednoho jazyka do jiného<sup>2)</sup>, pro čtení tištěného textu atd.

V poslední době se začalo používat elektronických matematických strojů pro automatické řízení a pro regulaci různých výrobních procesů. Vznikly tak zvané „řídící stroje“, které jsou centrem řízení výrobního procesu. Do řídicího stroje vstupují všechna výchozí data, která charakterisují výrobní proces: údaje měřicích přístrojů, potřebné programy a způsoby obrábění, údaje o podrobnostech montáže a pod. Řídící stroj neprovádí jen výpočty podle daného programu, ale dělá též nutné logické závěry pro další postup srovnáváním výsledků výpočtů a fakticky zjištěných údajů. Stroj dává potom povely (příkazy) pro regulaci různých fyzikálních parametrů, které mají na výrobní proces vliv.

Jako příklad je možno uvést automatisovaný frézovací stroj, který „sám“ provádí opracovávání složitého povrchu lopatky plynové turbíny. Počítací stroj provádí podle daných formulí a výchozích veličin výpočet souřadnic řady bodů profilu lopatky. Obráběcí stroj potom podle těchto souřadnic automaticky opracovává profil výrobku s velkou přesností a rychlostí bez jakéhokoli výkresu nebo šablony. Existují také elektronické číslicové stroje, jichž se používá přímo v řídicí technice a ve vojenské technice.

Elektronický počítač stroj je schopen řešit řadu úloh zároveň; je dále schopen rychle „přejít“ z řešení jedné úlohy k řešení úlohy jiné. Existují zprávy o kombinovaných elektronických číslicových strojích, do nichž jsou údaje leteckých přístrojů (výška, rychlost, vzdálenost, kurs atd.) zaváděny automaticky každou desetinu vteřiny. Za tuto dobu provede stroj potřebný výpočet. Tyto stroje slouží navigačním účelům. Takový stroj má 300 miniaturních elektronek a není o mnoho větší než normální televizor. Nedávno byla uveřejněna zpráva, že takové zařízení bylo zkonstruováno pro letadla, létající nadzvukovou rychlostí. Místo elektronek je v něm použito krystalových triod. To

<sup>3)</sup> Viz o tom článek *Elektronické překládání* v tomto časopise, č. 1, 1956.

znamená velké z hospodárnění provozu; potřebný příkon tu činí všeho všudy 100 W, což je dvacetkrát méně, než činí příkon pro tutéž aparaturu vybavenou elektronkami.

Krystalových triod místo elektronek se začalo používat také v universálních matematických strojích. Stroj, vybavený asi jedním tisícem takových triod, spotřebuje o 90% méně elektrické energie, je spolehlivější a kompaktnější.

Elektrické matematické stroje jsou mocným prostředkem vědy a techniky. Lze říci, že automatické řízení závodů bude realizováno pomocí elektronických počítačích strojů. Takové stroje mohou sloužit nejen ve výrobě, ale i v plánování, ve finančním a rozpočtovém účetnictví a ve statistice.

Podle způsobu práce je možno počítačící stroje rozdělit na dvě velké skupiny: na tak zvané stroje analogové a na stroje číslicové.

Analogový počítačící stroj provádí výpočty pomocí spojitě se měnících fyzikálních veličin (elektrického napětí, úhlového posunu hřídele ap.). Je-li na příklad třeba sečíst dvě veličiny  $A$  a  $B$ , nahradí se tyto veličiny dvěma elektrickými napětími, která jsou buď rovna nebo úměrná těmto veličinám. Součet těchto napětí dává výsledné napětí rovné nebo úměrné veličině  $A + B$ . Při úhlovém posunu hřídele jde o týž princip.

Všechny algebraické operace, které je nutno provádět analogovým matematickým strojem, se provádějí pomocí elektrických napětí, „zobrazujících“ dané veličiny v odpovídajícím měřítku. Elektrické napětí se může spojitě měnit s časem, je proto výsledek, získaný v analogovém matematickém stroji, spojitou funkcí času. Schema s elektrickými napětími modeluje řešení rovnice nebo fyzikální děj, který je rovnicí popisován. Fyzikální děje, jako kývání kyvadla, šíření tepla, pohyb kapaliny v potrubí a mnohé jiné, je možno přesně popsat matematickými rovnicemi, které stanoví přesnou závislost mezi všemi veličinami, zúčastněnými v daném ději. Tyto rovnice, které jsou často velmi složité, se zobrazují elektronickým modelem (analogonem) ve tvaru elektrického schématu, v němž se napětí mění přesně takovým způsobem, jako příslušná veličina ve skutečném fyzikálním ději.

To umožňuje zkoumat časté a velmi rychle probíhající fyzikální jevy. Změna elektrického napětí se dá snadno zaregistrovat a pozorovat pomocí různých elektrických přístrojů. Tím lze získat obraz časového průběhu fyzikálního jevu ve tvaru křivky nebo grafu. Analogové matematické stroje mají proto velký význam při zkoumání fyzikálních dějů. Jsou to skutečné „inženýrské přístroje“ pro mnohé technické výpočty.

Základní prvky analogového matematického stroje jsou elektronické zesilovače pro sumaci a integraci napětí a násobiče a funkcionální zařízení pro zobrazování nelineárních funkcí.

Uvedme jako příklad, jak se dají násobit elektrická napětí. Lze to provést pomocí různých elektronických schémat. Jedno takové schéma pro násobení dvou napětí  $A$  a  $B$  je založeno na rovnici

$$4AB = (A + B)^2 - (A - B)^2.$$

Pomocí součtu, rozdílu a mocniny lze tedy provést násobení. Umocnění lze realizovat poměrně jednoduchým zapojením, využívajícím na příklad zákona kvadratického nárůstání proudu v elektronce v závislosti na mřížkovém napětí, nebo pomocí funkcionálních zařízení. Funkcionální zařízení umožňuje přeměnit v analogovém matematickém stroji lineárně se měnící napětí v napětí, probíhající podle daného zákona (na příklad kvadratického, sinusového, podle křivky dané graficky ap.). Přidáme-li ještě zařízení pro zápis křivek, které jsou výsledkem řešení úlohy, a zařízení pro zavedení výchozích dat do stroje, je to vše, co je v analogovém matematickém stroji třeba mít.

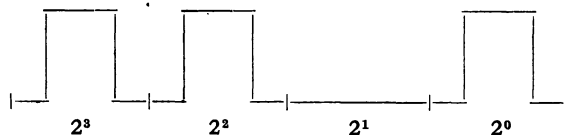
Dnešní stroje tohoto typu mají kolem 40—50 standardních sumačních a integračních zesilovačů, 5—10 násobičů a funkcionálních zařízení, 2—6 zapisovacích přístrojů

a obrazovku pro pozorování charakteru křivek, které jsou výsledkem řešení úlohy. Počet elektronek v těchto zařízeních dosahuje několika set, zařízení mají asi velikost skříně. Příkon činí asi 1 kW. Předností analogových matematických strojů je velká rychlost řešení úloh. Během jedné vteřiny je možno získat 50—100 i více řešení složité úlohy a pozorovat je ve tvaru křivek na stínítku obrazovky. Jednoduchost, snadná nastavitelnost na příslušnou úlohu a názornost výsledků jsou příčinami, proč se analogové matematické stroje velmi rozšířily, a to i při řešení různých úloh automatického řízení a regulace různých objektů. V textilním průmyslu na příklad se používá integrátoru pro kontrolu průměru vlákn. Přístroj stále reaguje na změny průměru vlákna, vyčísľuje střední hodnoty průměru a při odchylce dá signál nebo automaticky reguluje průměr otvoru, kterým vlákno prochází. Podobného přístroje lze použít i pro kontrolu tloušťky papíru, kovových folií, drátu a p. během výroby.

Nedostatkem analogových matematických strojů je omezená přesnost výpočtů (i když pro mnohé technické účely postačující). V analogovém matematickém stroji se každá veličina, která představuje ten či onen člen řešené rovnice, nahradí elektrickým napětím. Přesnost změření elektrického napětí, fázového posunu nebo jiné veličiny závisí na technologii výroby jednotlivých prvků zařízení, na vlivu vnějších faktorů na výsledek měření (teplota, pulsní napětí napájecího zdroje a j.) a na jiných systematických i náhodných chybách. Přesnost je možno zvýšit jen zvětšením rozměrů jednotlivých částí stroje. Tím se ovšem zvětšuje také cena stroje. Zvyšování váhy je někdy velmi nežádoucí, na příklad v letectví, kde je nutno pečlivě hospodařit s každým kilogramem váhy.

Jiným závažným nedostatkem analogových matematických strojů je omezená použitelnost. Určitý typ analogového matematického stroje může řešit jen určitý typ úlohy podle dané formule; přechod na řešení jiné úlohy je prakticky nemožný. Proto jsou velkým krokem vpřed číslicové elektronické stroje.

Elektronické číslicové stroje pracují s čísly, zobrazenými určitou posloupností napětových impulsů, která se nazývá číselný kod. Základními prvky těchto strojů jsou elektronky, krystalové diody a triody (které nahrazují elektronky). Existují u nich jen dva pracovní stavy: „zapnuto“ a „vypnuto“. V prvním případě elektronka (nebo krystalová trioda) propouští proud, v druhém případě nikoli. Elektronka tu má tedy úlohu elektronického klíče, funkcionálně obdobného klíči telegrafnímu, který může být zapnut nebo vypnut. Vzhledem k dvěma polohám elektronického klíče se čísla, se kterými se pracuje, kodují v tak zvané dvojkové soustavě<sup>3)</sup>. Číslo 13 na příklad se zapíše v dvojkové soustavě symbolem 1101 ( $13 = 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$ ). Tento číselný kod se zavede do stroje ve tvaru impulsů. Přitom znaku 1 odpovídá impuls elektrického napětí, znaku 0 impuls nulový. Impulsový dvojkový kod čísla 13 je pak tento:



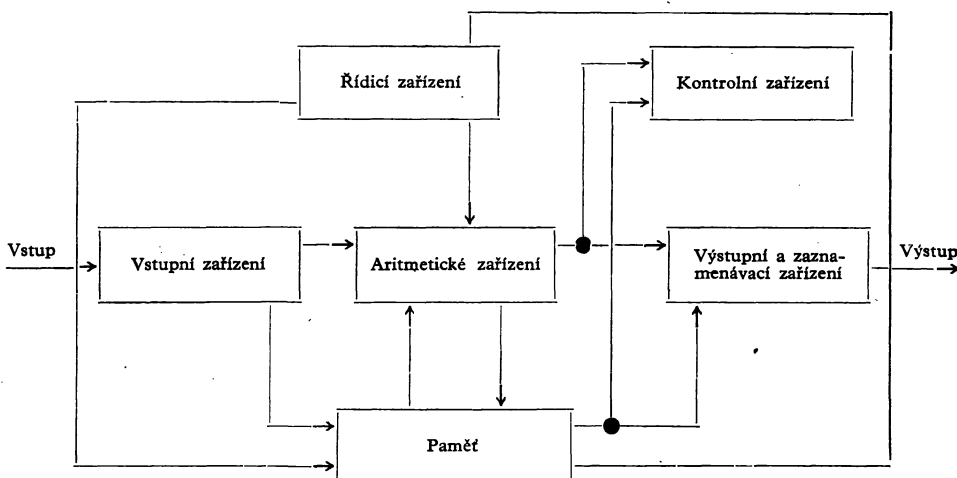
Obr. 1

Kod čísla + 235 se zapíše znakem  $\overline{0} 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1$  ( $235 = 0 \cdot 2^9 + 0 \cdot 2^8 + 0 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$ ). Záramovaná cifra značí znaménko čísla (0 pro čísla kladná, 1 pro čísla záporná).

Všimněme si nyní práce elektronického číslicového stroje. Úloha, která se má řešit,

<sup>3)</sup> Podrobněji o tom viz v článku S. L. Sobolev, A. I. Kitov, A. A. Ljapunov, *Základní rysy kybernetiky*, v tomto časopise, č. 1, 1956.

se rozloží na sled aritmetických operací (sčítání, odčítání, násobení, dělení), sestaví se program výpočtů a zavede se do stroje. Stroj je pak má krok za krokem provádět. Stroj provede aritmetické operace v témž pořadí, v jakém je provádí člověk, když zapisuje výsledky výpočtů, tyto vzájemně srovnává a provádí operace další. Program se sestavuje tak, aby stroj mohl operace provádět automaticky v příslušném pořadí. Dosahuje se toho povelů (příkazy), které stroj dostane. Každý povel udává, kterou aritmetickou operaci (sčítání, odčítání atd.) má stroj provést, s kterými čísly, z které buňky „paměti“ stroje je nutno vzít tato čísla a kam zapsat výsledek výpočtu. Souhrn všech povelů a čísel, pomocí nichž stroj příkazy vyplňuje, je tak zvaný program úlohy. Program se zavede do stroje ve tvaru instrukcí, zapsaných na příklad na magnetické pásce podle určitého kodu. Blokové schéma elektronického číslicového počítačového stroje je na obr. 2.



Obr. 2

1. Vstupní zařízení slouží k zavedení výchozích číselných dat, programů výpočtů, sestávajících z jednotlivých povelů a čísel, do stroje. Jako vstupních zařízení se používá magnetických pásek, bubnového pásu s perforovanými okraji, fotografických pásek ap.

2. Aritmetické zařízení provádí algebraické operace, sčítání, odčítání, násobení a dělení. Násobení a dělení lze provádět jako opakované sčítání a odčítání. Aritmetické zařízení sestává proto v podstatě z jednoho elementu, ze sumátoru, který provádí sčítání a odčítání.

3. Paměť slouží k uchování číselných kódů a povelů. Paměť také registruje částečné výsledky během výpočtu. Číselné kody a povelů je možno zavést z příslušných buněk paměti do ostatních zařízení matematického stroje. Aby stroj provedl správný výběr číselných kódů a povelů z příslušných buněk paměti, musí instrukce, které se do stroje zavádějí, přesně tyto buňky určit. Má-li stroj na příklad provést sečtení čísel  $A$  a  $B$ , musí být v instrukci pro stroj určeny tři buňky: buňka, ze které se číslo  $A$  zavede do aritmetického zařízení, buňka obsahující číslo  $B$ , které se též zavede do aritmetického zařízení a zde na povel „součet“ sečte s číslem  $A$ , a konečně buňka, kam se má uložit výsledek sčítání (součet  $A + B$ ). Počítač rychlost stroje je určena především počtem buněk paměti. Čas, potřebný pro výběr čísel a povelů, musí být velmi krátký — řádově několik tisíciny vteřiny.

4. Řídicí zařízení zabezpečuje automatické provádění všech výpočtů podle daného programu. Provádí výběr čísel z buněk paměti, dává povel k příslušné aritmetické operaci, odesílá výsledek výpočtu do paměti stroje, vydává konečný výsledek atd. Řídicí zařízení zabezpečuje potřebný sled povelů a aritmetických operací.

5. Kontrolní zařízení umožňuje při výpočtu kontrolovat jak práci stroje vcelku, tak práci jednotlivých jeho prvků od řídicího panelu, v němž je vestavěno příslušné signální zařízení, které hlásí poruchy. K odhalení eventuálních chyb výpočtu existují různé metody, aplikované podle speciálních programů.

6. Výstupní a zaznamenací zařízení slouží k zápisu výsledků výpočtů na magnetickou pásku nebo na fotografickou pásku a pro další záznam do tabulky výsledků výpočtů. Výsledek výpočtu je možno získat též ve tvaru grafu.

Základním prvkem číslicového stroje, který provádí výpočtové operace, je aritmetické zařízení. Dvojková číselná soustava dává možnost provádět všechny aritmetické operace sčítáním a odčítáním kodů v této soustavě. Při tom platí vztahy

$$\begin{aligned} 0 + 1 &= 1, \\ 1 + 0 &= 1, \\ 1 + 1 &= 0; \end{aligned}$$

první dva vztahy jsou prosté: nula a jedna je jedna, jedna a nula je jedna; třetí vztah dává ve skutečnosti dvě (jedna a jedna), dvojka je však základ soustavy, napíše se proto nula a o jedno místo doleva se připočítá jedna (podobně jako v desítkové soustavě se součet deset zapíše na příslušném místě nulou a o jedno místo doleva se připočítá jedna). Na příklad

v desítkové soustavě	v dvojkové soustavě
$\begin{array}{r} + 13 \\ + 9 \\ \hline + 22 \end{array}$	$\begin{array}{r} + \begin{array}{ c } \hline 0 \\ \hline \end{array} 0 1 1 0 1 \\ + \begin{array}{ c } \hline 0 \\ \hline \end{array} 0 1 0 0 1 \\ \hline \begin{array}{ c } \hline 0 \\ \hline \end{array} 1 0 1 1 0 \end{array}$

Znak  $\boxed{0}$  zde udává buňku znaménka čísla ( $\boxed{0}$  pro kladné číslo,  $\boxed{1}$  pro záporné číslo). Operace s kody znamének se provádí stejně jako s kody číselnými: výsledný kod součtu kodů znamének je kodem výsledného znaménka součtu.

Při sčítání záporných čísel je nutno pracovat s tak zvaným doplňkovým kodem. Doplňkový číselný kod dostaneme takto: v daném číselném kodu nahradíme všechny nuly jedničkami a všechny jedničky nulami; tak dostaneme tak zvaný inverzní kod k danému číselnému kodu. Inverzní kod pak zvětšíme o jedničku (připočteme k němu jedničku). Na příklad číslo plus devět má v dvojkové soustavě znak  $\boxed{0} 0 1 0 0 1$  (číselný kod čísla devět). K němu inverzní kod je  $\boxed{1} 1 0 1 1 0$  a doplňkový kod tedy  $\boxed{1} 1 0 1 1 1$  ( $\boxed{1} 1 0 1 1 0 + 1$ ). Tento doplňkový kod čísla devět je kodem čísla minus devět. Číselný kod čísla plus devět ( $\boxed{0} 0 1 0 0 1$ ) se také nazývá přímý kod čísla plus devět. Odečtení čísla se pak provede (stejně jako v elementární aritmetice) připočtením tohoto čísla, avšak s opačným znaménkem. Příklad: Od čísla patnáct máme odečíst číslo devět. Provedeme tak, že k přímému kodu čísla patnáct (v dvojkové soustavě) připočteme doplňkový kod čísla devět (kod čísla minus devět):

v desítkové soustavě	v dvojkové soustavě
+ 15	+ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> 0 1 1 1 1
+ — 9	+ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span> 1 0 1 1 1
<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>
+ 6	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> 0 0 1 1 0

Kod (přímý) 0 0 0 1 1 0 je však skutečně kodem (přímým) čísla plus šest.

Násobení se v dvojkové soustavě provádí stejně jako v soustavě desítkové: násobec se násobí každou cifrou násobitele a výsledky se píšou pod sebe s posunem vždy o jedno místo (doleva, bereme-li cifry násobitele zprava doleva, doprava, bereme-li cifry násobitele zleva doprava). Výsledky se pak sečtou. Přitom je však toto násobení o to jednodušší, že se násobí pouze buď jedničkou nebo nulou, to jest násobec se buď opisuje, nebo se píše samé nuly. Znaménko součinu se určí odděleně ze znamének činitelů.

Příklad: Číslo plus patnáct máme násobit číslem plus devět (výsledek je číslo plus sto třicet pět). Číselný kod čísla plus patnáct je 0 0 1 1 1 1, číselný kod čísla plus devět je 0 0 1 0 0 1. Pak

	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> 0 1 1 1 1
krát	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> 0 1 0 0 1
	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>
	0 1 1 1 1
	0 0 0 0 0
	0 0 0 0 0
	0 1 1 1 1
	0 0 0 0 0
	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>
	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> 0 1 0 0 0 0 1 1 1
	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>

Výsledný kod je skutečně číslo plus sto třicet pět v dvojkové soustavě ( $0 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$ ).

Dělení dvou čísel vede analogicky k postupnému odečítání dělitele.

Sčítání kodů je možno provádět buď postupně řád za řádem (to jest nejprve „jednotky“, pak „dvojky“, to jest jednotky prvního řádu, pak „čtyřky“, to jest jednotky druhého řádu atd.), nebo ve všech řádech současně. Stroje pro druhý způsob pracují rychleji, jejich sumátory jsou však značně složitější.

Nyní něco o jednotlivých prvcích elektronických číslicových strojů.

Elektronický číslicový matematický stroj sestává z mnoha různých standardních buněk (elektronických schemat), jejichž úkolem je provádět aritmetické operace, řídit stroj pomocí elektronických klíčů a přesmykačů a uchovávat číselné kody a povely ve stroji (paměť).

Elektronický klíč zapíná podle daného signálu (napětového impulsu) velmi rychle potřebnou linku nebo obvod elektrického proudu. Zapnutí a přepnutí trvá jen zlomek milisekundy. Rychlé elektromagnetické relé na příklad potřebuje k tomu 10—20 milisekund. To znamená, že elektronický klíč spíná desettisíckrát až dvacetisíckrát rychleji než relé. Hlavními prvky jsou zde elektronky a usměrňovače. Pomocí několika do serie



zapojených elektronických relé je možno vytvořit elektronický počítač impulsů. Těchto počítačů se používá pro počítání impulsních povelů, k řízení posloupností operací atd. Jednotlivých elektronických relé se používá na příklad pro pamatování přenosových impulsů v sumátorech, pro přepínání řídicích obvodů atd. Slouží též pro pamatování dílčích výsledků při výpočtech. Takových relé je v elektronickém matematickém stroji tisíce. Dnes se v nich používá místo elektronek krystalických triod.

Elektronický sumátor je základním prvkem elektronického číslicového matematického stroje. Sčítá číselné kody velkou rychlostí — až sto tisíc součtů desetimístných čísel za vteřinu. Pomocí sumátoru stroj také násobí a dělí. V novějších matematických strojích se místo elektronek používá vesměs krystalových diod a triod. Takové stroje jsou jednoduché, spolehlivé, rychlé, a mají malou spotřebu energie. Tak na příklad aritmetický blok jednoho takového stroje obsahuje 1242 miniaturních krystalových triod a 322 odporů. Sečtení a odečtení devatenáctimístných čísel (v dvojkové soustavě) provede za 2,4 milisekundy, vynásobení a vydělení za 48 milisekund. Příkon, potřebný pro toto zařízení činí jen asi 6 W. Stejně zařízení s elektronekami má potřebný příkon několiksetkrát větší. Jen z této okolnosti je již patrná výjimečná perspektiva, kterou má použití krystalových triod v počítačích strojích.

Paměť je zařízení, určené k uchování číselných kodů a povelů. Řeší-li počítač nějakou aritmetickou úlohu, zapisuje dílčí výsledky na papír (nebo jinak); vlastní výpočty provádí úvahou. Zapsat je nutno: počáteční data úlohy, čísla, která je třeba přičítat resp. odečítat, dílčí výsledky (na příklad částečné součiny, zbytky při dělení), konečné výsledky. Totéž se musí dít v počítačím stroji, kde je „vnitřní“ a „vnější“ paměť.

Vnitřní paměť aritmetického zařízení slouží k zapamatování číselných kodů při jejich přenášení, k zapamatování částečných součinů a p.

Vnější paměť slouží k uchovávání počátečních dat a dílčích výsledků výpočtů, kterých bude ve stroji třeba v určitém okamžiku, předepsaném programem.

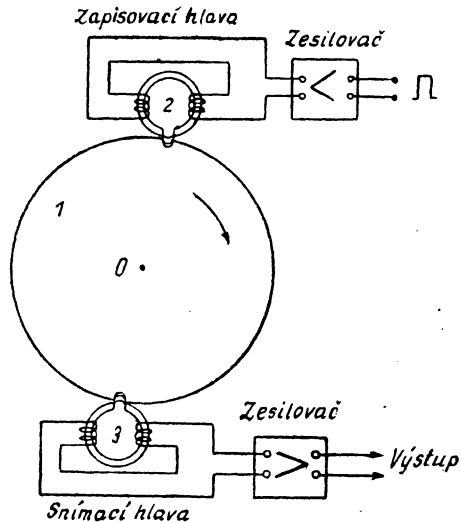
Vnitřní paměť stroje musí být velmi rychlá. Vnější paměť může fungovat volněji, musí však mít mnohem větší kapacitu. Kapacita paměti, to jest množství číselných kodů a povelů, které se v ní mohou uchovat, je jedním z nejdůležitějších parametrů stroje, který vymezuje, jak složité úlohy a kolik úloh lze zároveň řešit. Jiným důležitým parametrem, který určuje rychlost stroje, je doba „výběru“ čísel z paměti. Čím je kratší doba, potřebná pro výběr čísla z paměti a pro jeho dopravu do aritmetického zařízení, tím větší je rychlost, s jakou lze výpočet provést. Zvláště krátká musí být doba výběru pro vnitřní „operativní“ paměť, kde se zachycují číselné kody dílčích výsledků během výpočtu.

Číselné kody a povely ve vnější paměti se zapisují na děrovaných štítcích, na papírových páskách, na magnetických páskách, na fotografických páskách, na magnetických bubnech a p. Na děrové štítky a na papírové pásy se kody a povely zapisují tak, že se udělá otvor v místě, kde má být 1. Zápis ze štítků nebo z pásky se čte pomocí kontaktních kartáček, které ohmatávají proražený štítek nebo pásku. V místě, kde je otvor, se kartáček spojí s kovovou folií, která je pod páskou nebo pod štítkem a která je připojena ke zdroji napětí. Tak vznikne proudový nebo napětový impuls, kterým se, jak již bylo uvedeno, vyjádří číselný kod.

Tohoto principu pamatování čísel se zvláště používá ve strojích se standardními děrovými štítky z kartonu, na které se v určitých místech zapisují číselné kody, písmenná označení i celá slova v kodovém tvaru. Existují speciální psací stroje, které provádějí děrování štítků nebo pásek a které také čtou kodovaný zápis a zapisují jej ve tvaru čísel.

Pro rychlý zápis dílčích nebo konečných výsledků výpočtů a také k zavádění výchozích dat do stroje se používá magnetického zápisu na povrch rychle se otáčejícího bubnu nebo rychle se pohybující pásky. Číselné kody se zapisují buď tak, že se jednotlivé

čísly zapisují postupně nebo také zároveň. Každý impuls se zaregistruje zmagnetováním velmi malé části ferromagnetické pásky. Zmagnetování povrchu bubnu 1 (obr. 3) se provádí pomocí zapisovací hlavy 2, kterou tvoří v podstatě malé neuzavřené jádro, na němž je navinuta cívka. Projde-li cívkou proudový impuls, vznikne v mezeře jádra pole, které zmagnetuje ferromagnetickou pásku. Na každý centimetr bubnu může být zapsáno až 40 impulsů. Takto zapsané impulsy se při otáčení bubnu reprodukují pomocí snímací hlavy 3. Prochází-li mezerou jádra snímací hlavy zmagnetovaná část obvodu bubnu,



Obr. 3.

indukuje se v cívce snímací hlavy napěťový impuls. Tento impuls se zesiluje a vede do stroje. Číselné kody se zapisují na jedné nebo na několika paralelních drahách magnetického bubnu ve tvaru určité posloupnosti impulsů, a mohou být uchovány libovolně dlouho. Kodu 1 odpovídá magnetizační proud jedné polarity v cívce, kodu 0 proud opačné polarity. Při odcítání zápisu z bubnu dá snímací hlava 3 impuls kladné polarity pro kod 1 a záporné polarity pro kod 0. Na magnetickou pásku se čísla zapisují přesně stejným způsobem. Pásky je velmi dlouhá; je proto možno na ni zapsat mnoho čísel a povelů. Informace zapsané v „paměti“ postupují potom do řídicího a do aritmetického zařízení.

Rychlejší musí být operativní paměť uvnitř stroje. Zde se číselné kody ve tvaru impulsů zapamatovávají na příklad v miniaturních magnetických jádrech, která se zmagnetují, projde-li jimi proudový impuls. V každém jádru se uchová zápis jednoho impulsu, odpovídající jedné cifře nějakého čísla. Z mnoha takových jader, spojených v určitém pořádku, je vždy možno vybrat potřebné číslo s velkou rychlostí (za dobu několika milisekund).

Impulsy se zapisují též na stínítko obrazovky. Impulsy se tu zobrazují ve tvaru svítících bodů v určitém místě stínítka, a udrží se poměrně dlouhou dobu — pro stroj postačující. Existují i jiné druhy pamětí, založených na různých fyzikálních jevech, na příklad na jevu uchování impulsu pomocí kondensátoru, ultrazvuku a jiné.

Za dnešní vysoké automatisace je možno z velké části nahradit práci člověka, který řídí výrobní proces, speciálními stroji. To značně urychluje práci na obrá-

běžících strojích a na výrobních linkách, neboť řídicí stroj pracuje mnohem rychleji, přesněji a spolehlivěji než člověk. Dnes se již používá elektronických matematických strojů při automatickém řízení a v automatické regulaci výroby. Způsoby číslicového počítání, programování, řízení, kodování operací a instrukcí, používané v číslicových matematických strojích, se ukazují zvláště cenné při automatizaci obráběcích strojů, výrobních linek i při automatizaci celých závodů.

Použití řídicích strojů jako vyššího stupně technického rozvoje je podmíněno spojitostí výrobních procesů, kde se všechny operace provádějí automaticky podle daného programu. Zde se pak znamenitě uplatňují elektronické číslicové matematické stroje.

Jako příklad lze uvést použití elektronického matematického stroje při řízení frézovacího stroje. Dříve se používalo tak zvaných kopírovacích frézek, u kterých kopírovací palce klouzaly po povrchu modelu obráběné součásti. Kopírovací palce byly spojeny s čidlem, které indikovalo jejich pohyb; tento pohyb se pak přenášel na řezný nástroj, který obráběl výrobek. Číslicový matematický stroj nepotřebuje modelu. Profil výrobku se udá kodovaným zápisem na perforované papírové pásce nebo na magnetické pásce. Zapsané číselné kody určují úkoly podle výkresu profilu výrobku. Počítací zařízení neustále vypočítává všechny polohy bodů profilu. Stačí zapsat na pásku 40—50 číselných kódů, aby stroj určil všechny body profilu výrobku s velkou přesností. Vypočtené souřadnice se ve stroji neustále srovnávají se změřenými rozměry součásti. Počítací stroj řídí posuvy frézy i lože obráběcího stroje. Obrábění se děje s přesností na 1/100 milimetru. Měření rozměrů obráběného výrobku se děje automaticky, na příklad měřením posuvu řezného nástroje nebo pomocí speciálních přístrojů. Je-li na příklad nutno opracovávanou součást přenést pod jiný řezný nástroj (pro další operaci), lze to provést automaticky pomocí zápisu na pásku v kodovaném programu operací. Tímto způsobem lze také spustit nebo zastavit stroj, omezit pohyb řezného nástroje při chybné práci stroje a pod.

Existují a jsou vyzkoušena zařízení pro automatické řízení univerzálních, vertikálních a horizontálních frézovacích strojů, i pro řízení jiných strojů. K řízení lisů na ražení otvorů se používá aparatury, jejíž elektronické počítací zařízení řídí práci podle programu, zapsaného na děrovém štítku, na kterém jsou kodovány rozměry otvorů, jejich počet a umístění pro každý výrobek. Lis proráží otvory s přesností na 1/10 milimetru. Elektronických počítacích strojů se používá také pro automatickou regulaci a řízení různých technologických pochodů. Přenos kodovaných informací na dálku je zvláště vhodný při dálkovém řízení různých objektů.

V průběhu regulace je třeba řešit různé matematické úlohy, aby byly zabezpečeny optimální charakteristiky procesu. Právě zde se velmi dobře uplatňují elektronické počítací stroje. Podrobněji se věci v rámci tohoto článku nemůžeme zabývat. Poznamenejme jen, že automatizace je dnes jedním z nejdůležitějších technických směrů.

Jiným důležitým úsekem, v němž se uplatňují elektronické matematické stroje v automatizaci výrobních procesů, je evidence součástí a materiálu na proudových výrobních linkách a také zpracovávání výsledků kontroly jakosti materiálů a výrobků. Při hromadné výrobě, kdy produkce dosahuje milionů kusů a velké váhy, se kontrola jakosti provádí podle jistých středních a statistických ukazatelů, které se vypočítávají strojem. Měření průměru kabelu na příklad se provádí elektronickým mikrometrem. Naměřené hodnoty jdou do výpočtového zařízení, které vypočítává střední hodnotu průměru kabelu. Podobně se kontroluje jakost nafty a chemických výrobků v chemickém průmyslu. Každá analýza, prováděná speciálním elektronickým přístrojem, se kóduje na děrovací štítek. Elektronický matematický stroj třídí tyto štítky a provádí výpočty, nutné při zpracovávání získaných dat.

Při evidenci, ve statistických výpočtech a při zpracovávání rozmanitých jiných informací umožňuje velká rychlost matematických strojů a velké množství výpočtů, jež jsou

schopny provést, zpracovávat taková množství různorodých informací, která by jinak vyžadovala velkých pracovních kolektivů, účtářských i jiných. Matematický stroj může také provádět analýsu výsledků, vybírat a třídit různá data. To vše nesmírně šetří lidskou práci.

Dnes se vyrábějí speciální elektronické stroje, určené pro evidenci, účetnictví a pro statistiku. Tyto stroje mají poměrně jednoduché aritmetické zařízení, naproti tomu paměť velké kapacity a mnoho kanálů pro vstup a výstup informací. Pracuje se také na využití matematických strojů pro evidenci a plánování výroby ve skupinách závodů, soustředěných na jednom místě. Celé účetnictví těchto závodů, statistiku, výpočet mezd, sestavování grafů spotřeby, plánování přísunu materiálů, kontrolu hotových výrobků atd. budou provádět stroje.

Rozsáhlé a všestranné využití elektronických matematických strojů ve vědě a v technice, v průmyslové výrobě, pro ekonomické a statistické výpočty atd. dovedlo rozvoj výrobních sil na novou vyšší úroveň. Stroje osvobozují velké množství lidí od těžké duševní práce, spojené s unavujícími jednotvárnými úkony, a umožňují urychlit výrobní proces jeho úplnou automatizací. Počítací stroje se změní z těžkopádných, složitých a choulostivých zařízení v jednoduché a spolehlivé přístroje, a to použitím krystalových diod a triod, které nahrazují elektronky. Rozvoj techniky v tomto směru je co do významu hned za rozvojem nukleární fyziky a nukleární techniky.

*Stanislav Kubík*

## ULTRAZVUK A JEHO TECHNICKÉ VYUŽITÍ\*)

Ультразвук в технике

Použití ultrazvuku v různých průmyslových odvětvích je velmi široké. Používá se ho na př. v defektoskopii k hledání vad v materiálu, k určování vzdáleností a geometrických rozměrů a také jako aktivního prostředku působení na látky nebo na průběh technologického procesu.

Široké možnosti průmyslového použití ultrazvuku vyplývají z jeho fyzikálních vlastností. Současná úroveň vědy dosud neumožňuje přesnou analýsu všech podrobností toho či onoho procesu a tak zároveň s rozšiřováním a prohlubováním našich znalostí z oblasti fyziky ultrazvuku porostou možnosti jeho technického použití.

Frekvence ultrazvuku je značně vyšší než frekvence slyšitelných zvuků, a naopak vlnové délky ultrazvuku jsou značně menší než slyšitelných zvuků. Díky této vlastnosti se ultrazvukové vlny na rozdíl od vln zvukových šíří přímočaře (podobně jako světlo). To je jedna ze zvláštností ultrazvuku.

Zvukové vlny se šíří od zdroje všemi směry. Projde-li zvuková vlna nevelkým otvorem, šíří se i za ním všemi směry na rozdíl od světelného paprsku, prošlého otvorem v neprůhledné stěně. Příčinou těchto odlišných vlastností dvou jevů vlnového charakteru — zvuku a světla — je okolnost, že způsob šíření vlny za překážkou závisí na poměru mezi rozměry této překážky a vlnovou délkou. Jsou-li rozměry překážky malé nebo řádově stejné velikosti jako délka vlny, pak vlny

\*) Referát z článku laureáta Stalinovy ceny doktora technických věd profesora L. D. Rozenberga *Ultrazvuk v technice* (Ultrazvuk v technice), Vsesojuznoje občestvo po rasprostraněniu političeskich i naučnych znanij, ser. IV, č. 20, Izd. »Znanijek«, Moskva 1955.