

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Karel Beneš
Analogové počítače

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 11 (1966), No. 4, 214--228

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138638>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1966

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>

Jakmile neutrino jednou vznikne, pohybuje se vesmírem prakticky navždy. Prostor se tak pozvolna naplňuje neutrinami. Pontecorvo a Smorodinsky vyslovili teorii, že vesmír se vyvinul z neutrin. Kdyby to bylo pravda, pak z neutrina pocházíme a v neutrina se přeměníme. K rozhodnutí, zda takové teorie jsou správné nebo nesprávné, je ještě třeba velkého pokroku v neutrinové astronomii – teoretické i experimentální.

Otázka *průměrné hustoty vesmíru* je základního významu. Z pozorování plyne $3 \times 10^{-31} \text{ g/cm}^3$, z relativistické kosmologie 10^{-29} g/cm^3 . Pontecorvo a Smorodinsky připouštějí možnost, že hustota neutrin může být 10^{-29} g/cm^3 . Tím by se vysvětlil velký nesouhlas mezi teorií a pozorováním. Zatím není žádný důkaz proti domněnce, že neutrinový substrát o takové hustotě ve vesmíru skutečně existuje. Podle teorie zmíněných autorů je počet neutrin a antineutrin stejný. Vesmír by tedy byl symetrický vzhledem k látce a antilátce, až na „malé fluktuace“, jako je např. opticky pozorovaná látka naší Galaxie. Některé reakce (např. (29)) mohou probíhat jen s neutrinem, jiné (např. rozptyl (31), (32)) probíhají pro neutrino i antineutrino. Tak by bylo možno určit poměr neutrin i antineutrin (látky a antilátky). Takové rozlišení mezi látkou a antilátkou může provést v kosmickém měřítku pouze neutrinová astronomie, neboť foton z antiatomu se neliší od fotonu z atomu.

Viděli jsme, že důvod k pesimistickému postoji některých odborníků k neutrinové astronomii záleží ve velmi slabé interakci neutrin a v obtížnosti jejich měření. Avšak ze stejné vlastnosti těchto plachých částic pramení i možnost odhalit nové obzory ve vesmíru.

ANALOGOVÉ POČÍTAČE

KAREL BENEŠ, Olomouc

Při studiu chování např. nějakého fyzikálního systému můžeme postupovat dvěma směry. Buď vyřešíme rovnice, které popisují chování tohoto systému (tyto rovnice jsou matematickým modelem systému), nebo můžeme zhotovit zjednodušený, např. zmenšený model systému a vyšetřovat chování tohoto modelu. Z chování modelu můžeme potom podle zákona podobnosti určit chování originálu. Např. z chování modelu navrhovaného letadla v aerodynamickém tunelu můžeme předem přímo určit letové vlastnosti letadla, popřípadě podle výsledku zkoušek modelu upravit návrh v některých směrech. Toto tzv. fyzikální modelování má své výhody i nevýhody. Výhodou je, že model zachovává i ty vlastnosti originálu, které se dají matematicky velmi těžko formulovat a které se musí nějakým způsobem aproximovat, popřípadě vůbec zanedbat. Jako nedostatky tohoto modelování můžeme uvést nutnost úpravy

modelu při každé změně některého parametru modelovaného originálu, při studiu každého nového procesu je nutno postavit nový model, modely složitých objektů (kotlů, energetických zařízení apod.) jsou také složité a drahé a konečně při vyšetřování havarijních stavů se model zničí a musí se stavět v několika provedeních a tím se náklady na vyšetření objektu dále zvyšují.

Efektivnější způsob modelování je tzv. matematické modelování analogovými počítači, které je založeno na vytvoření jiné fyzikální soustavy, avšak tato soustava je popsána týmiž matematickými vztahy jako úloha, která se má řešit. Originálem je v tomto případě matematický popis soustavy a jejím modelem je analogový počítač. Důležitost tohoto způsobu modelování vyplývá ze skutečnosti, že ve velké většině případů máme k dispozici právě matematický popis soustavy.

Každá matematická veličina je v analogovém počítači vyjádřena nějakou fyzikální veličinou – nejčastěji elektrickým napětím (u elektronických analogových počítačů) nebo úhlem natočení hřídele (u mechanických analogových počítačů). Také každá matematická operace je modelována na základě platných fyzikálních zákonů zvláštní jednotkou a celý model příslušné matematické úlohy se vytvoří vhodným sestavením a propojením jednotlivých jednotek počítače.

Analogové počítače jsou buď jednoúčelové, tj. mohou řešit pouze jeden problém (např. analogový počítač pro řešení soustav lineárních algebraických rovnic nebo počítač pro stanovení optimálních podmínek při strojním obrábění, tzv. kalkulátor řezných podmínek), nebo jsou schopny univerzálnějšího použití pro řešení úloh několika typů, hlavně pro řešení takových matematických problémů, které se ve vědecké a technické praxi často vyskytují, tj. pro řešení diferenciálních a algebraických rovnic a jejich soustav. Počítače tohoto typu se nazývají diferenciální analyzátoři a skládají se z určitého počtu sčítacích, násobících, integračních a derivačních jednotek, popř. generátorů funkcí, které vytvářejí potřebnou funkční závislost, např. kvadrát nebo logaritmus vstupní hodnoty. Rozsah úlohy, která se ještě na tomto počítači dá řešit, je omezen počtem počítacích jednotek, jež jsou k dispozici. Např. diferenciální analyzátor, který má 7 integrátorů, může řešit diferenciální rovnice s konstantní pravou stranou maximálně do 7. řádu.

POČÍTAČÍ JEDNOTKY ELEKTRONICKÝCH ANALOGOVÝCH POČÍTAČŮ

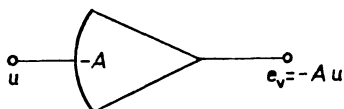
Základem počítacích jednotek elektronických analogových počítačů je stejnosměrný zesilovač s lichým počtem stupňů, a tedy s velkým záporným zesílením $-A$, ($|A| = 10^4$ až 10^8), zanedbatelným mřížkovým proudem prvé elektronky ($i_g = 10^{-10}$ až 10^{-12} A) a velmi malou samovolnou změnou výstupního napětí zesilovače při uzemněném vstupu zesilovače, tzv. driftem. Dobré stejnosměrné zesilovače mají dlouhodobý drift (za 8 hodin) asi 50 až 100 μ V.

Na obr. 1 je blokové schéma takového stejnosměrného zesilovače. Výstupní napětí

e_v je dáno vztahem

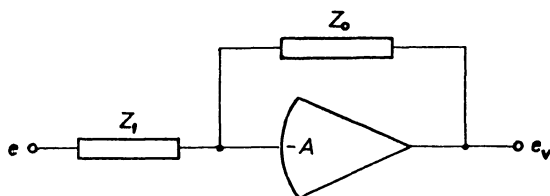
$$(1) \quad e_v = -Au,$$

kde u je vstupní napětí (napětí na řídicí mřížce první elektronky). Počítací jednotky, které vytvářejí určitou matematickou závislost výstupního napětí e_v počítací jednotky



Obr. 1. Bloková schématická značka stejnosměrného zesilovače.

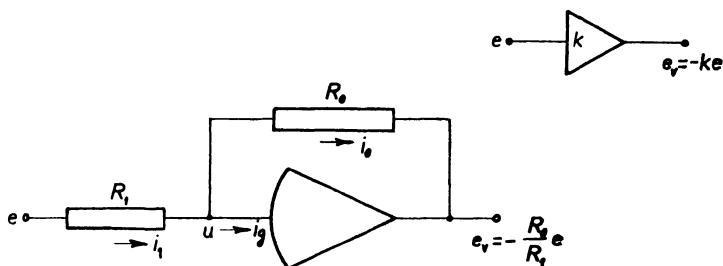
na vstupním napětí e jsou potom vytvořeny ze stejnosměrného zesilovače, který má ve svém vstupu a ve své zpětné vazbě příslušnou impedanci (obr. 2). Matematická závislost výstupního napětí na vstupním napětí je dána charakterem vstupní impedance zesilovače Z_1 a zpětnovazební impedance Z_0 .



Obr. 2. Schéma obecné počítací jednotky.

Invertor

je počítací jednotka s jedním vstupem, jejíž vstupní a zpětnovazební impedance jsou ohmické odpory (obr. 3).



Obr. 3. Schéma a schématická značka invertoru.

Závislost výstupního napětí e_v na vstupním napětí e určíme z 1. Kirchhoffova zákona. Předpokládejme, že mřížkový proud i_g zesilovače je natolik malý, že jej

můžeme zanedbat. Potom podle 1. Kirchhoffova zákona platí

$$i_1 - i_0 = 0.$$

Vyjádříme-li proudy i_1 a i_0 podle obr. 3 pomocí Ohmova zákona, dostaneme

$$(2) \quad \frac{e - u}{R_1} - \frac{u - e_v}{R_0} = 0.$$

Napětí u na mřížce zesilovače je podle rovnice (1) rovno

$$u = -\frac{e_v}{A},$$

takže po dosazení do rovnice (2) dostaneme

$$(3) \quad \left(e + \frac{e_v}{A}\right) \frac{1}{R_1} - \left(-\frac{e_v}{A} - e_v\right) \frac{1}{R_0} = 0.$$

Z rovnice (3) vypočítáme výstupní napětí e_v

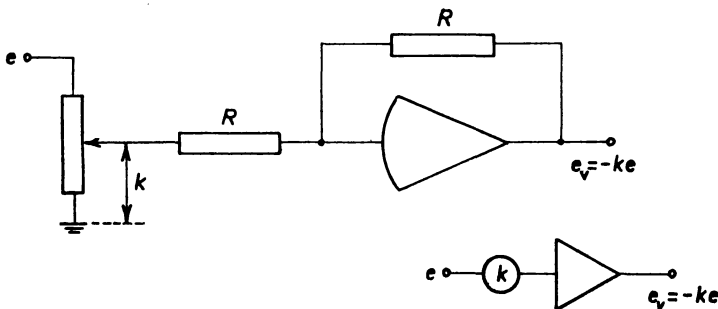
$$(4) \quad e_v = -e \frac{A}{(R_1/R_0)(1+A) + 1}.$$

Poněvadž zesílení zesilovače $|A| \gg 1$, můžeme výraz $(R_1/R_0)(1+A) + 1$ zjednodušit:

$$\frac{R_1}{R_0}(1+A) + 1 \doteq \frac{R_1}{R_0}(1+A) \doteq \frac{R_1}{R_0}A.$$

Výstupní napětí e_v této počítačící jednotky je potom s dostatečnou přesností dáno výrazem

$$(5) \quad e_v = -\frac{R_0}{R_1}e.$$



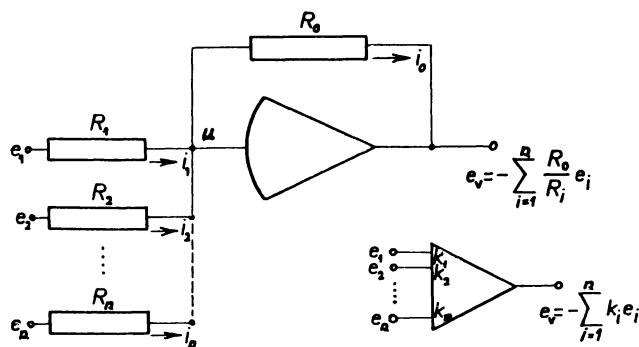
Obr. 4. Potenciometr v zapojení s invertorem.

Invertor tedy mění znaménko vstupního napětí a násobí koeficientem $k = R_0/R_1$.

Násobení konstantou k , kde $k \in \langle 0; 1 \rangle$ se provádí zpravidla potenciometrem. Na obr. 4 je schéma zapojení potenciometru s invertorem. Invertor v tomto případě jednak mění znaménko vstupní veličiny, jednak odstraňuje poměrně velký a na velikosti koeficientu k závislý výstupní odpor potenciometru.

Sumátor

provádí součet vstupních hodnot a změnu znaménka, má několik vstupů; vstupní a zpětnovazební impedance jsou ohmické odpory (obr. 5).



Obr. 5. Schéma a schematická značka sumátoru.

V uzlu zase platí

$$i_1 + i_2 + \dots + i_n - i_0 = 0.$$

Použijeme-li stejného postupu při výpočtu výstupního napětí e_v jako v předešlém případě, dostaneme

$$(6) \quad e_v = - \sum_{i=1}^{i=n} \frac{R_0}{R_i} e_i.$$

Integrátor

provádí integraci vstupní hodnoty podle času a změnu znaménka, vstupní impedance zesilovače je ohmický odpor a zpětnovazební impedance je kapacita (obr. 6).

Pro uzel platí

$$(7) \quad i_R - i_C = 0.$$

Dále podle obr. 6 platí

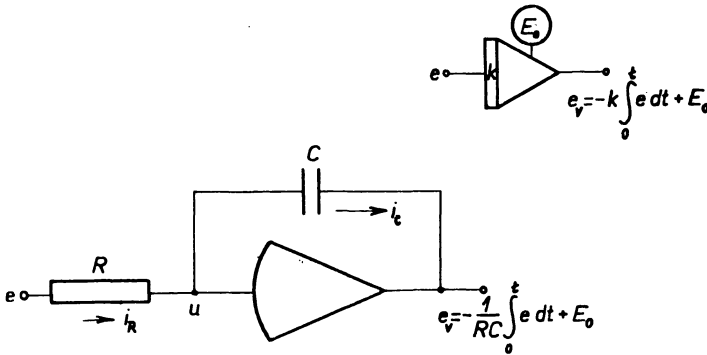
$$i_R = \frac{e_1 - u}{R}, \quad i_C = \frac{C d(u - e_v)}{dt}.$$

Dosadíme-li tyto výrazy do rovnice (7) a použijeme-li rovnice (1), dospějeme k diferenciální rovnici 1. řádu pro e_v .

$$(8) \quad \frac{de_v}{dt} + \frac{e_v}{RC(A+1)} = -\frac{Ae_1}{RC(A+1)},$$

a tedy

$$(9) \quad e_v = -\frac{1}{RC} \int \frac{Ae_1}{A+1} dt - \frac{1}{RC} \int \frac{e_v}{A+1} dt.$$



Obr. 6. Schéma a schematická značka integrátoru.

Poněvadž $|A| \gg 1$ a tedy $A+1 \doteq A$ a $1/(A+1) \doteq 0$, je výstupní napětí e_v s dostatečnou přesností dáno výrazem

$$(10) \quad e_v = -\frac{1}{RC} \int e_1 dt.$$

Byl-li v čase $t = 0$ kondenzátor nabit na napětí počáteční podmínky E_0 , je výstupní napětí jednotky dáno výrazem

$$(10a) \quad e_v = -\frac{1}{RC} \int_0^t e_1 dt + E_0.$$

Sumační integrátor

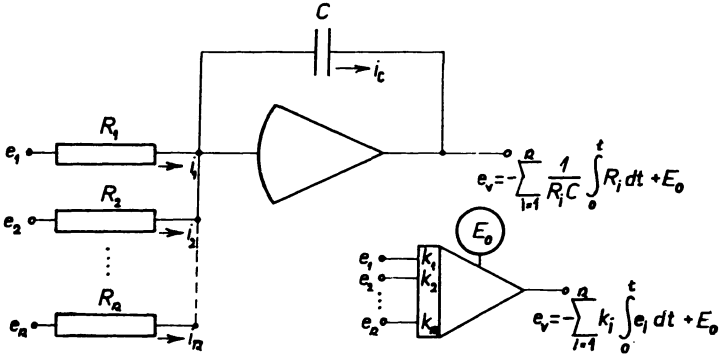
provádí integraci součtu několika hodnot a změnu znaménka (obr. 7).

Použijeme-li stejného postupu při výpočtu e_v a stejných předpokladů jako v předějším případě, dostaneme

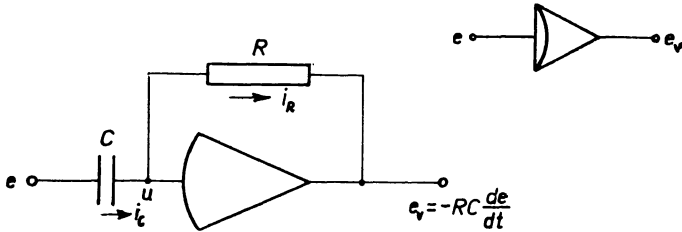
$$(11) \quad e_v = -\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i C} \int_0^t e_i dt + E_0.$$

Derivátor

provádí derivaci vstupní hodnoty a změnu znaménka. Vstupní impedance zesilovače je kapacita, kdežto zpětnovazební impedance je ohmický odpor (obr. 8).



Obr. 7. Schéma a schematická značka sumačního integrátoru.



Obr. 8. Schéma a schematická značka derivátoru.

V uzlu zase platí

$$i_C - i_R = 0,$$

tedy

$$C \frac{d(e - u)}{dt} - \frac{u - e_v}{R} = 0.$$

Použijeme-li rovnice (1), dospějeme k výrazu pro výstupní napětí e_v

$$(12) \quad e_v = -RC \frac{A}{A+1} \frac{de}{dt} - RC \frac{1}{A+1} \frac{de_v}{dt}.$$

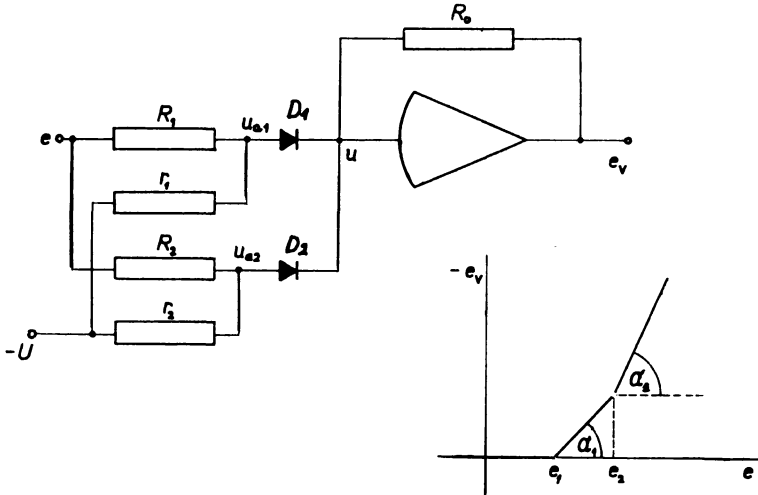
Při velkém zesílení zesilovače můžeme zase s dostatečnou přesností psát

$$(13) \quad e_v = -RC \frac{de}{dt}.$$

Z výrazu pro výstupní napětí integrátoru a derivátoru vidíme, že nezávisle proměnnou elektronických analogových počítačů je čas.

Neregulární závislosti

nebo tzv. typické nelinearity se modelují zpravidla pomocí diodových obvodů. Jedno z možných zapojení je na obr. 9. Diody D_1 nebo D_2 vedou tehdy, je-li napětí u_{ai} na



Obr. 9. Obvod s diodami pro modelování jedné z typických nelinearit.

jejich anodách vyšší než napětí u_{ki} na jejich katodách, které mají proti zemi prakticky nulové napětí [$u = -(e_v/A) \cong 0$]. Vstupní napětí e_i , při kterých nastávají zlomy, určíme z podmínek $u_{ai} = u_{ki}$, tzn.

$$u_{a1} = 0, u_{a2} = 0.$$

$$u_{a1} = -U + \frac{e_1 + U}{R_1 + r_1} r_1 = 0,$$

a tedy

$$e_1 = \frac{R_1}{r_1} U.$$

Stejným způsobem určíme napětí e_2 , při kterém nastává druhý zlom,

$$e_2 = \frac{R_2}{r_2} U.$$

Směrnice jednotlivých úseků

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = -\frac{R_0}{R_1}, \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = -\frac{R_0}{R_1 \parallel R_2}.$$

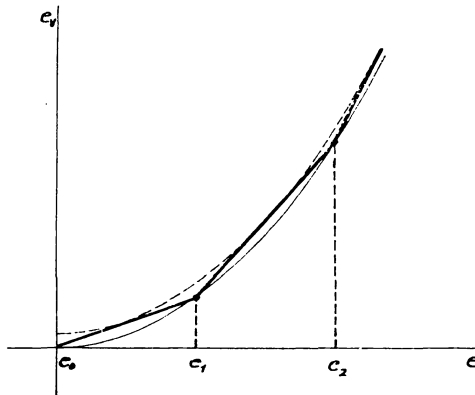
Obdobnými zapojeními s diodami můžeme modelovat např. absolutní hodnotu vstupní veličiny, různá omezení, reléovou charakteristiku apod.

Elektronická (diodová) násobička

provádí součin dvou funkcí a zpravidla pracuje podle vztahu

$$xy = \left(\frac{x+y}{2}\right)^2 - \left(\frac{x-y}{2}\right)^2.$$

Kvadratické závislosti, které jsou uskutečňovány tzv. kvadrátory, nejsou prováděny přesně, nýbrž jsou aproximovány lomenou čarou (obr. 10), podobně jako na obr. 9.



Obr. 10. Aproximace kvadratické závislosti lineárními úseky.

Vlivem aproximace kvadratických závislostí pracuje násobička pouze s určitou přesností, která je funkcí počtu úseků a rozdělení bodů zlomů, tzv. uzlů aproximace. Prakticky stačí přesnost násobení asi 1 %; při 10 úsecích je teoreticky dosažitelná přesnost 0,25 %.

Implicitní výpočet

se provádí komparátorem (obr. 11). Komparátor nemá přímou zpětnou vazbu, neboť zpětná vazba je tvořena počítaací sítí.

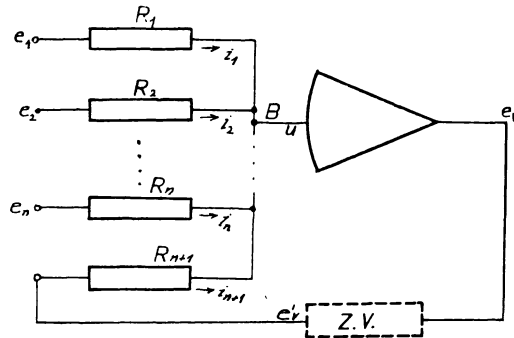
Za předpokladu zanedbatelného mřížkového proudu je funkce komparátoru

popsána následujícími vztahy: Pro uzel B (mřížku první elektronky zesilovače) platí

$$(16) \quad \sum_{j=1}^{n+1} i_j = 0,$$

jednotlivé proudy i_j jsou dány výrazy

$$i_j = \frac{e_j - u}{R_j}.$$



Obr. 11. Schéma komparátoru.

Dosadíme-li za napětí u na mřížce podle rovnice (1), můžeme psát výraz (16) ve tvaru

$$\frac{1}{R_1} \left(e_1 + \frac{e_v}{A} \right) + \frac{1}{R_2} \left(e_2 + \frac{e_v}{A} \right) + \dots + \frac{1}{R_n} \left(e_n + \frac{e_v}{A} \right) + \frac{1}{R_{n+1}} \left(e'_v + \frac{e_v}{A} \right) = 0$$

nebo po úpravě

$$(17) \quad \frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} + \dots + \frac{e_n}{R_n} + \frac{e'_v}{R_{n+1}} + \frac{e_v}{A} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_{n+1}} \right) = 0.$$

Za předpokladu $|A| \gg 1$ se rovnice (17) zjednoduší na tvar

$$(18) \quad \frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} + \dots + \frac{e_n}{R_n} + \frac{e'_v}{R_{n+1}} = 0.$$

Výstupní napětí e_v tedy nabývá takové hodnoty, aby přes zpětnou vazbu ZV tvořenou počítačící sítí udrželo na mřížce zesilovače nulu. Napětí e'_v je funkcí výstupního napětí e_v a závisí též na charakteru zpětné vazby ZV.

Výpočet podílu $z = x/y$

nahradíme podle obr. 12 řešením implicitní rovnice

$$(19) \quad F_{(x,y,z)} \equiv x - yz = 0.$$

(Pozn.: násobička obrací znaménko!)

Podle rovnice (18) platí

$$(20) \quad \frac{x}{R_1} - \frac{yz}{R_2} = 0.$$

V případě $R_1 = R_2$ přejde rovnice (20) na rovnici (19).

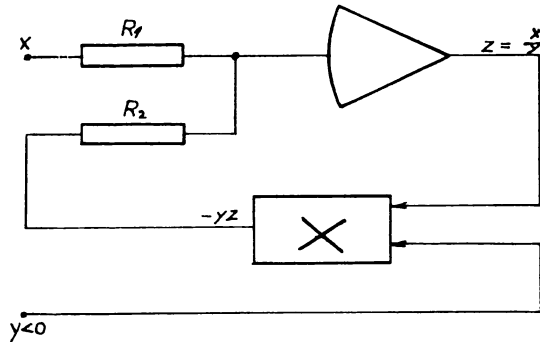
Aby řešení implicitní rovnice (19) $F_{(x,y,z)} = 0$ komparátorem bylo stabilní, musí platit

$$(21) \quad \frac{\partial F_{(x,y,z)}}{\partial z} > 0.$$

To znamená, že při vzrůstu (poklesu) napětí z na výstupu komparačního zesilovače musí vzrůst (poklesnout) i napětí na mřížce zesilovače. Vlivem záporného zesílení zesilovače je potom tato počítačací síť stabilní. V našem případě

$$\frac{\partial F_{(x,y,z)}}{\partial z} = -y,$$

a aby byla splněna podmínka (21), musí být dělitel $y < 0$. Dělička podle obr. 12 je



Obr. 12. Obvod pro vytvoření podílu $z = x/y$ při $y < 0$.

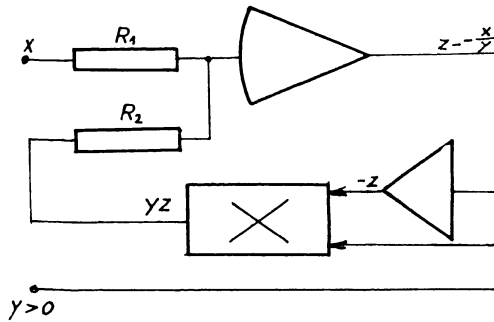
tedy pouze dvoukvadrantová. Správně pracuje při obou polaritách napětí x a pouze při záporné polaritě y . Pro $y > 0$ je nutno počítačací síť doplnit invertorem a zapojit podle obr. 13. Podle rovnice (18) po úpravě platí

$$(22) \quad F_{(x,y,z)} \equiv x + yz = 0.$$

Počítačací síť je zase stabilní, neboť podmínka stability (21) je v tomto případě

$$\frac{\partial F_{(x,y,z)}}{\partial z} = y$$

a to je kladné. Na výstupu komparátoru dostáváme podle rovnice (22) napětí $z = -x/y$, na výstupu invertoru dostáváme $-z = x/y$.



Obr. 13. Obvod pro vytvoření podílu při $y > 0$.

Výpočet odmocniny $z = \sqrt{x}$

nahradíme podle obr. 14 řešením implicitní rovnice

$$(23) \quad F_{(x,y,z)} \equiv -x + z^2 = 0.$$

Podle rovnice (18) platí

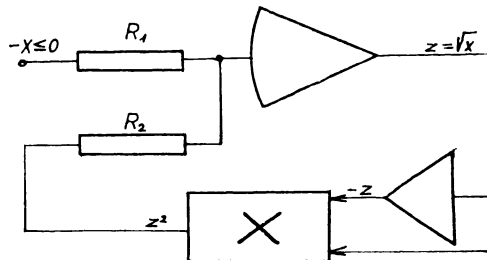
$$(24) \quad -\frac{x}{R_1} + \frac{z^2}{R_2} = 0.$$

V případě $R_1 = R_2$ přejde rovnice (24) na rovnici (23).

Podmínka stability je v tomto případě

$$\frac{\partial F_{(x,y,z)}}{\partial z} = 2z.$$

Poněvadž pro výstupní napětí z^2 násobičky platí $z^2 \geq 0$, musí být vstupní napětí $-x \leq 0$, neboť pro napětí u na mřížce komparačního zesilovače musí platit $u \leq 0$.



Obr. 14. Obvod pro výpočet odmocniny $z = \sqrt{x}$.

Přivedeme-li toto záporné napětí $-x$ v čase $t = 0$ na vstupní odpor R_1 , bude výstupní napětí z komparačního zesilovače nutně kladné (výstupní napětí z^2 násobičky přichází na druhý vstupní odpor R_2 vlivem časových konstant neopatrně zpožděno a zesilovač obrací znaménko vstupního napětí), takže podmínka stability (21) je splněna.

Z výrazů pro výstupní napětí jednotlivých jednotek je patrné, že přesnost analogových počítačů je omezena přesností jednotlivých vstupních a zpětnovazebních impedancí, zesílením zesilovače a dále přesností měření vstupního a výstupního napětí počítačové jednotky. Nepřesnost vstupní a zpětnovazební impedance způsobuje zpravidla mnohem větší chyby než konečné zesílení zesilovače. Např. u invertoru při $R_0 = R_1$ a zesílení zesilovače $|A| = 3 \cdot 10^4$ je výstupní napětí e_v podle rovnice (4) $e_v = -e_1 A / (A + 2) = -0,9999 e_1$.

Více se projeví vliv konečného zesílení zesilovače u integrátoru, jehož výstupní napětí je určeno rovnicí (8). Řešením rovnice (8) je funkce $e_v = A e_1 [\exp(-t/RC(A+1)) - 1]$. Je-li $|A| = 3 \cdot 10^4$, $RC = 1$, $t = 100$ sec, je výstupní napětí $e_v = -99,83 e_1$. Protože správná hodnota je $e_v = 100 e_1$, činí chyba vlivem konečného zesílení zesilovače $e_v = 0,17\%$. Nejlepší analogové počítače dosahují přesnosti několika promile, většina analogových počítačů pracuje s přesností 1 až 5% též podle typu řešené úlohy.

Výhodou analogových počítačů proti číslicovým je jejich nižší cena, snadnější a názornější programování úloh. Změnou impedancí v obvodech zesilovačů lze též velmi rychle zkoušet dosáhnout žádaného tvaru řešení. Přechtením velikostí těchto impedancí se přímo získají podklady pro návrh parametrů soustavy, která bude mít požadované vlastnosti. Analogové počítače znázorňují řešený děj spojitě, vstupní a výstupní hodnoty mohou nabývat v určitém intervalu spojitě všech hodnot.

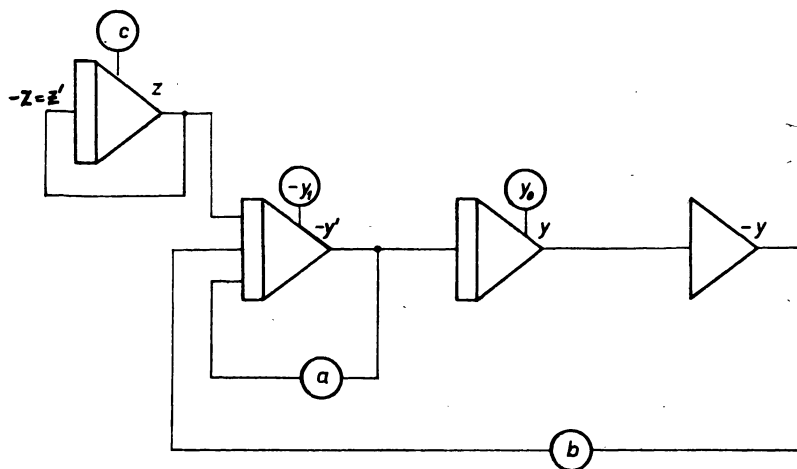
Jeden ze způsobů programování analogových počítačů si ukážeme na naprogramování diferenciální rovnice 2. řádu

$$(25) \quad y'' + ay' + by = ce^{-t} \quad \text{s poč. podm. } y_{(0)} = y_0 \\ y'_{(0)} = y_1$$

Tuto diferenciální rovnici budeme řešit metodou snižování řádu derivace, která záleží v osamostatnění a postupném integrování nejvyšší derivace $y'' = -ay' - by + ce^{-t}$ (obr. 15). Jestliže y'' přivedeme na první ze dvou za sebou zapojených integrátorů, dostaneme na jejich výstupech postupně prvou derivaci $-y'$ a funkci y . Poněvadž každý integrátor též obrací znaménko, střídají se znaménka na jejich výstupech. Z takto získaných hodnot funkce a jejích derivací vytvoříme vynásobením příslušnými koeficienty a popřípadě obrácením znaménka na invertoru všechny veličiny, jejichž součet s pravou stranou diferenciální rovnice dává druhou derivaci y'' a které přivedeme na vstup prvního integrátoru, který v tomto případě provádí integraci součtu těchto veličin. Funkci $z = ce^{-t}$ (pravou stranu diferenciální rovnice)

vymodelujeme řešením pomocné diferenciální rovnice $z' + z = 0$ s počáteční podmínkou $z(0) = c$.

Naprogramování diferenciální rovnice bylo voleno z toho důvodu, že řešení diferenciálních rovnic je úloha typická pro diferenciální analyzátor, dále na úlohu řešení

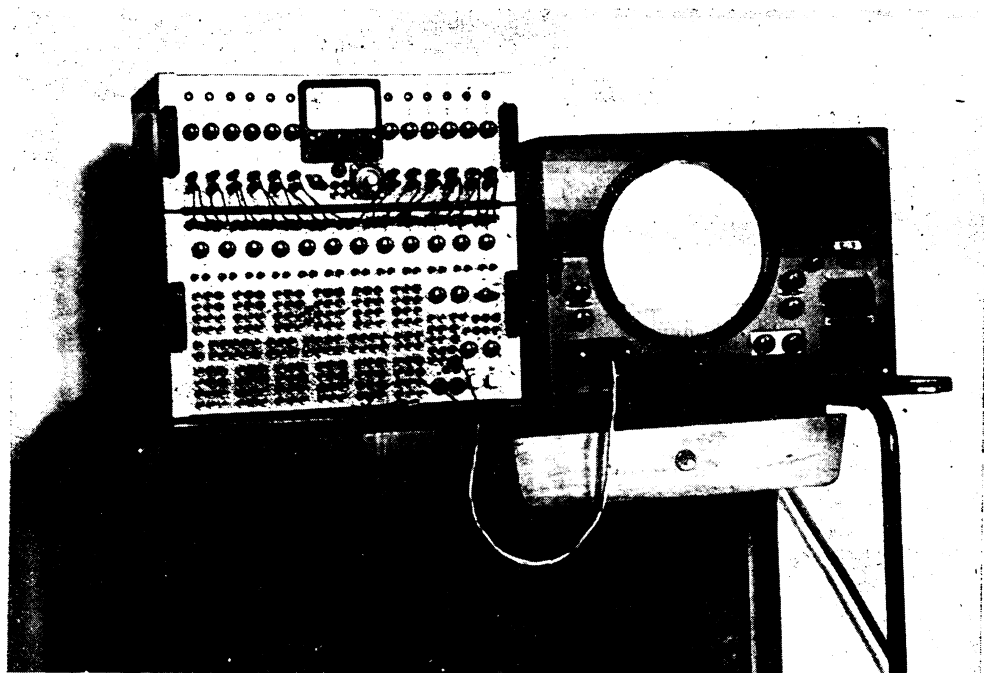


Obr. 15. Programové schéma pro řešení diferenciální rovnice (25).

diferenciální rovnice nebo soustavy diferenciálních rovnic lze převést úlohu řešení reálných kořenů polynomu nebo úlohu řešení soustavy lineárních algebraických rovnic.

V další části je pro úplnost uveden stručný popis elektronického analogového počítače *DIPOS-A*, tj. didaktického počítačového stroje, který byl dokončen koncem r. 1962 na katedře algebry a geometrie přírodovědecké fakulty UP v Olomouci (obr. 16). Počítač může řešit diferenciální rovnice do 7. řádu, přičemž jeden koeficient může být proměnný a pravá strana rovnice se může rovnat konstantě nebo funkci, která je řešením jiné diferenciální rovnice. V tomto posledním případě však nemůžeme řešit rovnice do 7. řádu, ale pouze do řádu $7-n$, kde n je řád pomocné diferenciální rovnice pro vymodelování pravé strany řešené diferenciální rovnice. Dále může počítač řešit soustavy diferenciálních rovnic, reálné kořeny polynomů a soustavy algebraických rovnic. Počítač řeší diferenciální rovnice 6. řádu s chybou menší než 2 %. Pro vytváření součinu dvou funkcí má počítač diodovou násobičku, diodové omezovače pro vytváření některých typických nelineárních závislostí, dále je vybaven repetičním chodem, reléovým přepínačem, pomocí něhož lze na obrazovce osciloskopu současně pozorovat tři veličiny: časovou osu (osu nezávisle proměnné), funkci, která je řešením naprogramované diferenciální rovnice a některou derivaci této funkce. Aby bylo možno měřit funkční hodnoty i pro malé hodnoty nezávisle proměnné (času), popřípadě aby se vyloučily chyby v měření nezávisle proměnné způsobené

obsluhou počítače, je počítač vybaven automatickým stopováním výpočtu po libovolně nastavitelné době od 0,2 až do 20 sec. Větší hodnoty nezávisle proměnné (času) je přesnější měřit na stopkách a výpočet ručně zastavit.



Obr. 16. Elektronický analogový počítač *DIPOS-A*.

Počítač se skládá ze dvou van. V horní vaně je umístěno 12 stejnosměrných zesilovačů a zdroje pro zesilovače, v dolní vaně jsou vstupní a zpětnovazební impedance, jejichž kombinací se vytvářejí jednotlivé počítačí jednotky (invertory, integrátory apod.). Kondenzátory použité jako vstupní a zpětnovazební impedance byly vybírány s přesností 0,5 %, odpory s přesností 0,01 %. Na panelu dolní vany se též provádí zapojení řešené úlohy. Výsledky řešení se čtou na stupnici voltmetru, stupnici přesného potenciometru nebo na stínítku osciloskopu.

Předmětový mikrometr pro elektronový mikroskop

byl vyryt do kolodiové fólie elektronovým paprskem. Místo mechanického posouvání fólie se rozestup čar vytváří elektrickým odchylováním paprsku. Čáry jsou široké 50 nm a navzájem vzdáleny 500 nm. Zhotovení jedné čáry trvá několik vteřin.

Sk