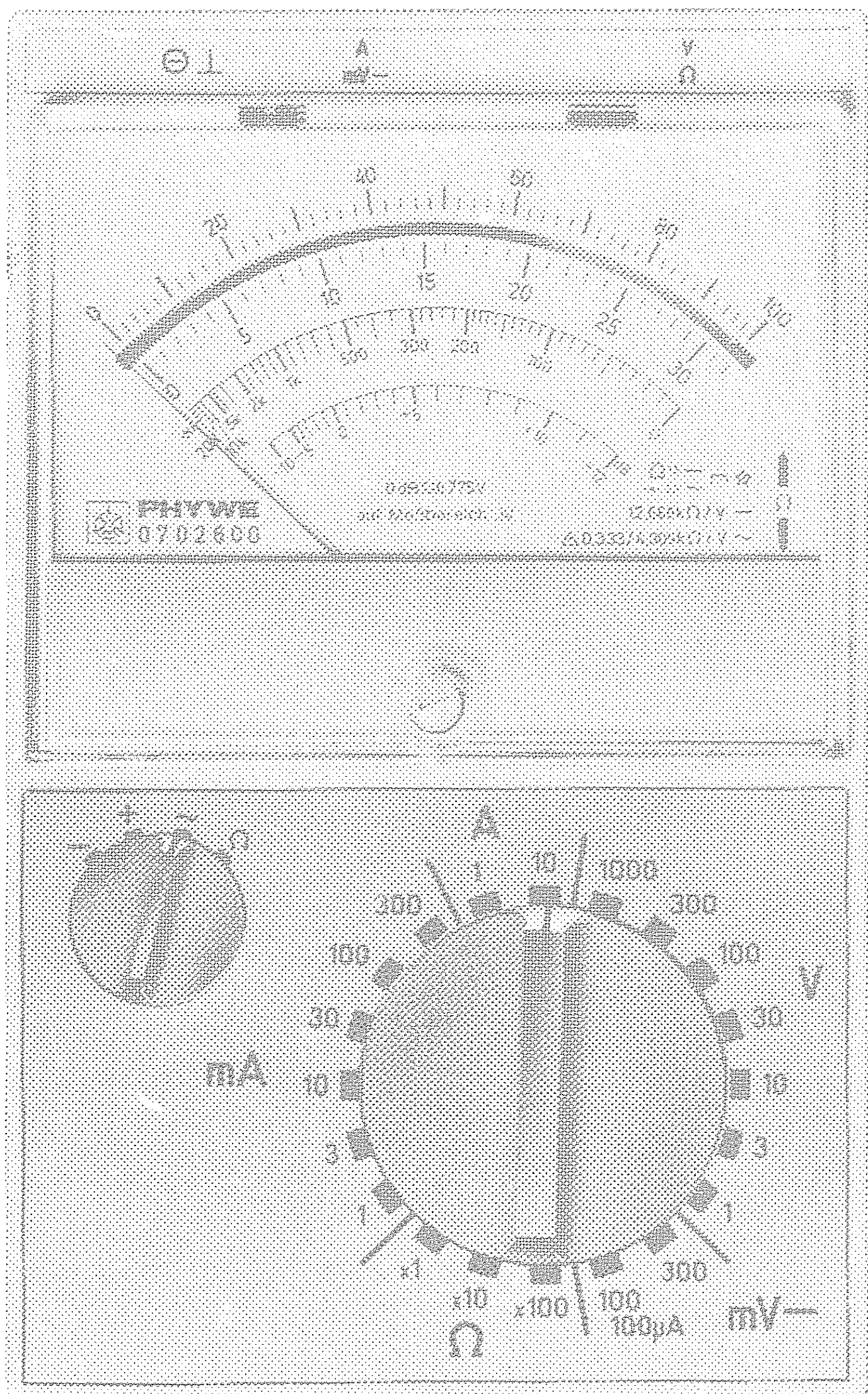


1983

Letnik 30

5

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO



Univerzalni merilnik



Iskra

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

LJUBLJANA, 1983

Uredniški odbor: France Avsec (gim. Kranj), Robert Blinc (FNT), Alojz Kodre (FNT), Edvard Kramar — **glavni urednik** (FNT), Peter Legiša (FNT), Jože Lep (VTŠ Maribor), Anton Moljk (FNT), Mitja Rosina (FNT), Tomaž Skulj (Iskra Ljubljana), Janez Strnad — **odgovorni urednik, urednik za fiziko** (FNT), Anton Suhadolc — **urednik za matematiko** (FNT), Ciril Velkovich — **urednik** (FNT), Ivan Vidav (FNT). Jezikovni pregled Marija Janežič. Slike je narisal Miha Štalec.

Naročnina: za posameznike 350.— din (za člane društva je že vračunana člana-rina), za dijake in študente 175.— din, za ustanove in podjetja 600.— din, za tujino 20 \$, posamezna številka 100.— din, dvojna številka 200.— din.

Dopise pošiljajte in list naročajte na naslov: Društvo matematikov, fizikov in astronomov SRS — Podružnica Ljubljana — Obzornik za matematiko in fiziko, 61111 Ljubljana, Jadranska c. 19, p. p. 6, tel. št. (061) 265-061/53, žiro račun 50101-678-47233, devizni račun pri Ljubljanski banki št. 50100-620-107-257300-5694/4.

Tisk: Tiskarna Ljudske pravice v Ljubljani, Kopitarjeva ul. 2. Naklada 1500 izvodov.

Izdajo revije sofinancirata Izobraževalna skupnost Slovenije in Raziskovalna skupnost Slovenije.

© 1983 DMFA SRS — 659
YU ISSN 0473—7466

Poština plačana na pošti 61102 Ljubljana

VSEBINA

Članki	Str.
Elektronske enote za obdelavo merskih podatkov (Jože Pahor)	129
Mikroračunalnik kot del merilnika (Andrej Likar, Miro Javornik, Miha Kos, Nevio Medoš, Mark Pleško)	136
Simulacija kot raziskovalna in učna metoda (Alojz Kodre)	150
Domače vesti	
Seminar »Elektronika in računalništvo v fizikalnem merstvu« (Jože Pahor) . .	154
Šola	
Merilnik majhnih premikov, sil ali temperature (Jože Pahor)	155
Električna analogna ura (Jože Pahor, Andrej Kregar)	157
Merilnik naboja (Jože Pahor)	159
Nove knjige (Janez Strnad)	III
Matematika-Fizika — zbirka univerzitetnih učbenikov in monografij	IV

CONTENTS

Articles	Page
Electronic units for data processing (Jože Pahor)	129
Microcomputers in measurements (Andrej Likar, Miro Javornik, Miha Kos, Nevio Medoš, Mark Pleško)	136
Simulation in research and teaching (Alojz Kodre)	150
Home news	154
School	155
New books	III, IV

Na ovitku: Univerzalni merilnik iz družine Iskrinih šolskih električnih instrumentov naj bi bil vselej pri roki, ko eksperimentiramo in delamo z elektronskimi komponentami.

ELEKTRONSKE ENOTE ZA OBDELAVO MERSKIH PODATKOV

JOŽE PAHOR

UDK 621.38.08

Obravnavamo ojačevanje in integracijo v merilnih sistemih in pojasnujemo ustrezna vezja.

ELECTRONIC UNITS FOR DATA PROCESSING

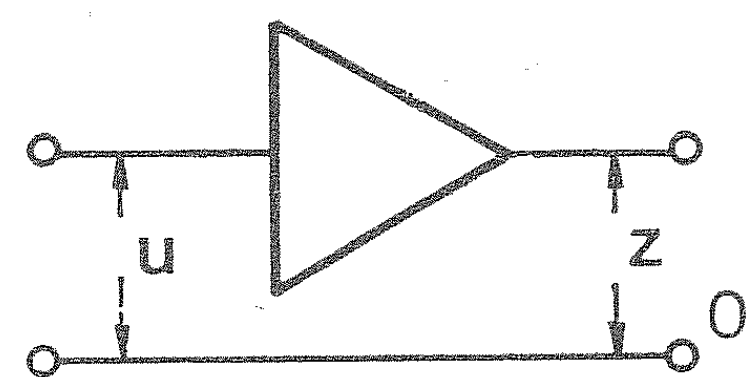
Amplification and integration in the measuring systems is discussed and the adequate basic circuits are explained.

Večina sodobnih meritev poteka prek električnih količin. To ni čudno, saj so take meritve zelo prikladne. Pri mehanskih meritvah majhnih premikov so na primer potrebni vzvodi ali zobata kolesca, ki napravijo premike zaznavnejše in bolj merljive. Pri meritvi temperature spet opazujemo majhne raztezke živega srebra po dvigu gladine v kapilari. Za vsako meritev posebej torej rabimo način, da majhnim premikom priredimo večje, zaznavnejše učinke. Če pa se odločimo za električno merjenje, je mogoče za opazovanje vseh majhnih pojavov uporabljati enak ojačevalnik napetosti.

Potrebujemo torej ojačevalnik napetosti. Nekdaj smo ga sestavili iz elektronk, potem iz tranzistorjev. Danes kupimo že izdelanega kot integrirano vezje. Stane približno 1 DM, ojačuje pa tudi do 10^5 -krat vse napetosti od enosmernih do izmeničnih s frekvenco nekaj MHz. Takemu ojačevalniku pravimo *operacijski ojačevalnik*.

Operacijski ojačevalnik v primernih vezjih zmore marsikaj, že sam pa je uporaben kot ničelni komparator (Sl. 1). Je neka vrsta tehtnice, ki pove, kdaj je vhodna napetost večja od 0 in kdaj manjša. To hitro uvidimo, če pri operacijskem ojačevalniku zapišemo zvezo med vhodno napetostjo u in izhodno napetostjo z :

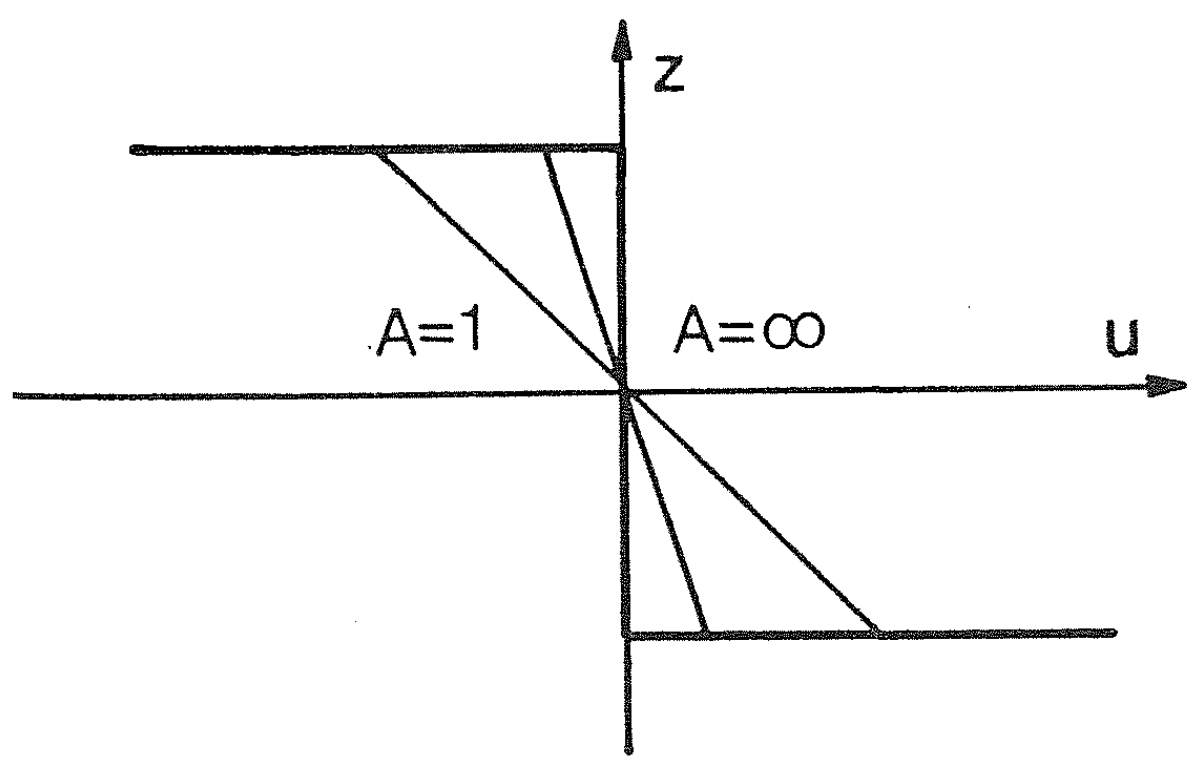
$$z = -A u$$



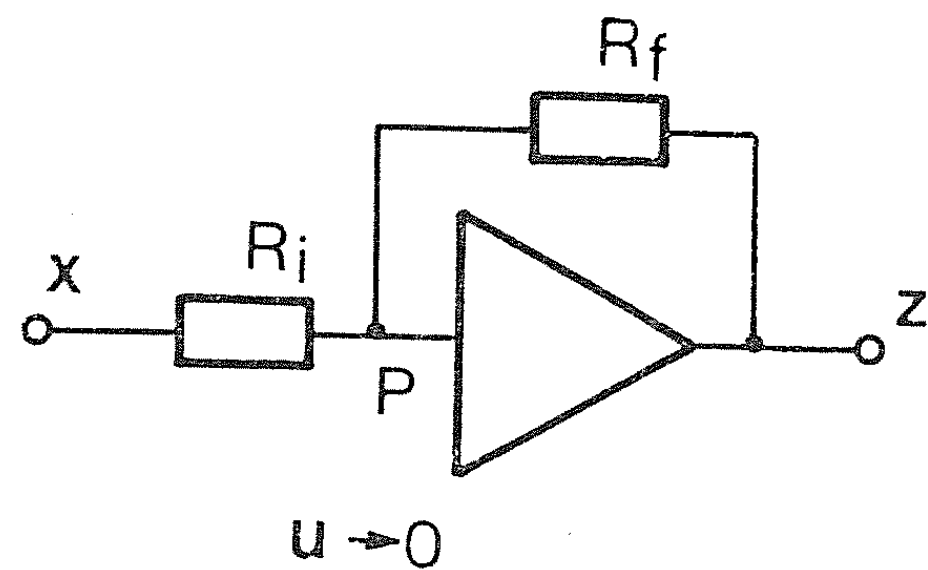
Sl. 1. Operacijski ojačevalnik

V praksi je izhodna napetost z seveda omejena in ne more biti večja od napajalne napetosti ojačevalnika. Realistično zvezo za nekaj rastočih vrednosti A podaja sl. 2. Pri vrednosti $A = 10^5$ izhodna napetost z praktično skokoma preide od maksimalne pozitivne napetosti do maksimalne možne negativne napetosti, ko gre vrednost vhodne napetosti prek 0. Operacijski ojačevalnik torej pove, kakšnega znaka je vhodna napetost u . Ker sta mogoča le dva odgovora, je to pretvorba informacije v Boolovo obliko.

Če uporabimo operacijski ojačevalnik v vezju, ki ga kaže sl. 3, lahko dosežemo kakršnokoli ojačenje $T = -R_f/R_i$. Dokaz je preprost. Po prvem Kirchhoffovem izreku je vsota tokov v točko P enaka 0. Od tam vodijo tri poti: skozi upor R_i na vhod ojačevalnika, skozi upor R_f na izhod ojačevalnika in naravnost v ojačevalnik. Ojačevalniki so danes tako izpopolnjeni, da teče



Sl. 2. Zveza med vhodno napetostjo u in izhodno napetostjo z pri operacijskem ojačevalniku, ki ga uporabljamo kot komparator



Sl. 3. Operacijski ojačevalnik kot ojačevalnik

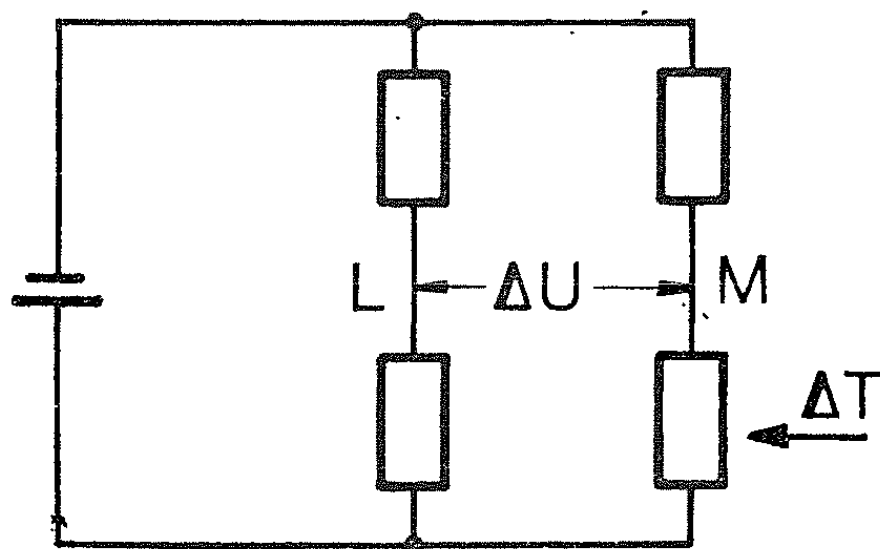
vanje neznamen tok I_b . Za tipičen sodoben ojačevalnik TL 071 meri tok na primer okoli 10^{-11} A. Torej morata biti tokova skozi oba upora enaka. Kolikšna sta? Izračunali bi ju lahko iz Ohmovega zakona $I = U/R$, če bi poznali napetost točke P proti zemlji. To napetost najdemo takole. Vsaka vhodna napetost u da na izhodu $-A$ -krat večjo napetost z . Velja pa tudi obratno: če je izhodna napetost z , je ustrezna vhodna napetost A -krat manjša, torej $u = -z/A$, kar je pri dovolj velikem A približno 0. Ker je torej na vhodnem uporu R_i napetost x in na uporu R_f napetost z , lahko izračunamo tokova, ju izenačimo in najdemo z kot:

$$z = -(R_f/R_i) x$$

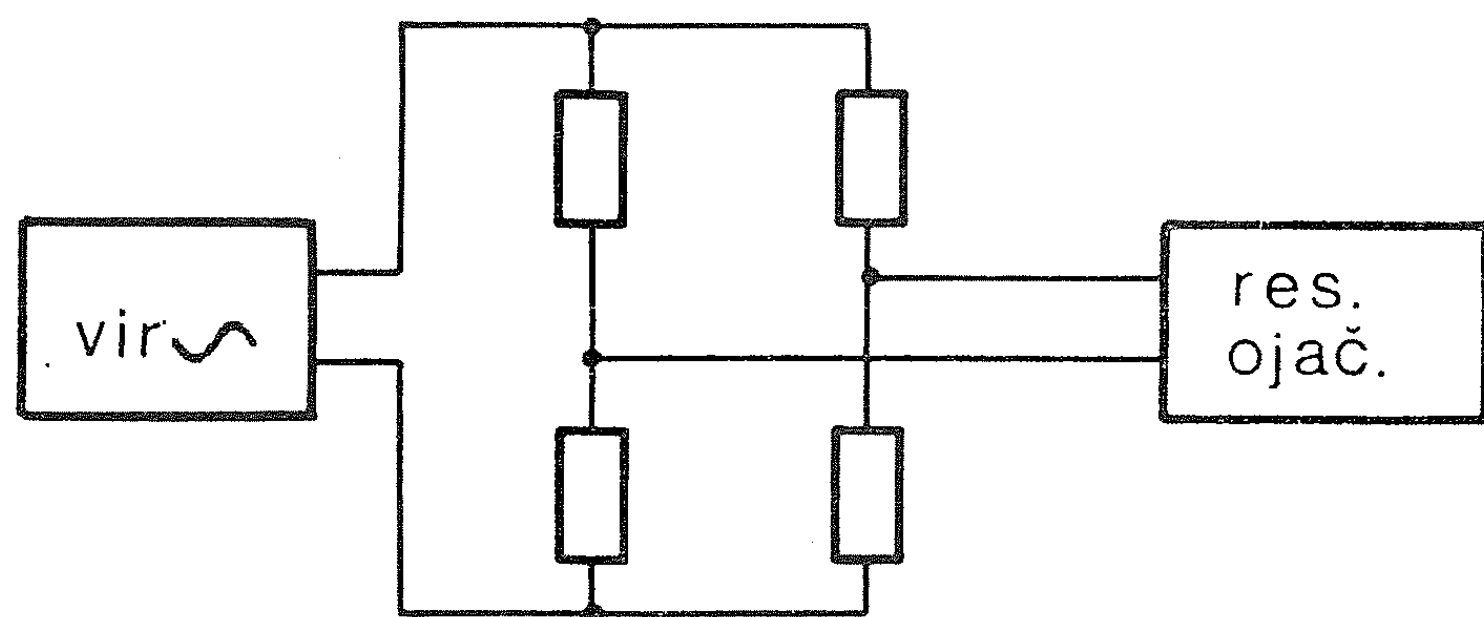
Ojačevalnik s poljubnim ojačenjem torej imamo. Očitno je, da mora biti razmerje R_f/R_i mnogo manjše od ojačenja operacijskega ojačevalnika. Za naš ojačevalnik TL 071 gremo lahko s tem razmerjem do nekaj tisoč.

Pri velikih ojačenjih, denimo nad 10^3 , pa bomo razočarani. Meritev majhnih napetosti ne bo zanesljiva. Zakaj? Zvežimo vhod x na zemljo in opazujemo izhodno napetost točke z . Spreminjala se bo morda za cel volt, ne da bi se česar koli dotaknili. Potreben bo boljši ojačevalnik. Tudi takšnega so že napravili. Ime mu je ICL 7650, vhod pa se mu sam od sebe spremeni kvečjemu za $0,2 \mu V$ na leto. Pri tisočkratnem ojačenju dá to $200 \mu V$ na leto. Meritev s takšnim ojačevalnikom bi bila zanesljivejša. Žal je desetkrat dražji od prejšnjega.

Marsikdaj lahko uporabimo drugačno, še boljšo rešitev. Vzemimo, da merimo temperaturo z Wheatstoneovim mostom (Sl. 4). Uravnovešenemu mostu pokvarimo ravnovesje, če enega od uporov segrejemo. Med točkama L in M se pojavi majhna napetost ΔU , sorazmerna s temperaturno spremembo ΔT . Vsaka dodatna napetost, ki se prikrade v meritev, pa seveda spremeni rezultat meritve, ki potem ni več zanesljiva.



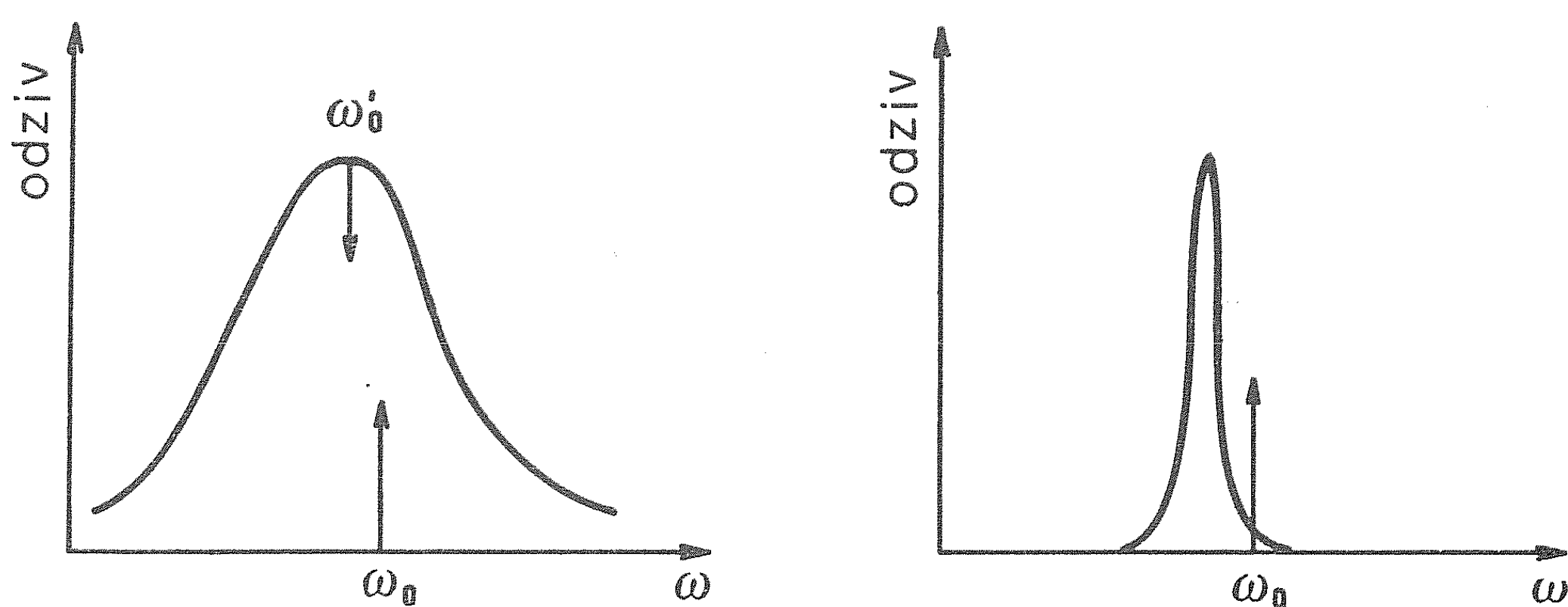
Sl. 4 a. Most, ki ga napajamo z enosmerno napetostjo



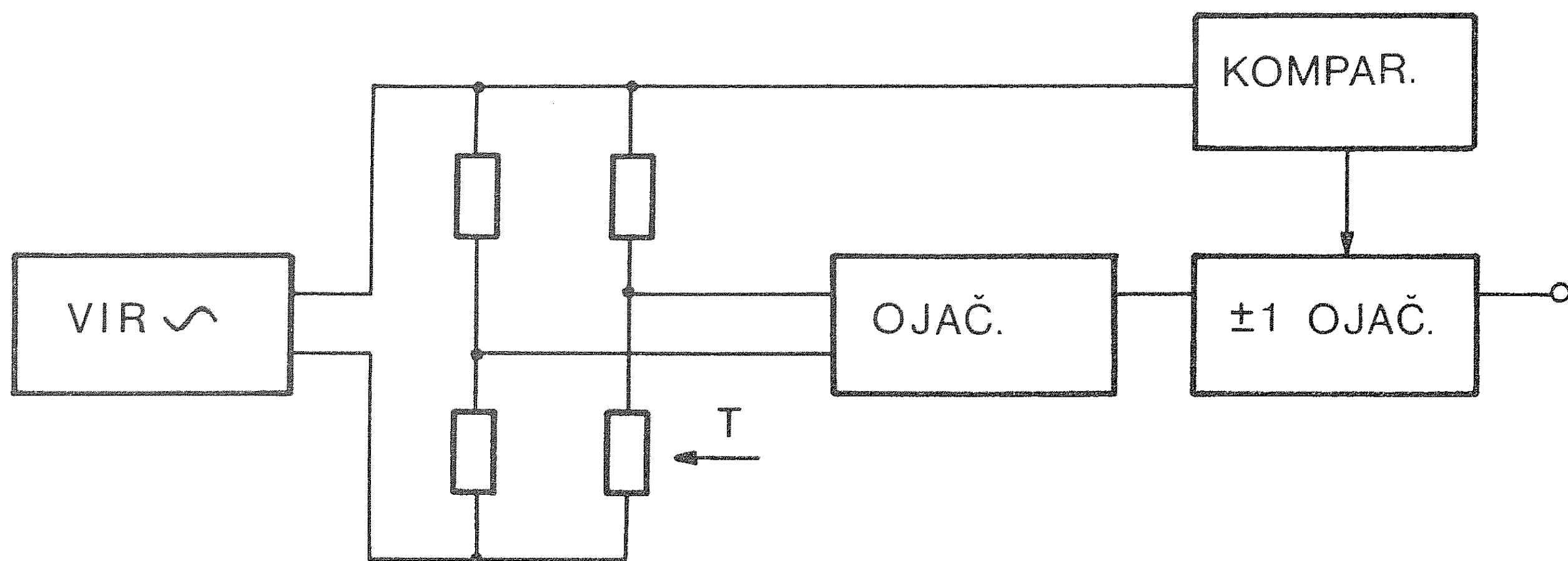
Sl. 4 b. Most, ki ga napajamo z izmenično napetostjo

Kaj če bi baterijo nadomestili z izvirom izmenične napetosti? Tedaj bi bila tudi napetost ΔU na mostiču izmenična in bi jo lažje razlikovali od nezaželenih napetosti. Izberimo si na primer napetost s frekvenco 1000 Hz. Ni posebno verjetno, da bi bilo natanko tako nihajočih napetosti kaj dosti naokoli.

Zdaj potrebujemo sistem, s katerim bomo opazovali samo takšno napetost in nobene drugačne. Kaj če bi v svoj ojačevalnik vgradili nihajni krog z resonančno frekvenco 1000 Hz? Metoda, ki so jo marsikdaj uporabljali, ima pomanjkljivost. Meritev bo tem zanesljivejša, čim ostrejšo resonanco ima krog. Tedaj pa se lahko zgodi, da merilni sistem nihanja ne čuti več zaradi spremembe resonančne frekvence kroga ali pa zaradi spremembe frekvence napajalne napetosti. Če se torej lastna frekvenca nihajnega kroga ali pa frekvenca pogonske napetosti za most le neznatno spremeni, se velikost merjenega signala zmanjša ali pa se popolnoma izgubi (Sl. 5).



Sl. 5. Težave z resonančnim ojačevalnikom



Sl. 6. Merilni sistem, ki uporablja fazno občutljivo demodulacijo

Bolj domiselno rešitev — merilni sistem s fazno občutljivo demodulacijo — kaže sl. 6. Ime izvira odtod, ker se signal z mostu pri spremembi temperature obnaša kot:

$$\Delta U \propto \Delta T \sin \omega t$$

To obliko poznamo iz tehnike radijskega prenosa kot amplitudno moduliran signal. Informacijo o temperaturi ΔT izluščimo iz ovojnice harmoničnega signala; signal torej demoduliramo. Pri fazno občutljivi demodulaciji pa izvir izmenične napetosti sam narekuje merilnemu delu, kaj naj ta opazuje. Zato ne more priti do frekvenčnih premikov.

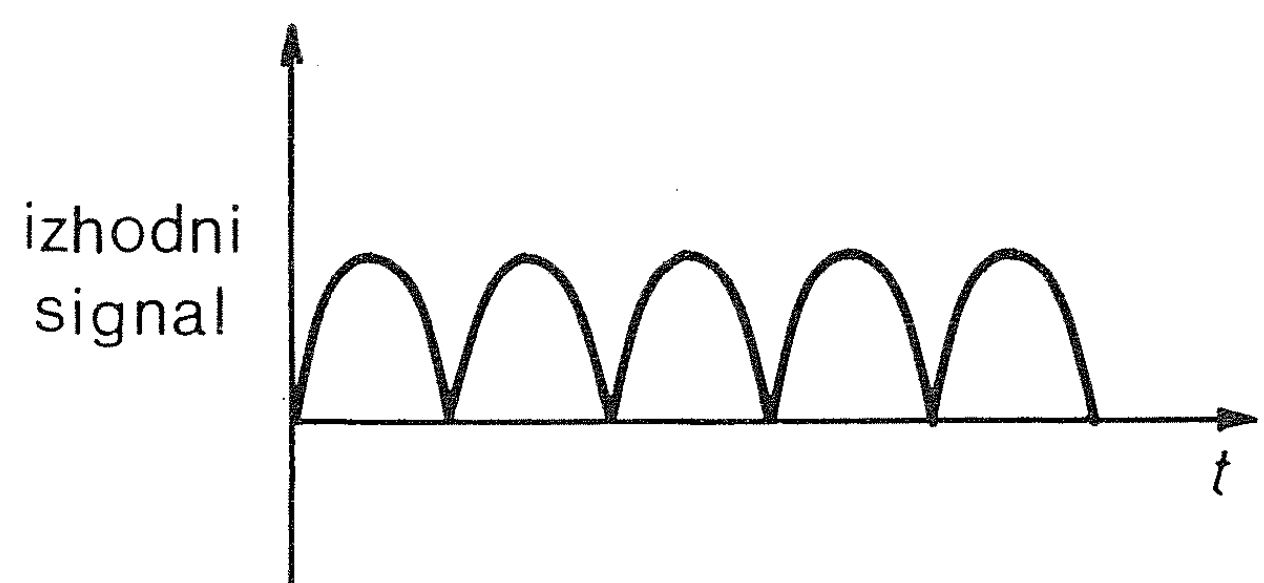
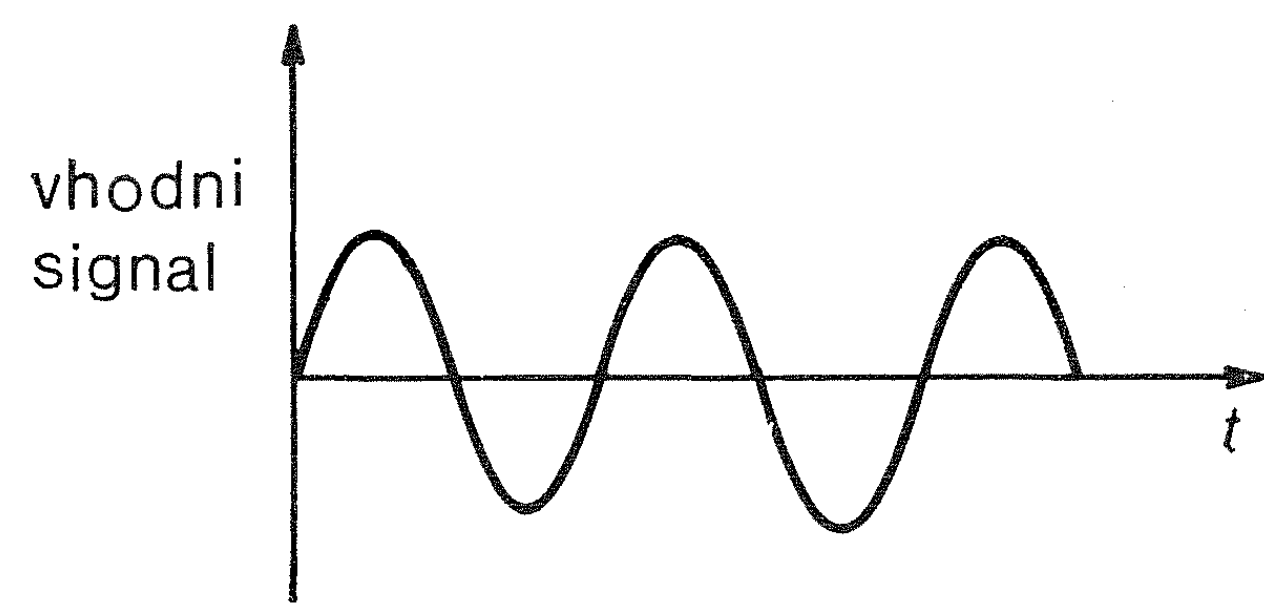
Razliko signalov z mostu ojačujemo spet z operacijskim ojačevalnikom v posebnem stiku, ki ga bomo spoznali kasneje. Močno ojačeni signal privedemo na ojačevalnik, ki mu lahko od zunaj izbiramo ojačenje $+1$ ali -1 .

Vzemimo, da je na vhodu tega ojačevalnika sinusni signal, ki bi ga radi prepoznali. Če izberemo v njegovih negativnih polperiodah ojačenje -1 , v pozitivnih pa $+1$, je izhodni signal usmerjen (Sl. 7 a) in je njegovo časovno povprečje sorazmerno amplitudi. Pa vzemimo, da se na vhodu takega ojačevalnika pojavi enosmerna napetost U' , ki bi v prejšnjem primeru motila, saj bi se prištevala k istosmernemu signalu. V našem primeru bo pri kontrolnem signalu, ki narekuje zaporedoma ojačenji $+1$ in -1 , vsako po pol periode, izhodna napetost kontroliranega ojačevalnika U' prvo polovico periode in $-U'$ naslednjo polovico periode. Izhodna napetost je torej izmenoma pozitivna in negativna, njeno časovno povprečje pa je 0. Podobno razmišljanje velja tudi za vsa nihanja, ki nimajo frekvence 1000 Hz. Naš ojačevalni sistem je občutljiv le za nihanja s točno določeno frekvenco (Sl. 7 b).

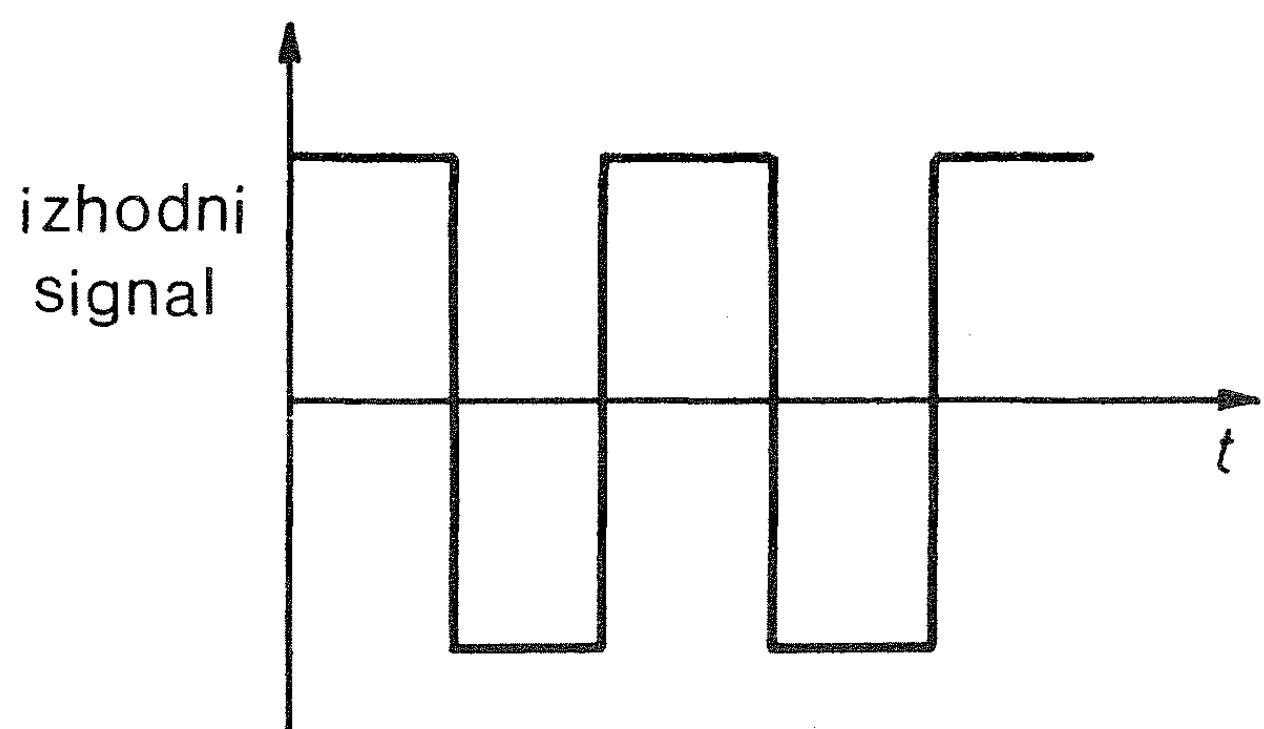
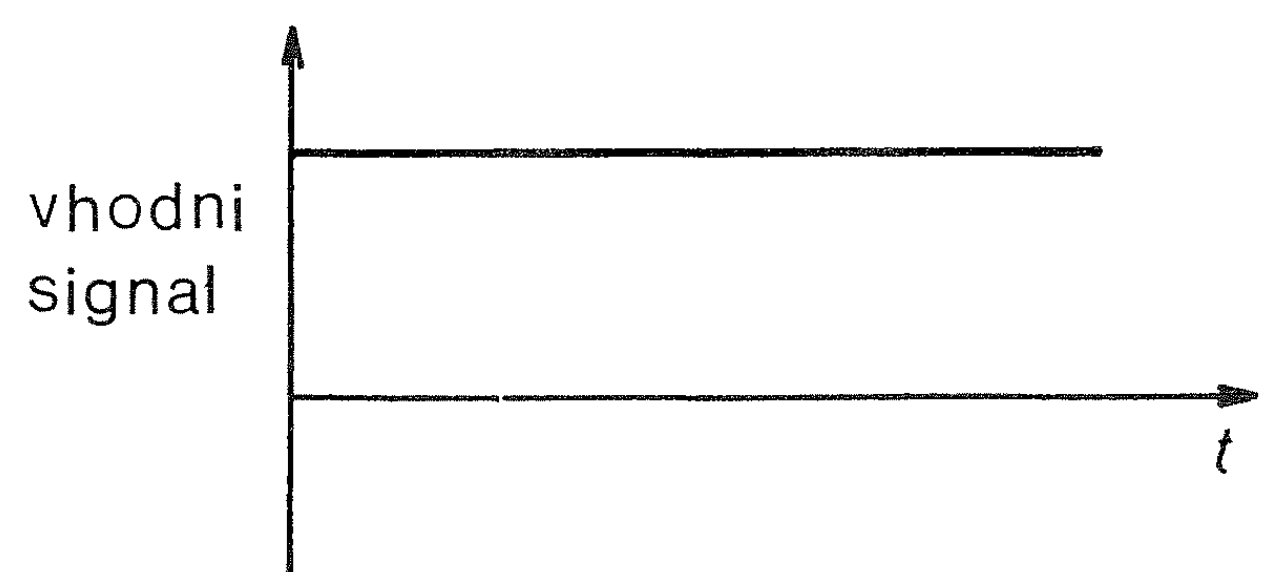
Pot do primernega kontrolnega signala ni težka. Izpeljemo ga iz vhodnega harmoničnega signala, ki ga tehtamo v ničelnem komparatorju. Kako pridemo do ojačevalnika, ki mu spreminjamo predznak ojačenja, bomo videli kasneje. Čas je, da spoznamo delovanje ojačevalnika razlike.

Večina operacijskih ojačevalnikov ima po dva vhoda, izhodni signal z pa je sorazmeren razliki obeh vhodnih signalov u in v :

$$z = A(v - u)$$



Sl. 7 a. Usmerjanje sinusne napetosti



Sl. 7 b. Odziv fazno občutljivega demodulatorja na enosmerni vhodni signal

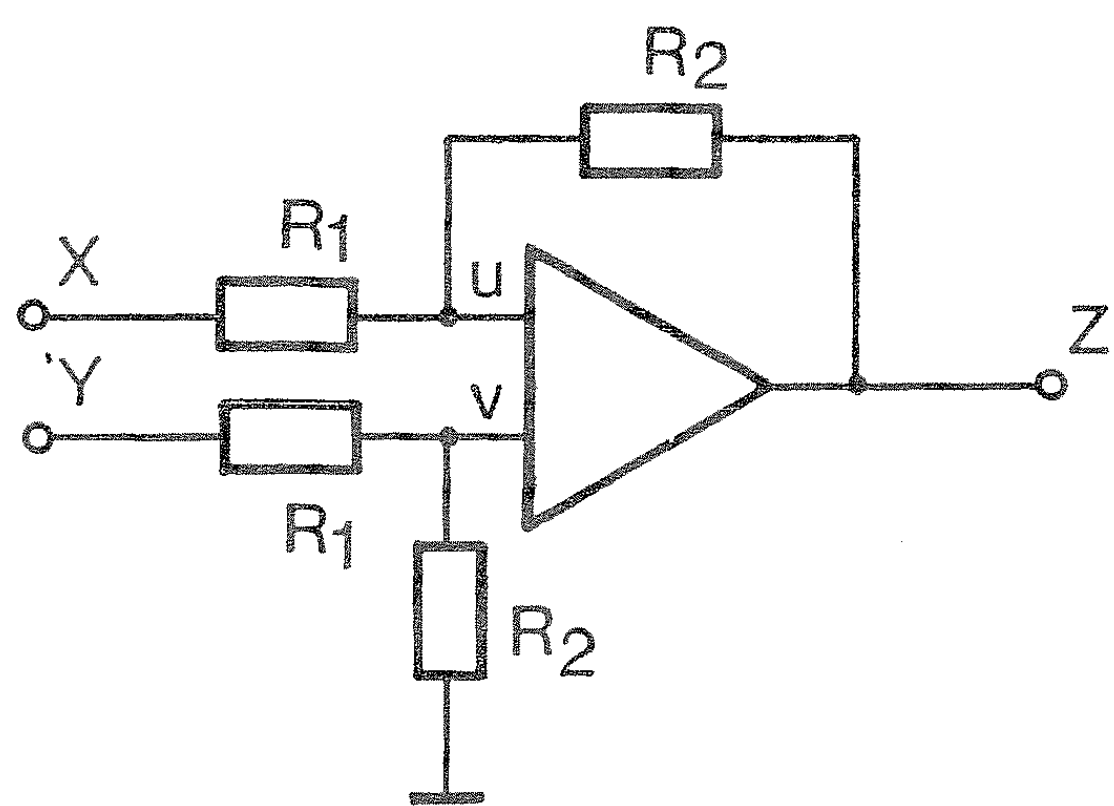
Vsa svoja dosedanja vezja lahko sestavimo s takim ojačevalnikom, če vhod v ozemljimo. Dodatno pa uporaba spodnjega vhoda omogoča sestavo novih, koristnih vezij. Tak je *ojačevalnik razlike* (Sl. 8), ki omogoča ojačevanje signala z Wheatstoneovega mostu.

Napetost v , neodvisna od z , je sorazmerna vhodni napetosti y :

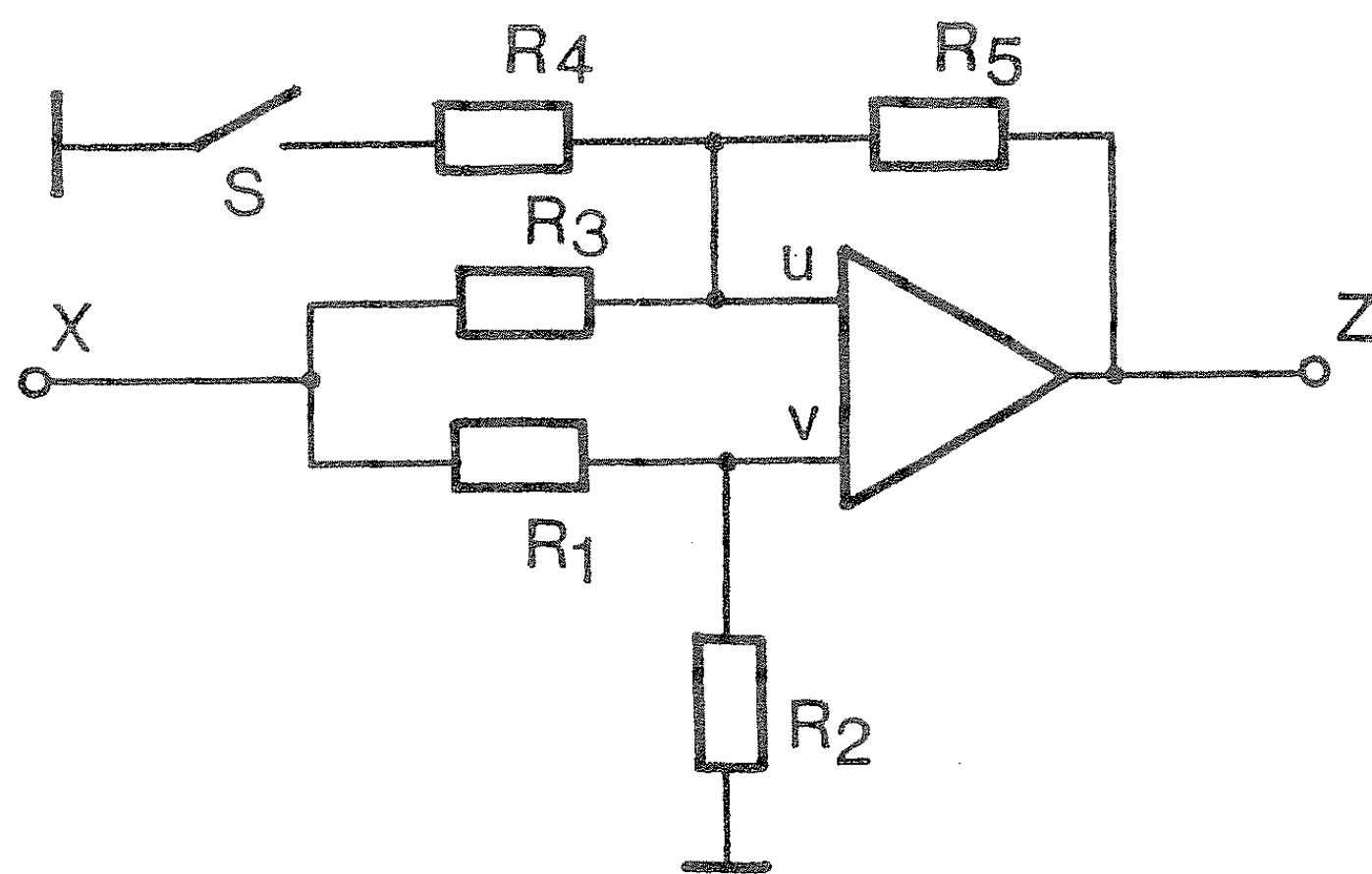
$$v = R_2/(R_1 + R_2) y = \alpha y$$

Tolikšna mora biti tudi napetost $u = \alpha y$, kajti pri končni napetosti z in pri ojačenju ojačevalnika A , ki narašča čez vsako mejo, mora iti razlika $u - v$ proti 0. Kot prej je vsota tokov v točko P enaka 0, le da poganja tok skozi upor R_1 razlika napetosti $x - u$, tok skozi upor R_2 pa $z - u$. Odtod izračunamo:

$$z = (R_2/R_1) (y - x)$$



Sl. 8. Ojačevalnik razlike



Sl. 9. Ojačevalnik z ojačenjem $+1$ ali -1

Enačba preide v že znano obliko $z = -(R_2/R_1) x$, če je $y = 0$.

Tudi vezje, ki ima ojačenje $+1$ ali -1 , uporablja operacijski ojačevalnik z obema vhodoma (Sl. 9). Ker sta upora R_1 in R_2 enaka, je na vhodu v napetost $x/2$. Tolikšna je tudi napetost na vhodu u . Tja teko trije tokovi; enega lahko prekinemo, če odpremo stikalo S. Tako ima sistem dve različni ojačenji: $+1$ ali -1 , če so razmerja uporov $R_3 : R_4 : R_5$ kot $1 : (3/4) : 3$.

Koristna enota je *integrator*. Na vhod posebnega vezja priključimo napetost x , izhodna napetost z pa je sorazmerna časovnemu integralu

$$z \propto \int x dt$$

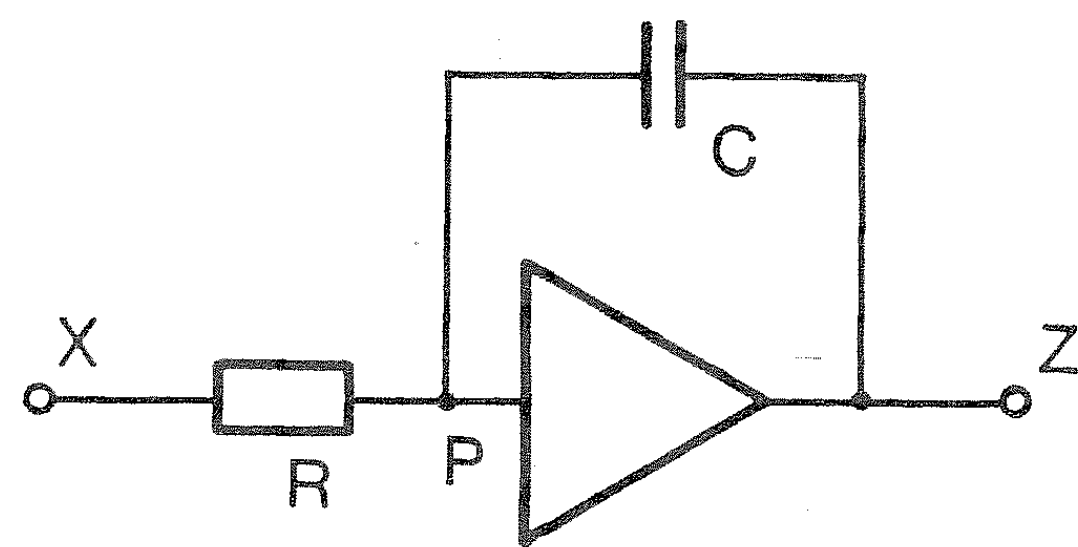
S tako enoto lahko na primer izmerimo dolžino časovnega intervala T , če v tem časovnem intervalu integriramo konstantno napetost x_0 .

V tem primeru smo uporabili integrator kot uro. Če bi merili hitrost, bi lahko z električno integracijo neposredno dobili pot in podobno.

Vezje, ki dela kot integrator, kaže sl. 10. Vemo, da je napetost med točko P in zemljo majhna — približno 0 — in da je vsota tokov skozi upor in skozi kondenzator enaka 0. V kondenzator teče konstanten tok I_c , če se napetost na njem enakomerno spreminja: $I_c = C(dU_c/dt)$. Ker je pri nas $U_c = z$, sledi:

$$z = (RC)^{-1} \int x dt$$

S tem smo pokazali, da integrator res integrira vhodno napetost.



Sl. 10. Integrator

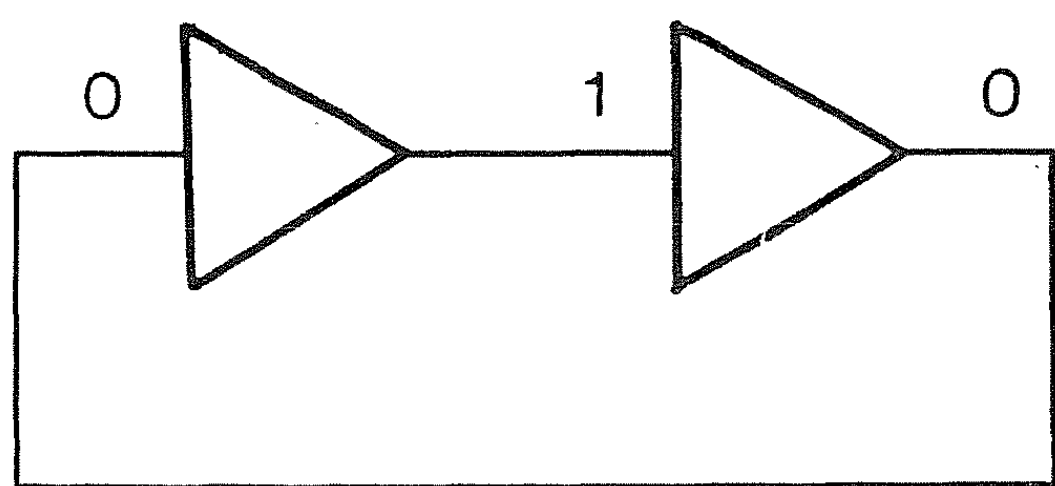
Za fizika je zanimiva še ena uporaba integratorja. Z njim lahko pretočimo naboj e_x iz kondenzatorja C_x v kondenzator C , le predznak se spremeni. Torej sledi iz $e_x = e_c$ tudi $C_x U_x = -C \cdot z$, kar omogoča meritev naboja prek napetosti z . Dokaz je preprost. Ker je tok I_R enak toku $-I_c$, velja tudi naslednja enačba:

$$I_R dt = -I_c dt$$

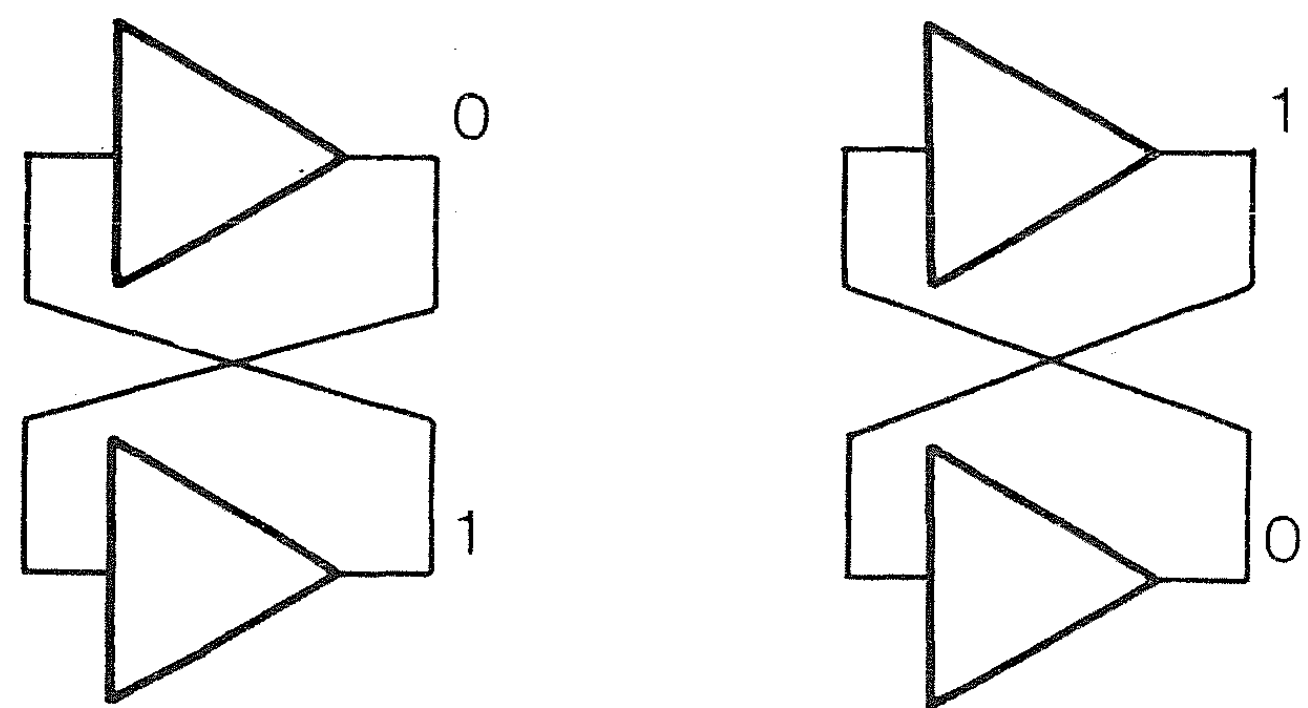
Produkt $-I_c dt$ podaja naboj $-de$, ki je pritekel v kondenzator C , $I_R dt$ pa naboj, ki se je pretočil skozi upor R iz kondenzatorja C_x . Ker se pretakanje nadaljuje, dokler je v kondenzatorju C_x še kaj naboja, sta enaka tudi celotna naboja e_x in e , kar smo želeli dokazati.

Če bi radi z integratorjem merili kratke čase, potrebujemo stoparico. Taka ura na prvi pritisk steče, na drugi se ustavi. Radi bi merili čas električno, torej naj na prvi električni sunek integracija steče, na drugi naj se ustavi. Kaj pa vmes? Potrebujemo element, ki si zapomni prvi sunek in tako omogoči integracijo, drugi sunek pa bo informacijo spet izbrisal iz spomina. Kako do takega elementa?

Vzemimo, da imamo ojačevalnik, ki na majhno vhodno napetost odgovori z veliko izhodno napetostjo, na veliko vhodno napetost pa z majhno izhodno napetostjo. Dogovorimo se, da pomeni 0 majhno napetost, 1 pa označuje veliko napetost. Tako lastnost ima tudi operacijski ojačevalnik, če se domenimo, da ustreza stanju 0 negativna napajalna napetost, stanju 1 pa pozitivna napajalna napetost. Dva taka ojačevalnika spojimo v zanko, kot kaže sl. 11. Naj bo vrednost signala na vhodu prvega ojačevalnika 0. Tedaj je signal na izhodu prvega ojačevalnika 1, signal na izhodu drugega ojačevalnika pa 0. Sistem je v stabilnem ravnovesju: če signal kjerkoli nekoliko spremenimo, pa pustimo sistem spet samemu sebi, se spet vzpostavi prvotno stanje. Popolnoma enako vezje kot na sl. 11, vidimo na sl. 12: očitno je, da sta ojačevalnika



Sl. 11. Flipflop



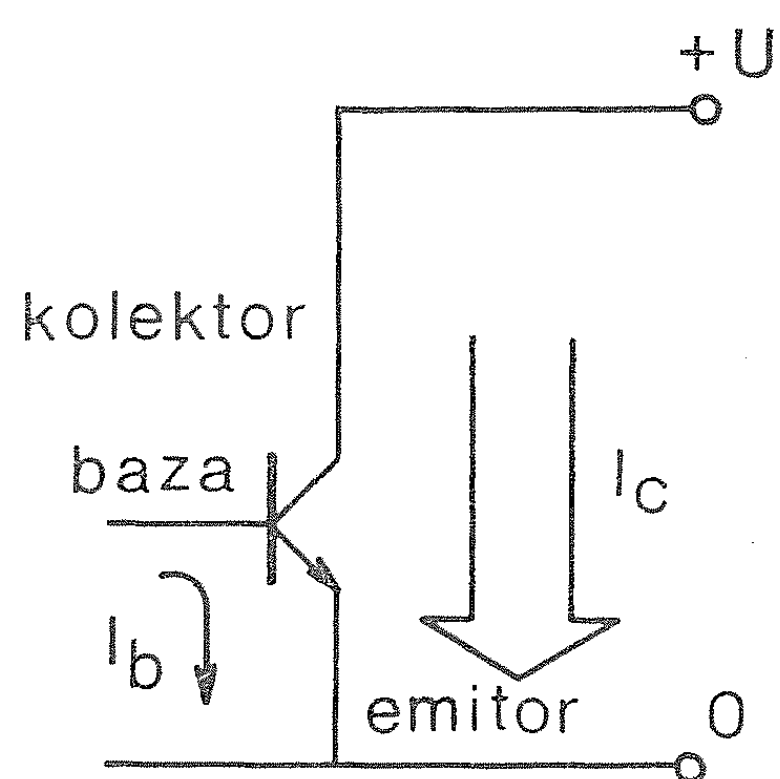
Sl. 12. Flipflop, narisano drugače

enakovredna, vezje je namreč simetrično. Torej nastopa lahko tudi tako stabilno stanje, da bo izhod prvega ojačevalnika 0, izhod drugega pa 1. Tako smo spoznali vezje, ki ima dve stabilni legi. Pravimo mu *bistabilni multivibrator* ali krajše *flipflop*. Flipflop je preprost pomnilni element. Vzemimo, da pove oznako stanja prvi ojačevalnik. Tedaj napoveduje vezje A nič, vezje B pa ena. Večjih števil z enim flipflopom ni mogoče povedati. Če uporabimo dva, pa se številčni zaklad podvoji: 00, 01, 10 in 11 so namreč kombinacije izhodov pri dveh flipflopih, ki ustrezajo številom 0, 1, 2 in 3. Tako gradimo naprej. Vsak dodatni flipflop podvoji številčni zaklad.

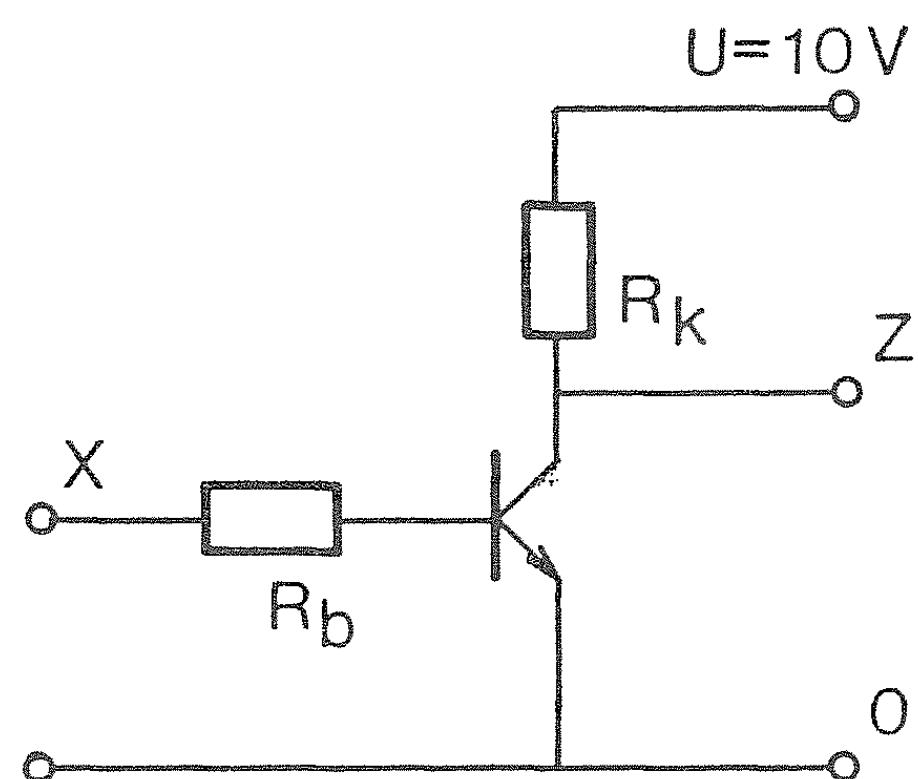
V vaji V4 bomo potrebovali le en flipflop, ki bo pomnil, kdaj poskus teče. Če zvežemo integrator z izvirom konstantne napetosti prek stikala, bo integrator integriral, dokler tiščimo stikalo. Izhodna napetost bo tem večja, čim dlje pritiskamo na gumb. Dobili smo stoparico. Kratkih časov bi seveda ne mogli dobro nadzorovati ročno. Zato skušamo dobiti električna signala, od katerih prvi požene, drugi pa ustavi uro. Polvodniško stikalo upravlja flipflop. Ko ga aktiviramo z električnim sunkom, se izhod prevesi, denimo iz 0 v 1, ter ostane tam, dokler ga naslednji sunek na drugem vhodu ne vrne spet v stanje 0.

V sodobni elektroniki si flipflopov tako kot operacijskih ojačevalnikov ne gradimo sami iz tranzistorjev. V majhni škatlici — *mikrovezju* — kupimo vsaj dva flipflopa, če ne štirih ali osmih. Gotovo pa ne bo škodilo, če se seznanimo z delovanjem najenostavnejšega flipflopa, ki ga sestavljata le dva tranzistorja in nekaj uporov.

Spoznavmo tranzistor! Tranzistor je polprevodniški element s tremi elektrodami: bazo, kolektorjem in emitorjem. Če teče tok na progi baza—emitor (Sl. 13), terja ta tok do nekaj stokrat večji tok na progi kolektor—emitor; seveda, če je na kolektorju vsaj nekaj napetosti. Ojačevalnik, ki ga potrebujemo za sestavo flipflopa, vsebuje tako dva upora in tranzistor (Sl. 14).



Sl. 13. Delovanje tranzistorja



Sl. 14. Ojačevalnik s tranzistorjem

Dokler je napetost vhodne sponke x proti zemlji majhna, ne teče tok skozi bazni upor R_b in prek baze v emitor. Zato tudi ni zahteve po toku na progi kolektor—emitor. Ker ni toka skozi tranzistor, tudi ni toka skozi kolektorski upor R_k in je na kolektorju, kjer je izhod ojačevalnika z kar napajalna napetost, denimo, 10 voltov. Če pa priključimo na vhodno sponko x pozitivno napetost nekaj voltov, steče skozi bazni upor R_b in prek baze v emitor tok nekaj miliamperov. Ta tok zahteva nekaj sto miliamperov skozi progo kolektor—emitor in skozi kolektorski upor R_k . Zdaj tranzistor prevaja tok. Zahtevi po tolikšnem toku pa celo pri popolnoma prevodnem tranzistorju ni mogoče ustreči. To tudi ni potrebno, saj je zdaj na kolektorju le neznatna napetost. Izhod z je na napetosti približno 0 V, ko je vhod x na veliki napetosti. Pokazali smo, da se vezje vede tako, kot smo želeli. Dva taka ojačevalnika sta primerna za sestavo najpreprostejšega flipflopa.

Čas je za predah. Lahko bi sicer še nadaljevali, toda z večanjem znanja bi se širil tudi krog vprašanj.

MIKRORAČUNALNIK KOT DEL MERILNIKA

ANDREJ LIKAR, MIRO JAVORNIK, MIHA KOS, NEVIO MEDOŠ
in MARK PLEŠKO

UDK 681.32

V članku obravnavamo zgradbo mikroračunalnika in njegovo delovanje pri zajemanju merskih podatkov. Za ilustracijo opišemo nekaj preprostih merilnikov in dva simulacijska programa.

MICROCOMPUTERS IN MEASUREMENTS

Basic architecture of microcomputers and their operation in data collection is presented. A few examples of simple microprocessor-based measuring devices are given along with two simulation programs.

Uvod

Možnosti za uporabo mikroprocesorjev so danes zelo številne. V članku se omejimo na uporabo mikroprocesorjev pri merjenjih, kjer bistveno olajšajo načrtovanje in uporabo zapletenih merilnikov. Sodobna merjenja so povezana z zajemanjem in obdelavo številnih podatkov, kar lahko zanesljivo in v doglednem času opravimo le z računalnikom. Prav tako je za fizikalna merjenja v laboratoriju značilno, da tudi ena sama vrsta merjenj ni statična in rutinska. Tako delo zmoremo le z merilniki, ki jih je mogoče na široko programirati. Pred leti so tem zahtevam zadostili z uporabo procesnih mini-računalnikov, danes pa jih vse bolj izpodrivajo mikroračunalniki, ki so poceni, zmogljivi in vse hitrejši.

Izredne uporabnosti mikroračunalniških sistemov v šoli pri nas še ne poznamo dovolj. Z mikroračunalnikom lahko simuliramo pojave ter zapletene, drage in nevarne poskuse. Šolske poskuse, ki jih vodi mikroračunalnik, lahko izvajamo v mnogo večjem številu različic in bolj poučno, kot je v navadi danes.

V prvem delu predstavimo mikroračunalnik, in sicer povemo prav na kratko, kako je zgrajen in kako deluje. V drugem delu opišemo, kako ga programiramo, ko želimo z njim zajemati podatke. Naposled s primeri ilustriramo uporabo mikroračunalnikov pri meritvah in simulacijah.

Delovanje in zgradba mikroračunalnika

Mikroračunalnik je družina, ki jo sestavljajo mikroprocesor, spomin ter priključki za povezavo z okolico. Vse spominske celice ter priključki za povezavo imajo svoje naslove. Povezave med mikroprocesorjem in drugimi člani njegove družine teko po vodilih. Potrebujemo tri vodila. Po enem mikroprocesor sporoča naslove družinskih članov, s katerimi bi želel povezavo. Temu vodilu pravimo zato naslovno vodilo. Sestavlja ga šop žic, s katerimi je povezana vsa družina. Člani družine morajo biti tako ožičeni, da se na naslov, ki ga mikroprocesor postavi na vodilo, odzove le klicani element. Vodilo v našem mikroračunalniškem sistemu ima 16 žic, kar omogoča

binarno naslavljanje $2^{16} = 65536$ naslovov. Največ naslovov zasedajo spomin-ske celice, nekaj deset pa priključki za povezavo.

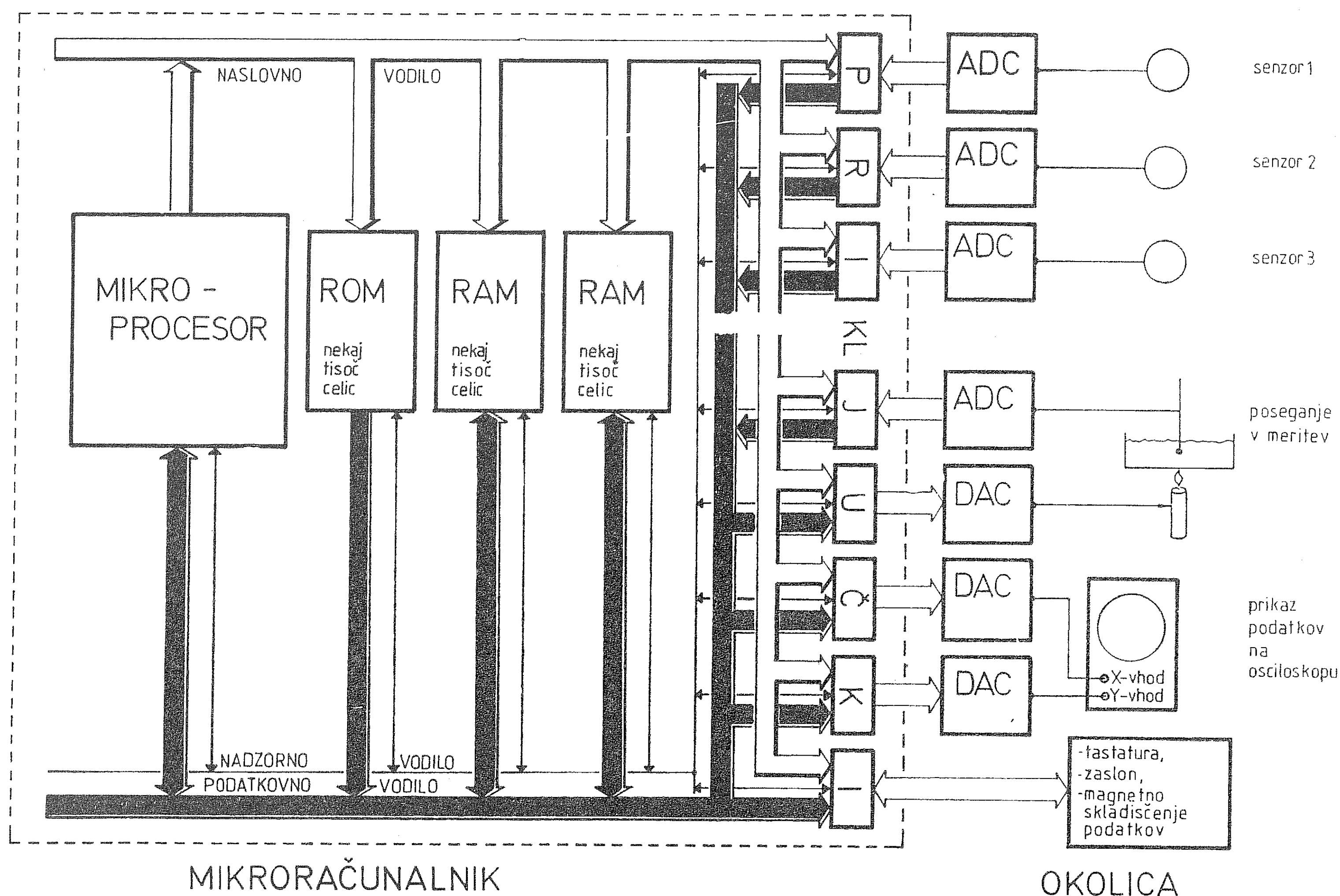
Podatki, ki so shranjeni v družinskih članih, tečejo do mikroprocesorja po podatkovnem vodilu. Mikroprocesor lahko tudi shrani podatek v izbranem družinskem članu tako, da postavi podatek na podatkovno vodilo, na naslovno vodilo pa naslov člana. Pri nas je podatkovno vodilo sestavljeno iz osmih žic.

Za sinhronizacijo med mikroprocesorjem in drugimi člani družine skrbi nadzorno vodilo. Po njem mikroprocesor sporoča svoje stanje, ali bi želel branje ali zapis podatka, prav tako pa izbrani člani sporočajo, če so pripravljeni za stik z mikroprocesorjem.

Delovanje mikroprocesorja krmili program, ki je shranjen v spominu. Mikroprocesor naslovi spominsko celico, ki hrani ukaz, ga prebere, razpozna ter opravi. Nato naslovi celico z naslednjim ukazom in stvar se ponovi. Z ukazi, ki jih procesor razpozna, prenašamo podatke med člani družine, računsko obdelujemo podatke, ki smo jih prenesli v mikroprocesor, ter usmerjamo potek dela glede na rezultate že opravljenih ukazov. S smiselnim zaporedjem ukazov, ki jih naložimo v spomin, mikroprocesor samostojno nadzira zaje-manje in obdelavo podatkov ter prikaz rezultatov. Takemu zaporedju ukazov pravimo program.

Nabor ukazov, ki jih mikroprocesor pozna, je pri večjih mikroprocesorjih daljši, ukazi pa zmogljivejši. Manjši mikroprocesorji razpoznavajo okrog 70 ukazov, zmogljivejši pa tudi več sto.

Na shematični sliki mikroračunalnika (sl. 1.) so vodila narisana z debe-lejšimi črtami. Na mikroračunalnik, ki je del merilnika, moramo priključiti



Sl. 1. Osnovna zgradba mikroračunalnika

analogno-digitalni pretvornik, ki poskrbi, da se napetostni signal iz senzorja spremeni v digitalno obliko, s katero lahko mikroprocesor dela. Digitalno-analogni pretvornik omogoči mikroračunalniku, da sam posega v merilni postopek, kar izrabimo pri samodejnih ali ponavljajočih se meritvah. Mikroračunalnik pokaže vse svoje prednosti takrat, ko moramo meritev opravljati z množico senzorjev. Vsakemu mikroračunalniku moramo priključiti še vsaj eno napravo, po kateri smo sami povezani z njim.

Spominski elementi so danes izključno polprevodniški in tvorijo dva razreda. V prvem je spomin, iz katerega lahko le beremo (ROM, PROM, EPROM), v drugi razred pa spada spomin, kamor lahko podatke tudi spravljamo (RAM). V spominu, ki ga lahko le beremo, so podatki »zacementirani« in neizbrisni. Primeren je za shranjevanje programov, ki jih v sistemu ves čas rabimo. V RAM spravljamo izmerke in rezultate obdelave ter vmesne rezultate. Ker se podatki v teh spominih izgubijo, ko računalnik izključimo, moramo rezultate izpisovati na papir ali magnetna skladišča podatkov.

Mikroračunalnik lahko kupimo po kosih, ki so narisani kot pravokotniki (sl. 1), doma pa ga sestavimo. Velikost spomina in njegov tip, število merilnih in drugih naprav lahko prilagajamo in optimiziramo tako, da zadostimo fizikalnim in ekonomskim zahtevam merilnika.

Način dela z mikroprocesorjem pri zajemanju podatkov

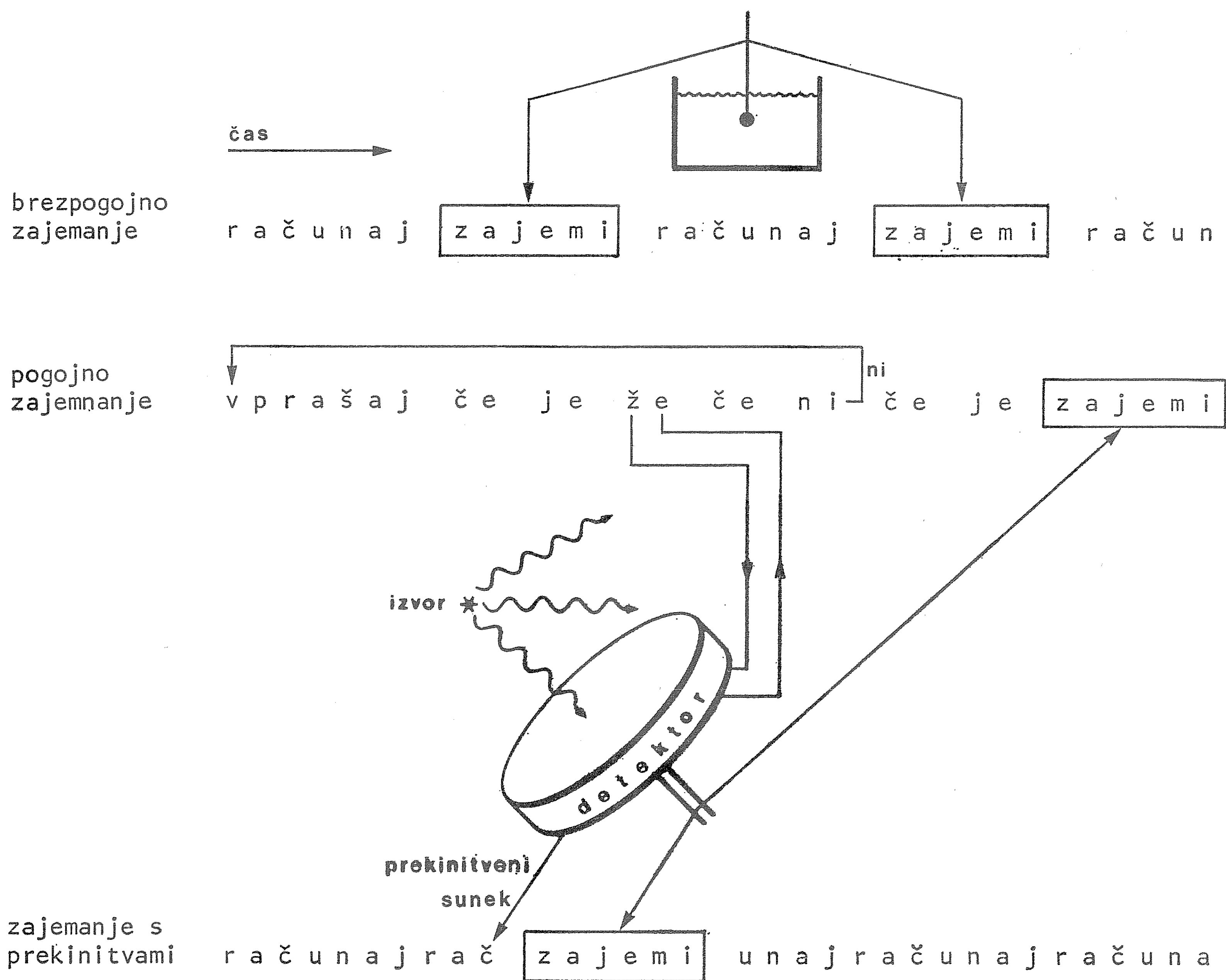
Zajemanje podatkov programiramo na tri načine (Sl. 2). V prvem zajema mikroprocesor izmerke iz senzorjev v zaporednih trenutkih, ki jih določimo s programom. Pri tem ne kontroliramo, če je analogno-digitalna (AD) pretvorba opravljena ali ne, prav tako ne preverjamo, če je senzor že sporočil izmerek ali ne. S takšnim načinom, ki mu pravimo brezpogojni, lahko zajemamo na primer temperaturo, ker lahko termometre vsak hip odčitamo.

Na opisani način ne moremo zajemati podatkov iz merilnika amplitude napetostnih sunkov, če se le-ti pojavljajo naključno, kar velja za večino jedrskih merjenj. V tem primeru moramo programirati zajemanje tako, da senzor ves čas sprašujemo, če je sunek že prišel. Ko senzor odgovori pritrdilno, počakamo na AD pretvorbo in preberemo izmerek. Takemu zajemanju pravimo pogojno zajemanje ali zajemanje s spraševanjem. Slabost tega načina je, da se mikroprocesor ves čas ukvarja z brezplodnim spraševanjem in ga ne moremo uporabiti za kaj drugega.

Mikroprocesorji imajo možnost, da senzor sam prekine izvajanje nekega programa in sproži izvajanje programa za zajemanje podatkov. Ko je zajem končan, mikroprocesor nadaljuje delo po starem programu. Če poskrbimo, da je ob povratku iz programa za zajemanje podatkov stanje mikroprocesorja tako kot pred prekinitvijo, se prekinitev čuti le kot rahla zamuda pri izva-
janju osnovnega programa.

Primeri

Vaje razvrstimo v dve skupini. V prvi uporabljamo mikroračunalnik kot simulator. V prvi vaji simuliramo jedrski razpad, v drugi pa rišemo tir delca, ki se giblje v poljubnem dvodimenzionalnem polju sil. V drugo skupino sodijo vaje, pri katerih je mikroračunalnik del merilnika. Tako v tretji vaji mikroračunalnik meri časovne razmike med zaporednima sunkoma iz Geiger-



Sl.2. Vsaka črka ustreza enemu osnovnemu ukazu, ki ga mikroprocesor razume. Izraz *računaj* se tu nanaša na katerokoli zaporedje ukazov, ki ni povezano z zajemanjem podatkov. Izraz *zajemi* pa nakazuje del programa, ki skrbi za zajem in prenos podatka v vnaprej določeno spominsko celico

Müllerjeve šteвне cevi ter jih ureja po velikosti. Ta merilnik je preprost spektralni analizator, ki je zgodovinsko gledano prvi procesni računalnik. Četrta vaja kaže uporabo mikroračunalnika pri preprosti meritvi vztrajnostnega momenta obroča. Računalnik zajema zasuk vretena v enakomernih časovnih presledkih. Senzor zasuka je kar linearni potenciometer-helipot. Iz zajetih podatkov nato izračuna hitrost in pospešek kot funkciji časa ter končno sporoči izmerjeno vrednost vztrajnostnega momenta. Računalnik prikaže vse izmerke ter izračunane funkcije na zaslonu osciloskopa. V zadnji vaji nastopa povprečevalnik šuma kot zgled za bolj zapleten merilnik.

Vse vaje so zastavljene tako, da je mogoče spreminjati potek meritev ali parametre merilnikov. Oglejmo si podrobneje njihove opise.

1. Simulacija jedrskega razpada

Mikroračunalnik simulira razpad radioaktivnih jeder, ki ga štejemo med osnovne slučajne procese. Naj bo verjetnost, da jedro razpade v časovnem intervalu dt , sorazmerna le s širino intervala ter neodvisna od tega, koliko časa jedro že obstaja. Označimo verjetnost z dw in jo zapišimo kot:

$$dw = dt/\tau$$

$1/\tau$ je sorazmernostni koeficient. Verjetnost izmerimo tako, da si izberemo radioaktivno jedro, ga opazujemo čas dt in zapišemo, kdaj razpade. Nato izberemo novo jedro. Če poskuse ponavljamo kar naprej, se bo razmerje med številom razpadlih jeder in vseh opazovanih jeder bližalo dt/τ .

Sledimo sedaj usodi enega samega jedra. Začnemo ga opazovati v času $t = 0$. S $P(t)$ označimo verjetnost, da jedro po času t še živi. Veljati mora

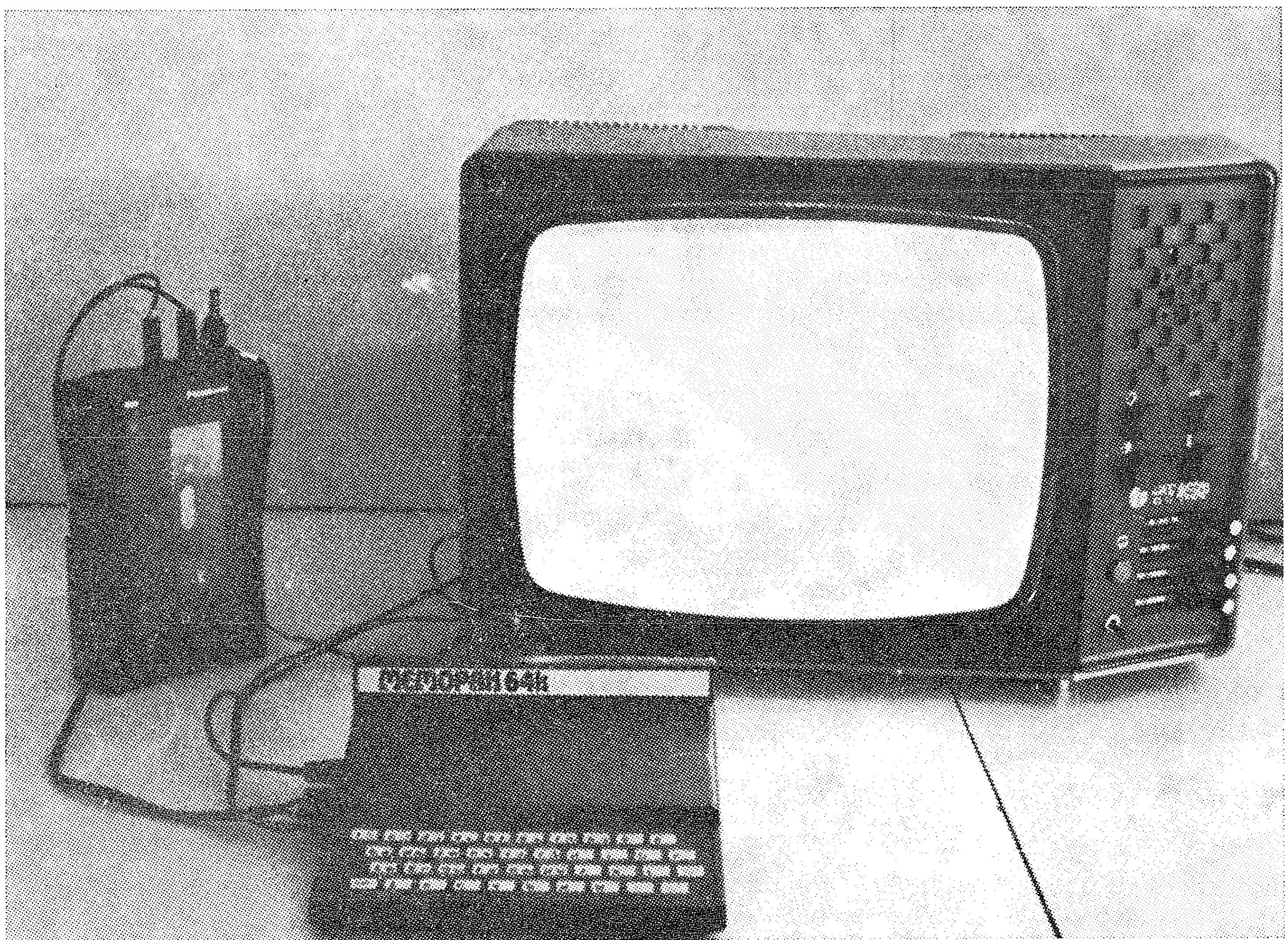
$$dP = -P(t) dt/\tau$$

Verjetnost dP , da jedro razpade v časovnem intervalu med t in $t + dt$, je enaka produktu verjetnosti $P(t)$, da do časa t še ni razpadlo, in verjetnosti dt/τ , da razpade hip pozneje. Minus kaže, da se verjetnost $P(t)$ s časom manjša. Z integracijo zapisane enačbe pridemo do eksponentnega pojemanja verjetnosti $P(t)$. Če imamo v času $t = 0$ N_0 radioaktivnih jeder, jih bo po preteku časa t živih v povprečju le še $N_0 \exp(-t/\tau)$.

Namen vaje je simulirati razpad jeder, iz »meritve« izluščiti razpadni čas in statistično slediti času javljanja sunkov. Vaja seznanja z osnovnimi prijemi analize izmerkov pri slučajnih procesih.

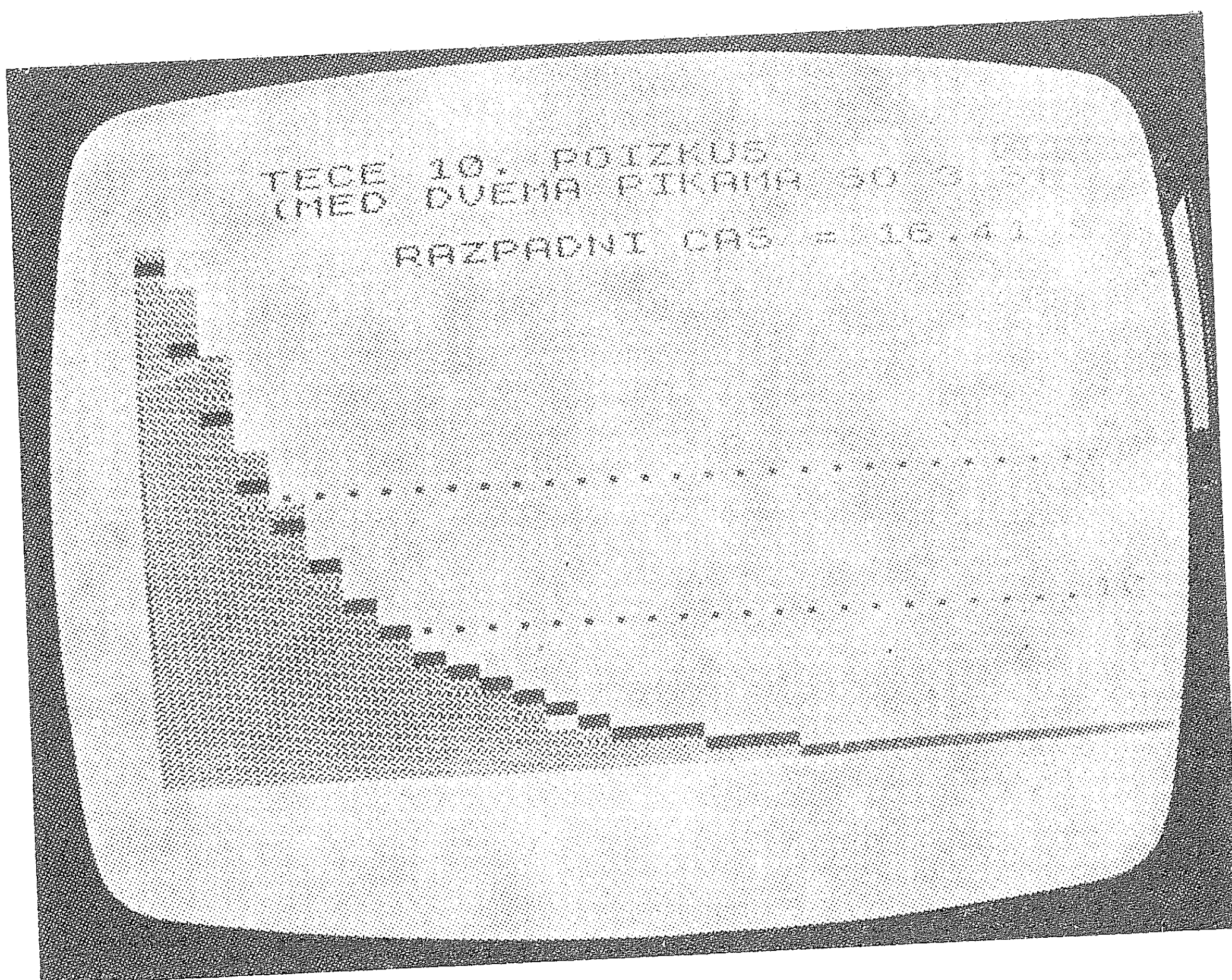
Razpad simuliramo z generatorjem slučajnih števil, ki daje v intervalu med 0 in τ enakomerno porazdelitev števil. Če se zgodi, da pade število v poljuben, vnaprej izbran interval med 0 in τ s širino dt , jedro razpade. Verjetnost za to je ravno dt/τ .

Pri posameznem poskusu imamo na začetku N radioaktivnih jeder. V prvem časovnem intervalu med 0 in dt računalnik žreba za vsako jedro, ali bo

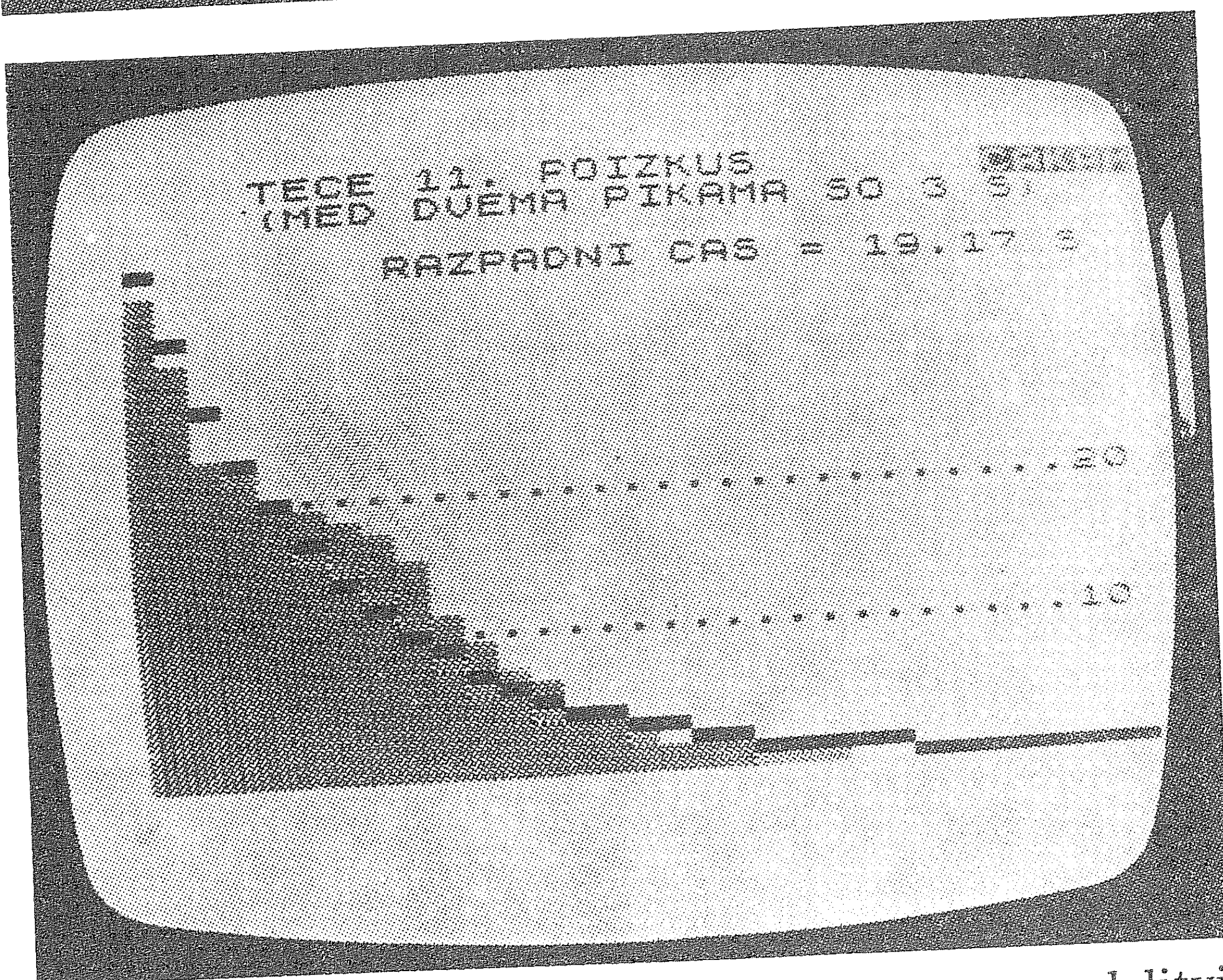


Sl. 3. Vajo o simulaciji jedrskega razpada opravimo z majhnim mikroračunalnikom za dom

Sl. 4 a



Sl. 4 b



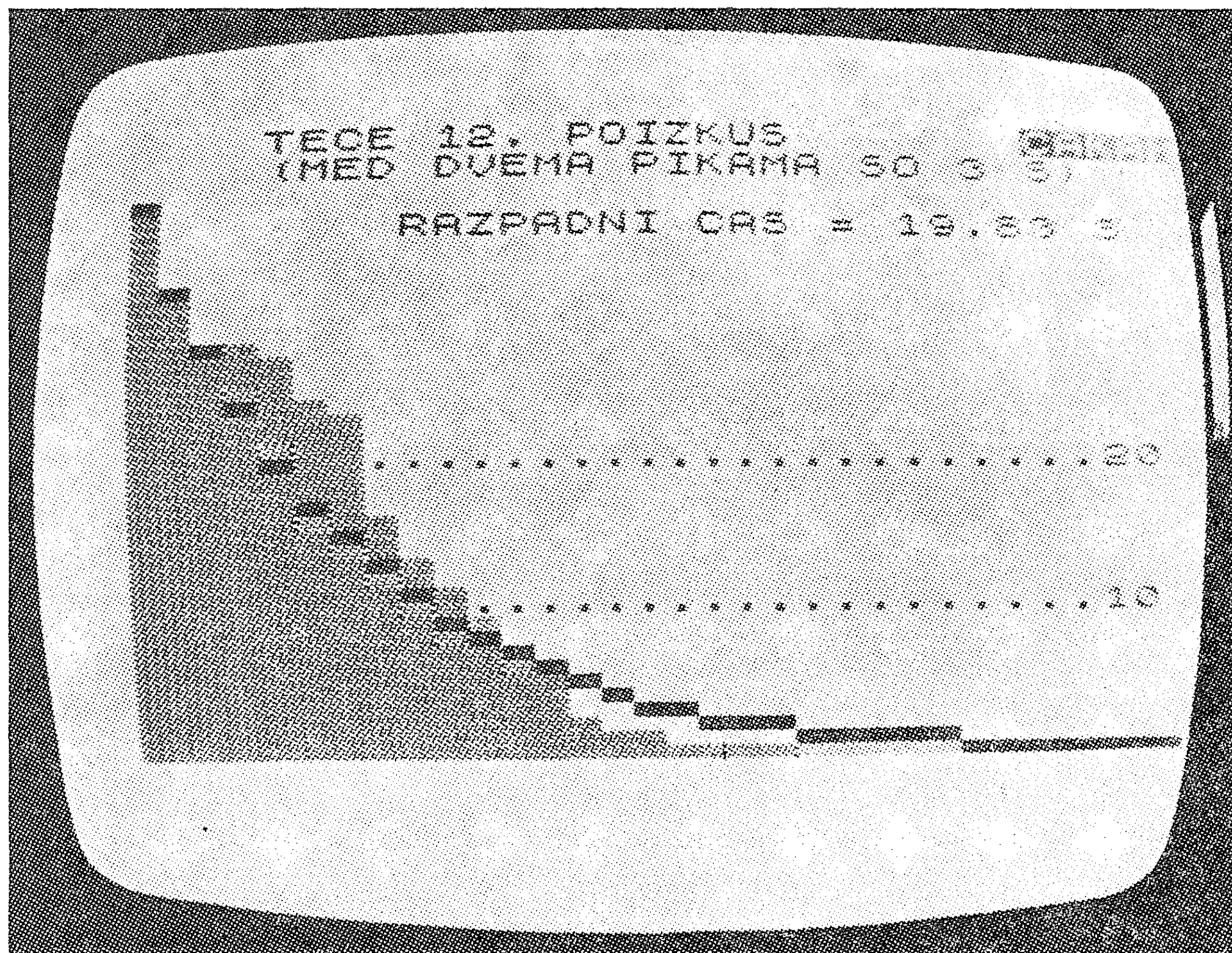
Sl.4. Primerjava med »eksperimentalno« in teoretično porazdelitvijo pri treh poskusih (a), (b) in (c). Eksponentni zakon nakazujejo črni pravokotniki, simulirane vrednosti pa sivi histogrami. Slika (d) kaže porazdelitev časov, poskusov po časovnem razmiku, po katerem razpade še zadnje jedro

razpadlo ali ne. Ko to konča, prešteje preživela jedra in vnese njihovo število v histogram (Sl.2 a). Nato se loti istega dela za naslednji časovni interval med dt in $2dt$. To igro ponavlja, dokler ne razpade še zadnje jedro. S tem je poskus končan in je na vrsti analiza. Vrednosti iz histograma primerja z eksponentno padajočo krivuljo, ki se vrednostim v histogramu najbolj prilaga, in iz nje razbere razpadni čas τ_i (Sl. 3).

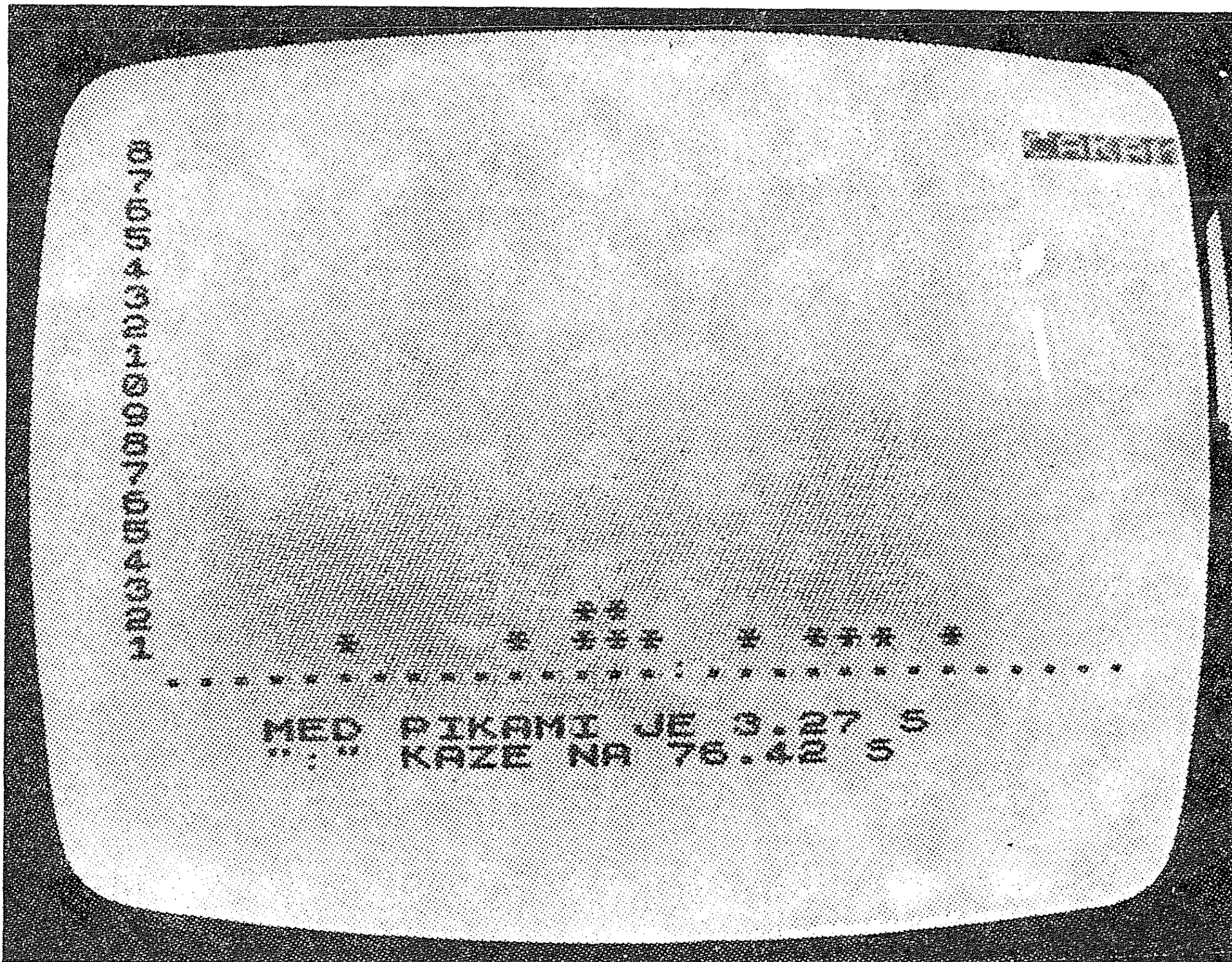
Nato ponavljamo poskuse. Računalnik razvrsti razpadne čase posameznih poskusov v nov histogram. Iz množice poskusov dobimo naposled povprečni τ , ki ga lahko primerjamo s pravim τ v generatorju slučajnih števil.

Podobno določimo porazdelitev jeder po časih, v katerem razpade zadnje

Sl. 4 c



Sl. 4 d



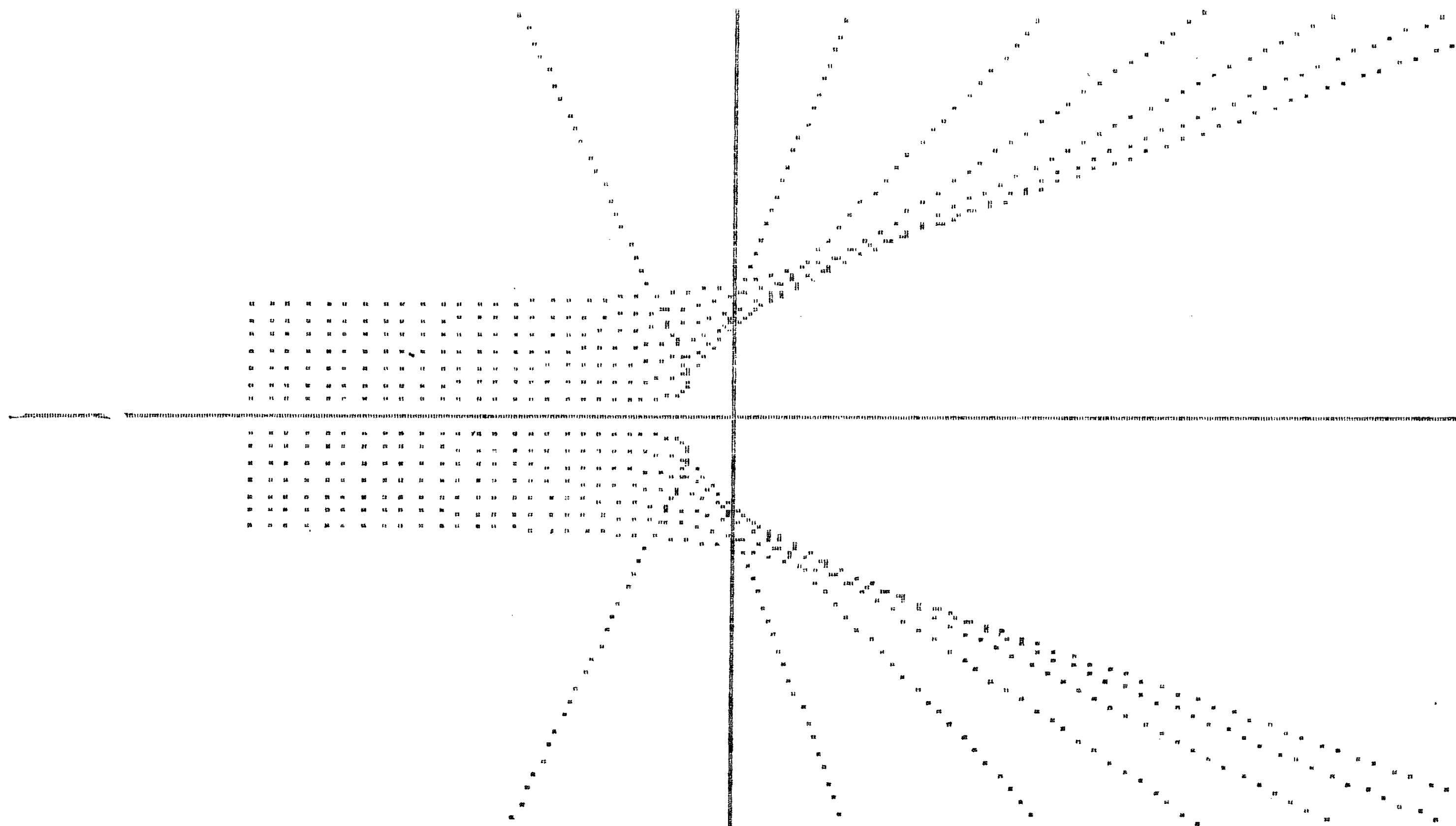
jedro, in jo primerjamo s teoretično (Sl. 4 d). Ogledati si je mogoče tudi porazdelitev parov razpadov po času med dvema zaporednima razpadoma.

2. Gibanje delca v poljubnem dvodimenzionalnem polju sil

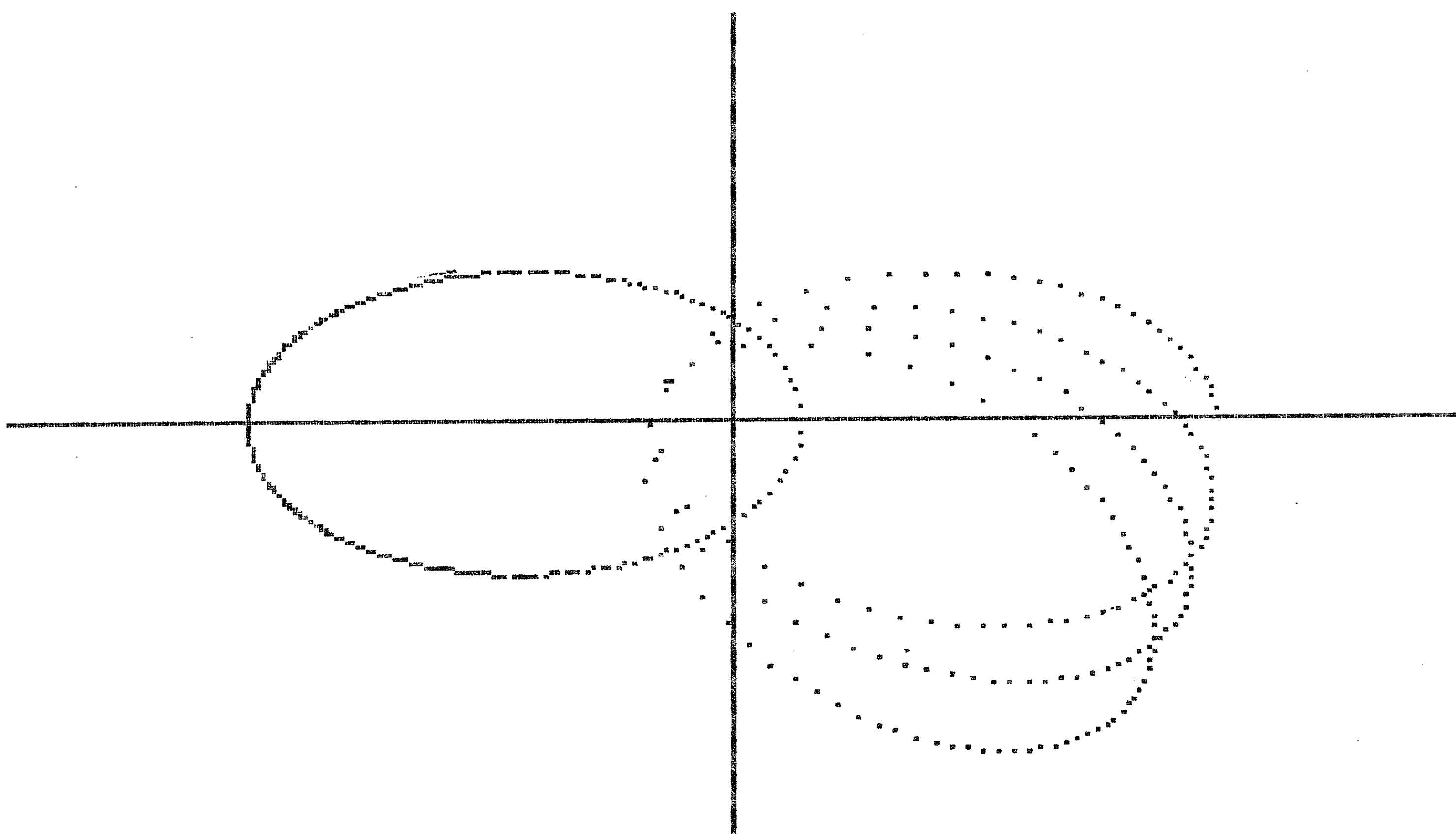
Pri tej vaji z mikroračunalnikom rešujemo gibalne enačbe za delec v polju sil, pri čemer lahko na delec deluje tudi sila, ki je odvisna od njegove hitrosti. Ta simulacija sodi med zahtevnejše, ker si moramo polje sil, v katerem se giblje delec, ter silo, ki je odvisna od hitrosti delca, izbrati sami. Prav tako moramo poskrbeti za smiselne začetne pogoje.

Polje sil, v katerem se giblje delec, vpišemo v računalnik analitično, pri čemer si pomagamo kar s pravokotnim koordinatnim sistemom. Ko izberemo še začetne pogoje, računalnik sproti riše izračunani tir na zaslon s točkami, ki označujejo lego delca v izbranem časovnem razmiku.

Če želimo opazovati tire delcev α pri Rutherfordovem sipanju ali študirati Keplerjeve tire, vpišemo polje sil $\mathbf{F} = k \mathbf{r}/r^3$ v komponentah:



Sl.5. Tiri nabitih delcev v odbojnem polju sil točkastega naboja — simulacija Rutherfordovega sipanja



Sl.6. Keplerjeva elipsa (levo) ter vrtenje perihelija (desno)

komponento F_x kot $F = k \cdot x \cdot (x^2 + y^2)^{-3/2}$ in

komponento F_y kot $G = k \cdot y \cdot (x^2 + y^2)^{-3/2}$

Sorazmernostni koeficient k moramo vpisati numerično. Če je sila odvisna tudi od komponent hitrosti delca, vpišemo to odvisnost prav tako kot odvisnost od koordinat x in y , le da uporabimo oznaki vx in vy .

S programom lahko simuliramo zračni upor, opazujemo gibanje v viskozni tekočini, prikažemo dušenje nihala, sledimo gibanju nabitega delca v elektromagnetnem polju... Če študiramo enodimenzionalno gibanje, lahko časovno os dobimo z zahtevo, da se v smeri osi x delec giblje enakomerno ($F_x = 0$).

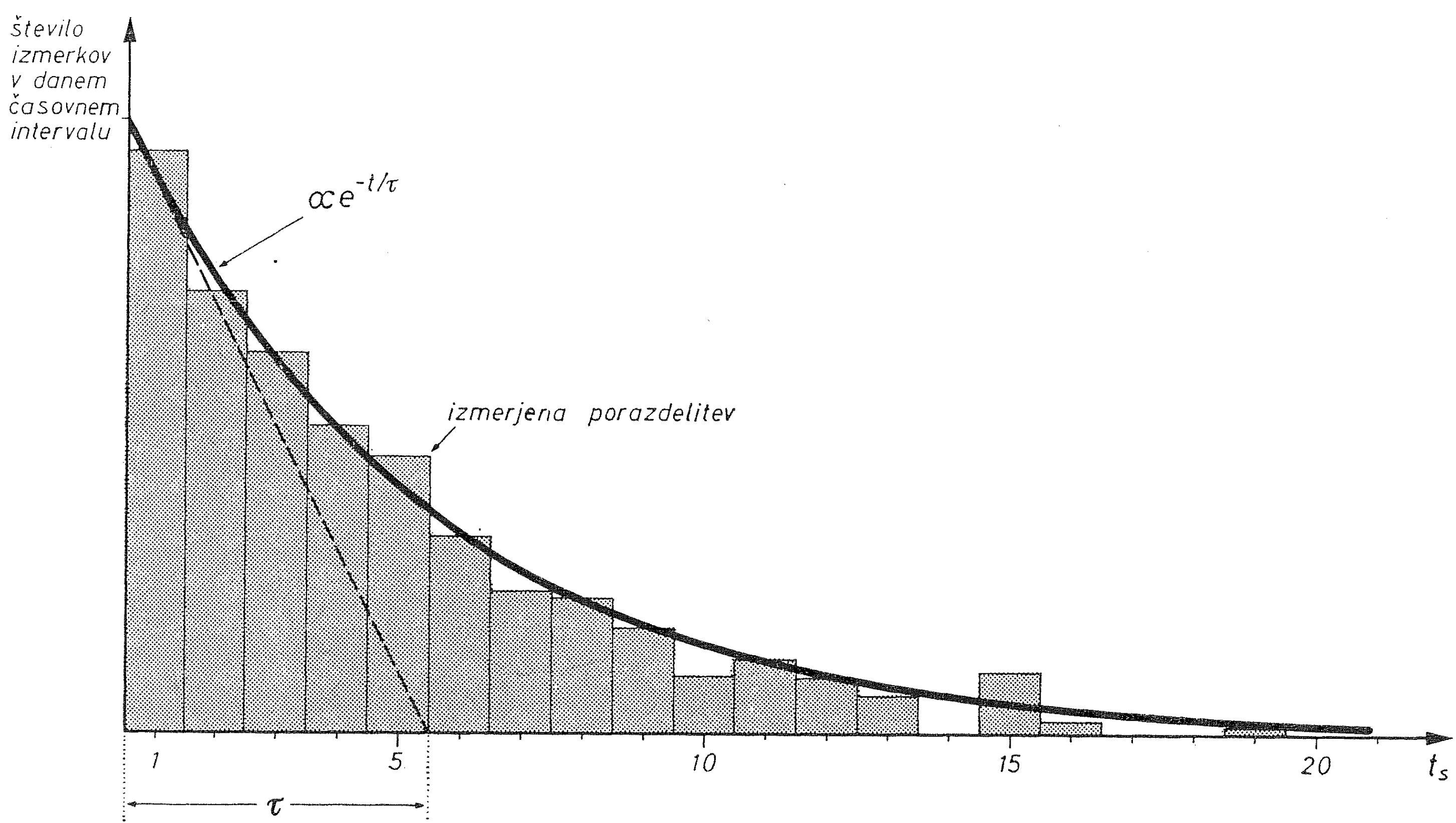
Čeprav je prepuščeno domišljiji, kaj pri tej vaji delamo, navedimo nekaj »klasičnih« možnosti:

poševni in navpični met z zračnim uporom ali brez njega,
 gibanje dušenega nihala (podkritično, kritično in nadkritično dušenje),
 gibanje matematičnega nihala in veljavnost harmoničnega približka zanj,
 Rutherfordovo sipanje,
 Keplerjevi zakoni, gibanje v gravitacijskem polju,
 izotropni in anizotropni harmonični oscilator,
 gibanje nabitega delca v elektromagnetnem polju,
 klasično gibanje elektrona v vodikovem atomu in Starkov efekt ...

3. Določanje porazdelitve parov sunkov iz GM cevi po časovnem razmiku med sunkoma

Pri tej meritvi nas zanima, kako so pari zaporednih sunkov iz Geiger-Müllerjeve števne cevi porazdeljeni po času, ki preteče med njima. Merimo porazdelitev, ki smo jo pri eni prejšnjih vaj simulirali.

Na radioaktivni izvir z dolgoživim izotopom ^{137}Cs postavimo GM cev, ki zaznava fotone γ ob razpadu jeder. Časovni razmik med zaporednima sunkoma merimo z mikroračunalnikom, ki izmerke tudi razvrsti po časovnem razmiku in prikaže rezultat na zaslonu v obliki histograma (Sl.7). Velikost stolpca

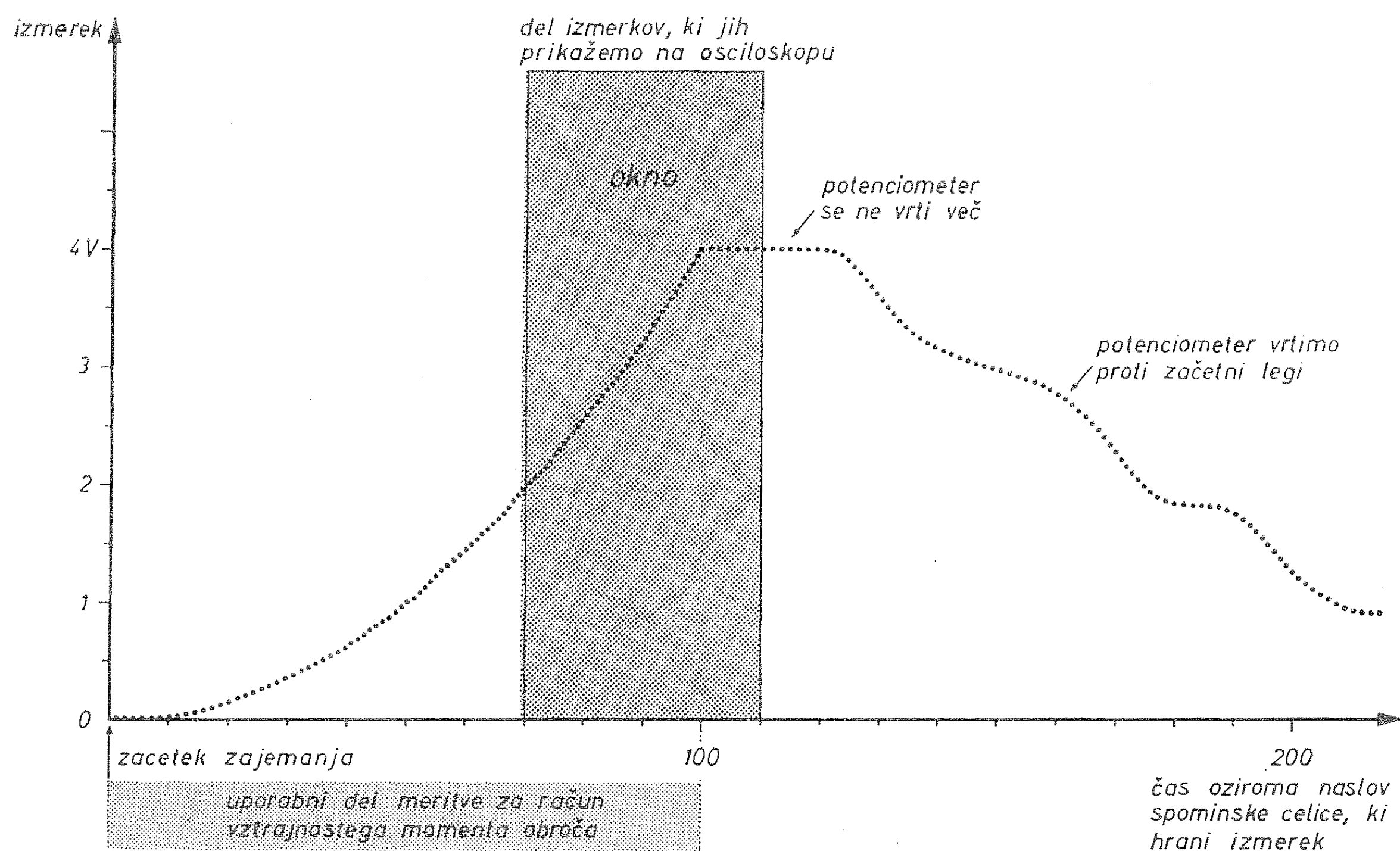


Sl.7. Histogram parov zaporednih sunkov iz GM števca cevi po časovnem razmiku med njima. Tak histogram izpisuje mikroračunalnik na zaslon. Računalniški program za ta merilnik je izdelal Janez Zupan, sodelavec podjetja ISKRA-DELTA iz Ljubljane

v času t_s pove trenutno število parov sunkov na časovnem intervalu t_s — $\Delta t \leq t_s + \Delta t$. Histogram podaja torej porazdelitev parov sunkov po časovnem razmiku med sunkoma. Izmerjena porazdelitev se vse bolj bliža eksponentni porazdelitvi $e^{-t/\tau}$, v kateri je τ povprečni časovni razmik med zaporednima sunkoma. Povprečna pogostost je torej kar $\nu = 1/\tau$. S približevanjem in oddaljevanjem GM cevi od izvira spreminjamo tudi τ , kar lepo vidimo na izmerjeni porazdelitvi.

4. Zajemanje podatkov z mikroračunalnikom, obdelava izmerjenih vrednosti in prikaz rezultatov

Mikroračunalniški sistem MR 800 (Inštitut J. Stefan) uporabimo za opazovanje časovne odvisnosti napetosti na drsniku helipota. Napetost je kar linearna funkcija zasuka. Z numeričnim odvajanjem zajetih podatkov dobimo kotno hitrost in kotni pospešek. Vse te količine prikažemo na zaslonu osciloskopa.



Sl.8. Zajeti podatki (podobno je z izračunanim prvim in drugim odvodom) so v spominu mikroračunalnika shranjeni v celicah z zaporednimi številkami (naslovi). Na osciloskopu lahko prikažemo le del podatkov, s premikanjem okna pa lahko pregledamo vse zajete podatke

Meritev pri vaji lahko sprožimo na dva načina: a) s pritiskom na gumb START, b) s tem, da vhodna napetost preseže vnaprej izbrano vrednost. Nato mikroračunalnik v enakomernih, vnaprej določenih časovnih presledkih bere napetost na analognem vhodu in vrednosti shranjuje v spomin. Meritev je končana, ko napolni ves predvideni del spomina. Med meritvijo vidimo na osciloskopu izmerjene vrednosti. Časovna os je tu kar zaporedna številka izmerka. Po končani meritvi izračunamo prvi in drugi odvod signala, pri čemer smo zadovoljni, če ležijo trije izmerki na paraboli:

$$\begin{aligned}\dot{U}_i &= (U_{i+k} - U_{i-k})/2k \, dt \\ \ddot{U}_i &= (U_{i+k} - 2U_i + U_{i-k})/k^2 \, dt^2\end{aligned}$$

dt je časovni razmik med zaporednima izmerkoma in $k = 10$ ter U_i i -ti izmerek. Zaradi 8-bitne analogno-digitalne pretvorbe so izmerki v računalniku upodobljeni v cela števila med 0 in 255. Pri numeričnem odvajanju nas to zelo moti, še posebno, če bi v zgornjih izrazih računali s sosednjima izmerkoma ($k = 1$).

Potek meritve in prikaz na osciloskopu uravnavamo s stikali na konzolni plošči mikroračunalnika. Njihov pomen je razviden iz preglednice.

Program za zajemanje podatkov in prikaz je sestavljen tako, da ga proži prekinitveni sunek iz vgrajene ure, pri čemer prekinjamo osnovni program, ki ga mikroračunalnik izvaja. Taka rešitev je še posebno ugodna, če so presledki med prikazom ali zajemom podatkov dolgi, ker lahko delamo z računal-

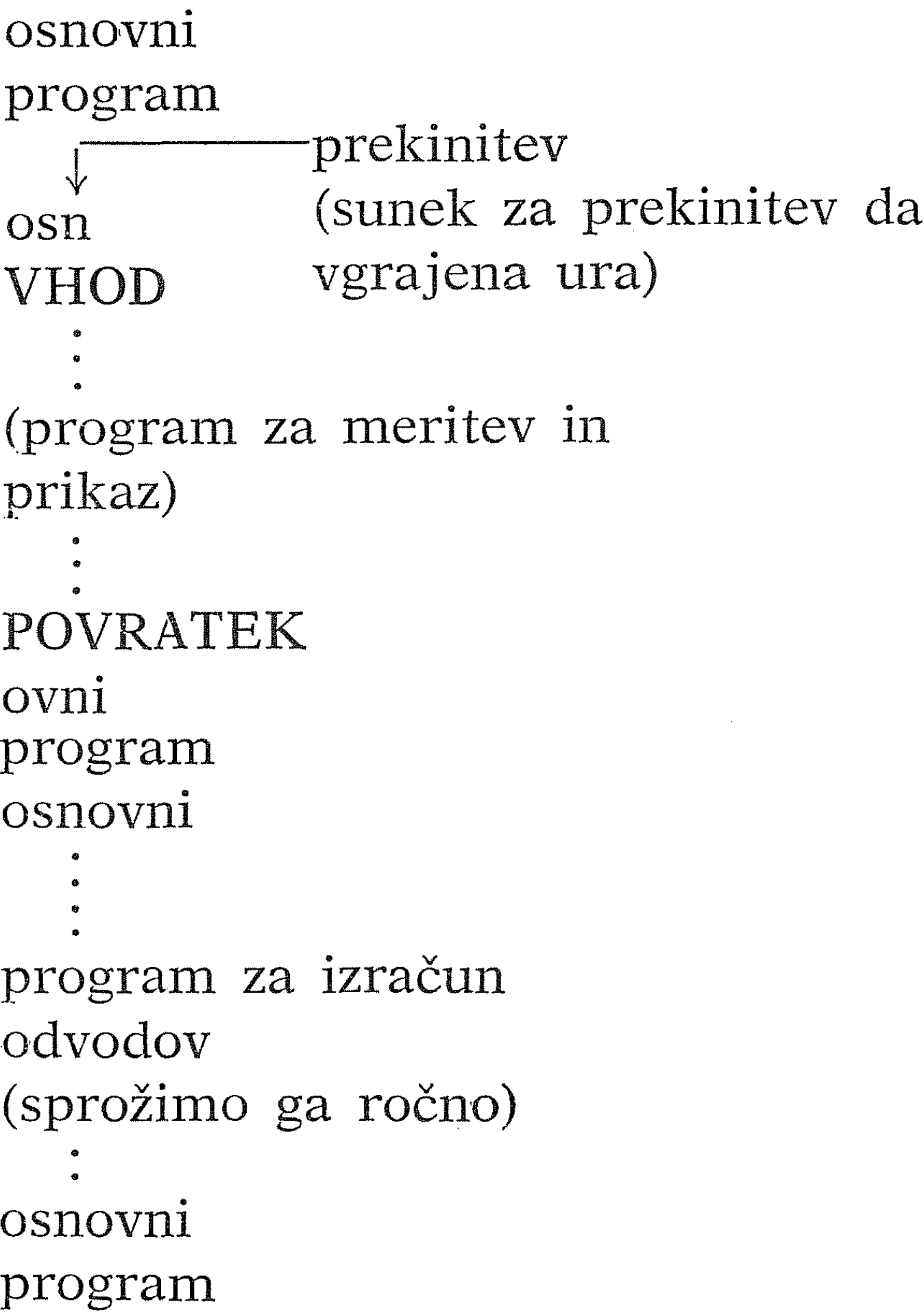
Preglednica: Vloga konzolnih stikal mikroračunalnika v programu

Stikalo	Lega stikala	Pomen
0	gor	prikaz dela zajetih meritev
1	gor	prikaz dela prvega odvoda
2	gor	prikaz dela drugega odvoda
3	gor	omogočimo pregled različnih delov zajetih podatkov ali izračunanih odvodov
4	gor	smer pregledovanja od začetka merjenja proti koncu
	dol	smer pregledovanja od konca proti začetku
5	gor	proženje meritve s START gumbom
	dol	proženje meritve z nivojem

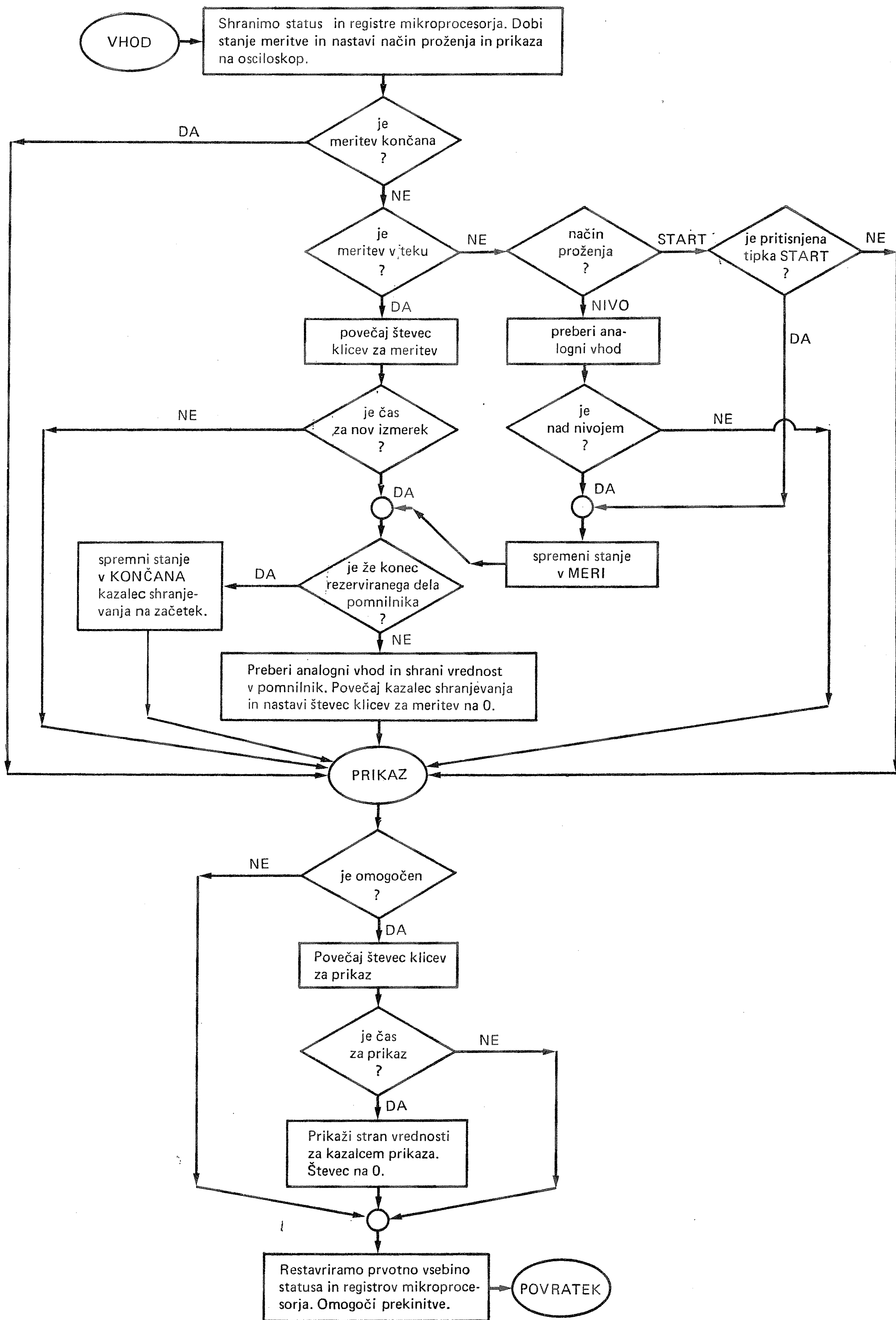
nikom vmes še kaj drugega. Seveda lahko kličemo program iz osnovnega programa, če to želimo.

Nekaj minut trajajoči račun prvega in drugega odvoda opravimo, ko je zajem podatkov končan. Če bi želeli odvode takoj po končanem zajemu, bi jih morali sproti računati v glavnem programu. Program za račun odvodov je napisan v višjem programskem jeziku — Basicu.

Programsko shemo pri tem merilniku kaže slika 9.



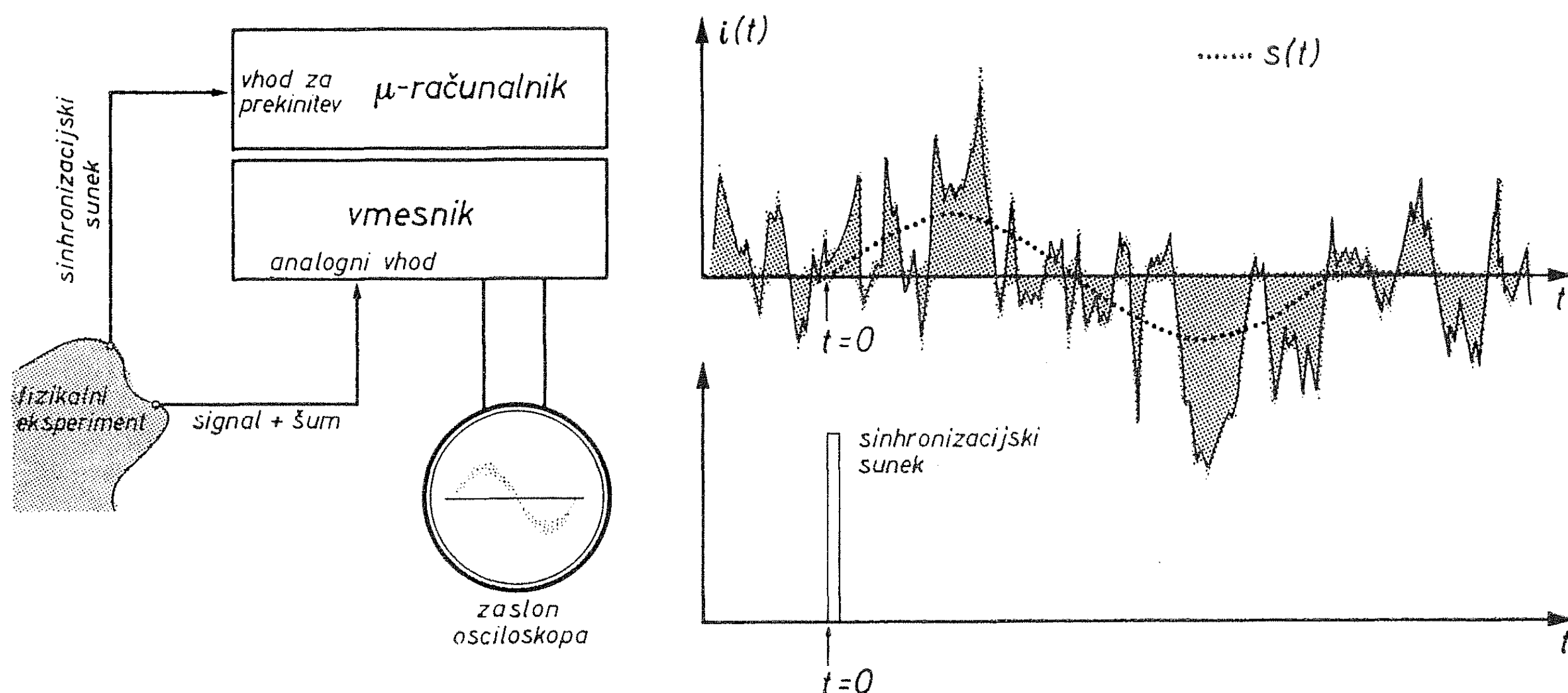
Sl. 9. Programska zasnova pri merilniku vztrajnostnega momenta obroča. Diagram poteka programa, ki omogoča zajem podatkov in prikaz na osciloskopu, podaja



Sl. 10. Podrobni diagram poteka programa za zajem podatkov in njihov prikaz na zaslonu osciloskopa

5. Povprečevalnik šuma

Pri zahtevnih fizikalnih merjenjih je mnogokrat signal tako šibek, da je skrit v šumu. Če prihod signala napove jasno viden prožilni sunek, lahko signal izluščimo iz šuma s povprečenjem ali seštevanjem izmerkov, ki so časovno enako odmaknjeni od prožilnega sunka (Sl. 11).



Sl. 11. Priključki na mikroračunalnik pri povprečevalniku šuma. Diagrama kažeta signal (pikčasto), ki je skrit v šumu (polna črta), ter sinhronizacijski (prožilni) sunek, ki kaže prihod signala

Šuma ne bomo opisovali kot funkcijo časa, ker je le-ta preveč zamotana. Obravnavajmo ga kot slučajno spremenljivko z dano verjetnostno porazdelitvijo. Izmerik, ki ga zajamemo po času t od prožilnega sunka, je torej vsota signala $s(t)$ in slučajne spremenljivke $\tilde{S}$:

$$i(t) = s(t) + \tilde{S}$$

Povprečna vrednost spremenljivke $\tilde{S}$ je nič, povprečni efektivni odmik pa σ . Po n kratnem zajemanju in seštevanju izmerkov, ki so sinhroni s prožilnim sunkom, dobimo

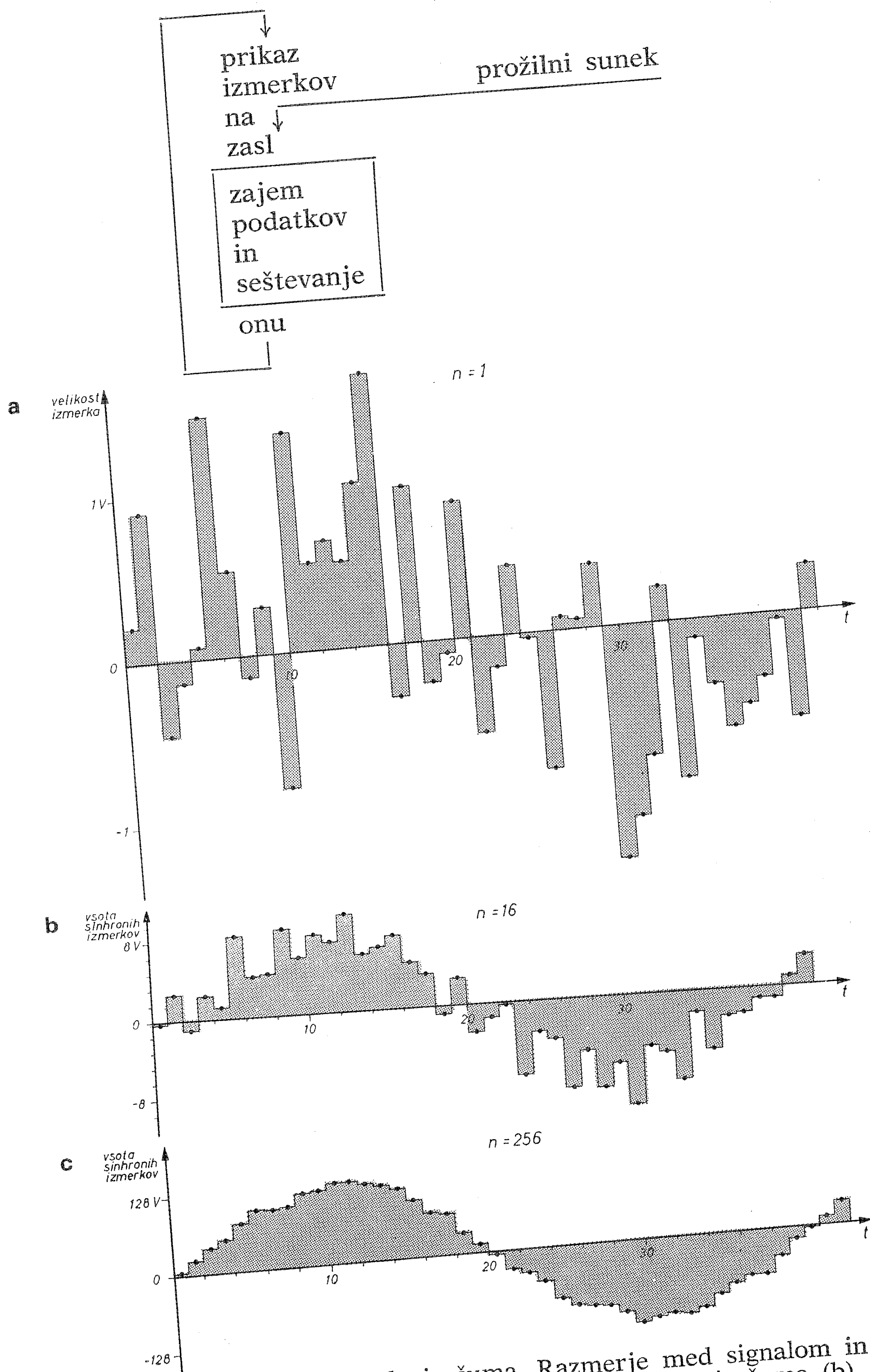
$$I(t) = n \cdot s(t) + \sum_{i=1}^n \tilde{S}_i$$

Vsota slučajnih spremenljivk $\tilde{S}_i$ je spet slučajna spremenljivka s povprečjem nič in povprečnim efektivnim odkikom $\sqrt{n} \sigma$. Signal se torej pri seštevanju bolj ojačuje kot povprečna fluktuacija šuma, tako da se signal po n -kratnem seštevanju iz šuma lepo izlušči.

Merilnik je zasnovan na mikroračunalniku. Prožilni sunek prekine izvajanje programa, s katerim mikroprocesor prikazuje že izmerjene podatke na zaslon osciloskopa. Prekinitveni program zajema podatke iz AD konverterja ter jih seštevava v spomin. Na zaslonu opazujemo luščenje signala iz šuma.

Program poteka takole:

Luščenje sinusnega signala iz šuma lepo vidimo na sliki 12.



Sl. 12. Luščenje sinusnega signala iz šuma. Razmerje med signalom in šumom je 1:2 (a). Že po šestnajstih izmerkih se signal lepo izlušči iz šuma (b), po 256 meritvah (c) pa je razmerje med signalom in povprečnim šumom 8:1 v korist signala. S pikami so označeni trenutki, ko mikroračunalnik zajame signal s šumom

SIMULACIJA KOT RAZISKOVALNA IN UČNA METODA

ALOJZ KODRE

UDK 519.673

Članek obravnava simulacijo kot metodo za študij velikih sistemov. Uvaja splošno organizacijsko shemo simulacijskega programa. Obravnava simulacijske nivoje, ki predstavljajo različne simulacijske opise istega sistema glede na število mikroskopskih spremenljivk in delež slučajnih spremenljivk med njimi. Nivoje ilustrira z zgledoma — modelom sipanja nevtronov v cepljivi snovi in ekološkim modelom »zajci in lisice«.

SIMULATION IN RESEARCH AND TEACHING

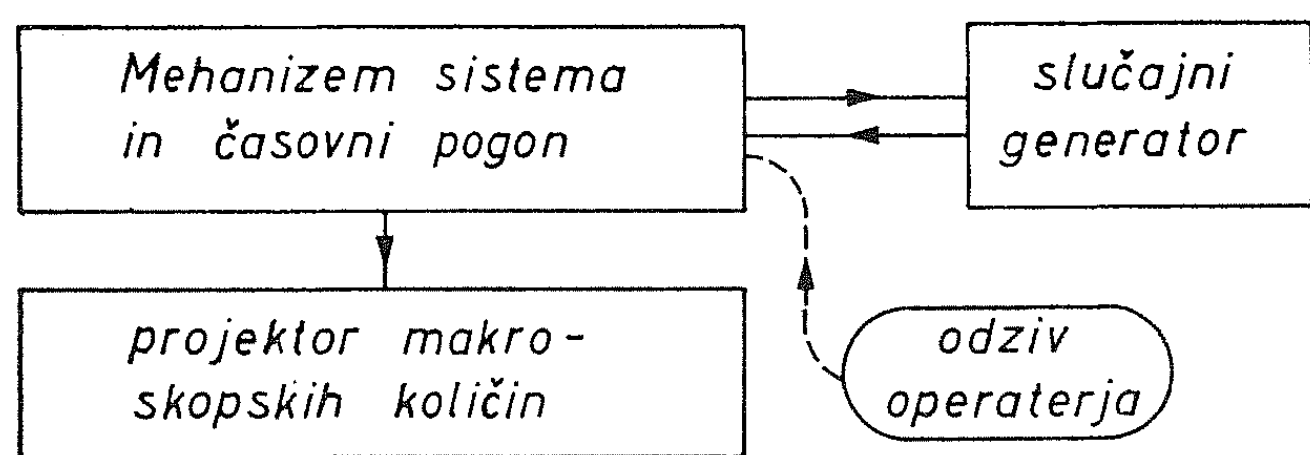
Computer simulation as a method for studying the dynamics of large systems is discussed and a generalized scheme of a simulation code is presented. Various levels of simulation of a large system are possible according to the extent of the microscopic information processed. The simulation and its levels are illustrated by two examples — a model of neutron diffusion in the reactor core and an ecological model of a two-component closed system of predators and prey.

Vedenje velikih sestavljenih sistemov je običajno podvrženo posebnim zakonom, ki se ne dajo preprosto izpeljati iz osnovnih zakonov, veljavnih za sestavne dele in odnose med njimi. To velja še posebej, če so v delovanje sistema vključeni tudi slučajni vplivi. Tako je npr. gibanje tekočin zagotovo podano z lastnostmi molekul, ki so vse enake, in za katere vsaj približno poznamo zakone gibanja. Vendar v tem primeru vrzeli med mikroskopskimi in makroskopskimi zakoni še ne znamo premostiti. Podobno velja za prepuštnost cestnega omrežja mesta. Tudi če poznamo zakone gibanja avtomobilov, urnike semaforjev in dolžine cestnih odsekov med križišči, si ne predstavljamo matematičnega obrazca, ki bi vse te količine povezal in omogočal praktične napovedi.

Z naraščajočo zmogljivostjo, hitrostjo in dostopnostjo računalnikov se je odprla nova pot za študij tovrstnih problemov. Podatke o sestavnih delih

sistema in o povezavah med njimi spravimo v računalnik ter sprožimo »tek časa«. Ta posnema gibanje delov in obenem izračunava makroskopske lastnosti celotnega sistema, ki nas zanimajo. Pojav oziroma sistem torej *simuliramo* v računalniku.

Simulacijski program je v splošnem sestavljen, kot kaže sl. 1.



Sl. 1. Splošna shema simulacijskega programa

Mehanizem sistema vsebuje vse spremenljivke, ki opisujejo mikroskopsko stanje sistema. Ta opis je lokalni v času, vedno se nanaša samo na trenutno stanje. *Časovni pogon* je računska shema, ki preračuna iz starega trenutnega stanja novo po preteku časovnega koraka. Shema mora biti eksplicitna in stabilna, tako da je vsakemu trenutnemu stanju zagotovljen naslednik in da se simulacija nikoli ne zatakne. Ta glavni del simulacijskega programa mora torej delovati kot markovski računski stroj.

Slučajni generator posreduje glavnemu programu odločitve v primeru dogodkov, to je razvejišč v računskem poteku. Uporabljamo običajni generator kvazislučajnih števil, kakršen je vgrajen v vsak računalniški sistem. S primerno transformacijo dosežemo, da generira slučajne spremenljivke po zahtevani verjetnostni shemi, npr. Poissonov generator za celoštevilске slučajne spremenljivke s predpisano srednjo vrednostjo.

Projektor makroskopskih količin krči obseg informacije, ki se obdeluje v simulaciji, na tolikšno mero, da ji še lahko sledimo. Običajno izračunava nekatera poprečja mikroskopskih količin in podaja (primerno redke) časovne preseke stanja sistema. Izhodne podatke simulacije prireja v najrazumljivejšo obliko, npr. sliko na zaslonu.

Odziv operaterja je pripomoček, s katerim lahko prekinemo simulacijo med dvema časovnima korakoma in poljubno spremenimo nekatere spremenljivke sistema. Pri simulacijah, ki tečejo v živem času (real-time), uporabljamo posebne manipulatorje z analognim signalom, npr. v igralnih avtomatih.

Praviloma govorimo o simulaciji sistema samo, kadar so v opis delovanja vključeni tudi slučajni vplivi, bodisi kot slučajne interakcije med deli sistema bodisi kot posegi operaterja. Kadar slučajnih vplivov ni, govorimo raje o numeričnem modelu sistema — simulacija se v tem primeru poenostavi v numerično metodo za reševanje enačb sistema.

Pri simulaciji smo se seveda odpovedali visokemu cilju, da bi izpeljevali zakone sistema. Pač pa smo ustvarili priročno sliko raziskovanega sistema. Poskus lahko po volji poženemo in ustavimo, lahko ga ponovimo v istih ali nekoliko spremenjenih razmerah, lahko uvajamo vanj poljubne poenostavitve ali dodatne komplikacije. Vse to bi bilo v realnem poskusu marsikdaj zelo težko ali celo nemogoče, predvsem pa dražje.

Tako postavljena zamisel simulacije je dovolj preprosta in dovolj bogata, da se je uveljavila na številnih področjih. V omenjenem primeru fizike tekočin velja danes za eno osnovnih raziskovalnih metod. Skoraj povsod v eksperimentalni fiziki, kjer je potrebna obsežna in zapletena eksperimentalna oprema (npr. v fiziki osnovnih delcev), se javlja simulacija vsaj enkrat v celotnem procesu: ali pri načrtovanju opreme ali pri preizkušanju ali pri analizi podatkov. Podobno uporabimo simulacijo pri projektiranju obsežnih industrijskih in urbanih sistemov, torej kot metodo izpopolnjenega mrežnega planiranja, in celo kot metodo za napoved prihodnosti. Treba je omeniti zanimivo podrobnost, da se simulacija na veliko uporablja celo v analizi delovanja računalnikov — čeprav pojmujemo računalnik kot stroj, ki deluje popolnoma deterministično in je tudi njegovo makroskopsko obnašanje načeloma popolnoma poznano, saj ga v celoti določijo konstruktorji.

Osnovna ideja simulacije se sama po sebi ponuja kot učni pripomoček. Za začetek tovrstne uporabe lahko štejemo učne simulatorje za pilote in astronave, poenostavljene različice pa srečujemo danes v igralnih avtomatih ter mikroprocesorskih igrah na televizijskem zaslonu. Približna (statistična) ponovljivost poteka in zmožnost sprotnega reagiranja na slučajne reakcije učenca ali igralca dajeta tem simulacijam pridih realnosti, ki jo je bilo v starejših mehaničnih simulatorjih težko doseči.

To privlačno lastnost simulacije lahko koristno uporabimo tudi pri pouku v šoli kot nadomestilo za zahtevne eksperimente, kot možnost za živ in ne-

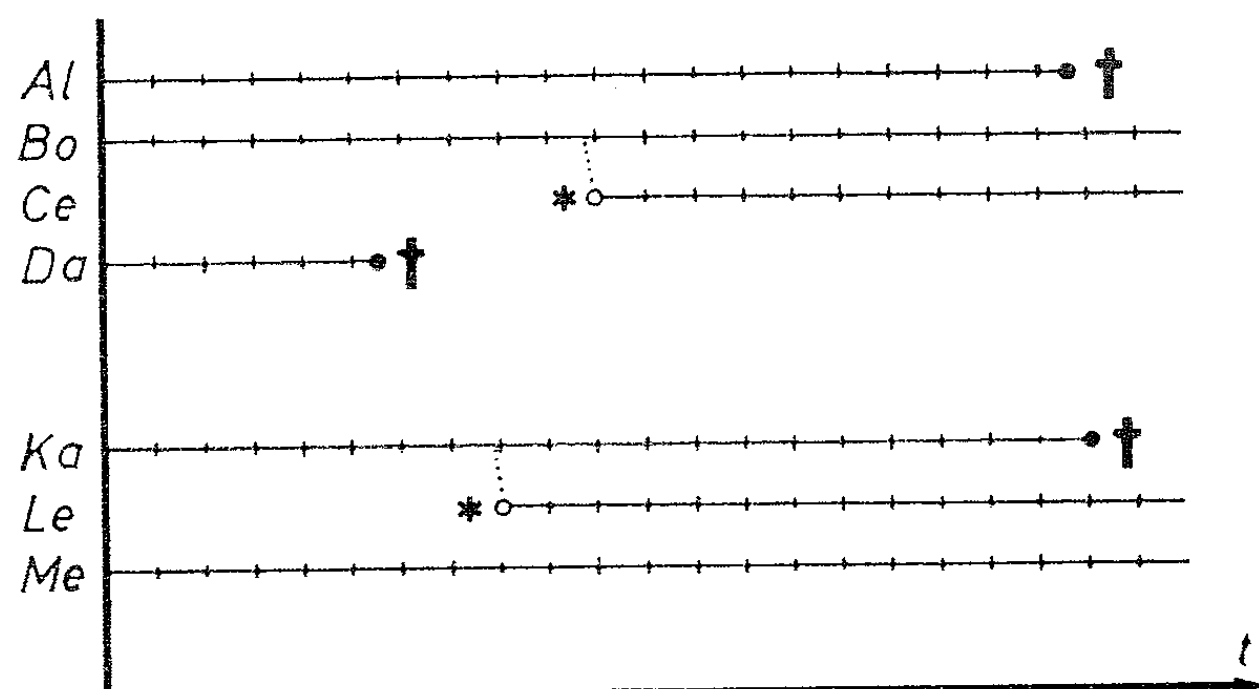
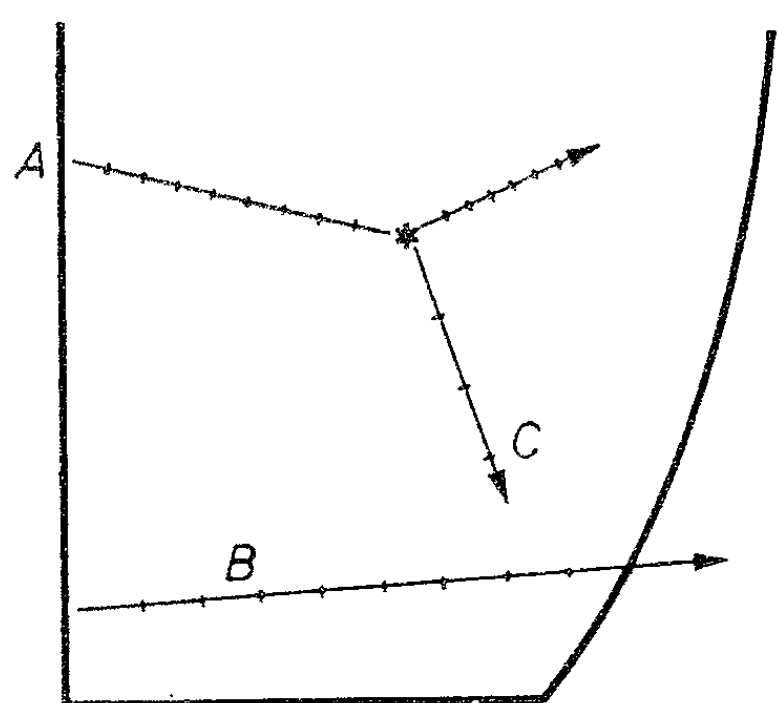
omejeno ponovljiv trening, predvsem pa kot možnost, da ilustriramo povezavo med mikroskopskim in makroskopskim obnašanjem sistema — da torej odgrnemo zaveso, ki zakriva mehanizem simulacije.

Z izbiro sistema ali pojava, ki ga želimo simulirati, organizacija simulacijskega programa še ni do kraja določena. Četudi so v večini primerov elementi sistema dobro opredeljeni, jih vendar lahko obravnavamo z večjo ali manjšo stopnjo individualnosti. Za njihov opis uporabimo večje ali manjše število mikroskopskih spremenljivk. V skrajnem primeru jih lahko celo združimo v večje skupke. V zvezi s tem govorimo o različnih *nivojih simulacije*. Na prvi pogled se sicer zdi, da se s siromašenjem opisa elementov simulacija lahko samo poslabša. Ne smemo pa pozabiti, da zahteva večje število mikroskopskih spremenljivk tudi več računalniškega spomina in daljši čas za izračun vsakega koraka. In kar je morda še pomembnejše: zgradba simulacijskega programa, kot smo jo opisali, nas učinkovito varuje pred poplavo mikroskopske informacije. Kljub temu pa smo med delom vsaj enkrat soočeni z vsem njenim obsegom, namreč pri izbiri začetnega stanja. Na začetku moramo pripisati vrednosti prav vsem spremenljivkam sistema. Če nam takrat zmanjka podatkov — ali domišljije — za popoln opis lastnosti elementov, bi bilo bolje opis nekoliko skrajšati. Nekateri dogodki v življenju sistema, katerih izid bi bil z odvrženimi spremenljivkami točno določen, postanejo tako slučajni dogodki. Njihov izid žrebamo s slučajnim generatorjem po primerni verjetnostni shemi, ki jo je običajno mnogo lažje modelirati.

Delovanje simulatorja in različne nivoje simulacije si bomo ogledali na dveh preprostih zgledih. V prvem bomo preučevali delovanje jedrskega reaktorja: spremljali bomo gibanje nevtronov po uranski sredici, absorpcijo, cepitve in izgube. Drugi zgled pa je preprost ekološki model dveh izoliranih živalskih populacij, ki sestavljata prehrambeno verigo. Model je znan pod popularnim imenom Zajci in lisice, četudi prav za ti dve vrsti ne velja najbolje.

Nevtrone A, B, C... spustimo v reaktor in v kratkih časovnih presledkih žrebamo, ali so doživeli trk. Po trku izžrebamo novo smer in hitrost, število novorojenih nevtronov.

Za zajce Alfreda, Boruta, Cene-ta... in lisice Katko, Lenko, Metko... izžrebamo za vsak dan posebej, ali se jim je kaj zgodilo(in če, kaj)



Sl. 2. Nivo elementarne simulacije

To je zgled za prvi nivo — elementarno simulacijo: dele sistema obravnavamo individualno in žrebamo njihovo usodo v majhnih časovnih korakih. Simulacija je kar se da popolna, zahteva pa veliko število osnovnih podatkov in je zelo počasna.

Na drugem nivoju — (pri simulaciji v časovnih potezah) — izžrebamo za vsak del sistema v začetku — ali ob rojstvu — življenjsko pot z najpomembnejšimi dogodki. Simulacija je bistveno hitrejša, potrebni so le še globalni podatki o življenju posameznega dela, npr:

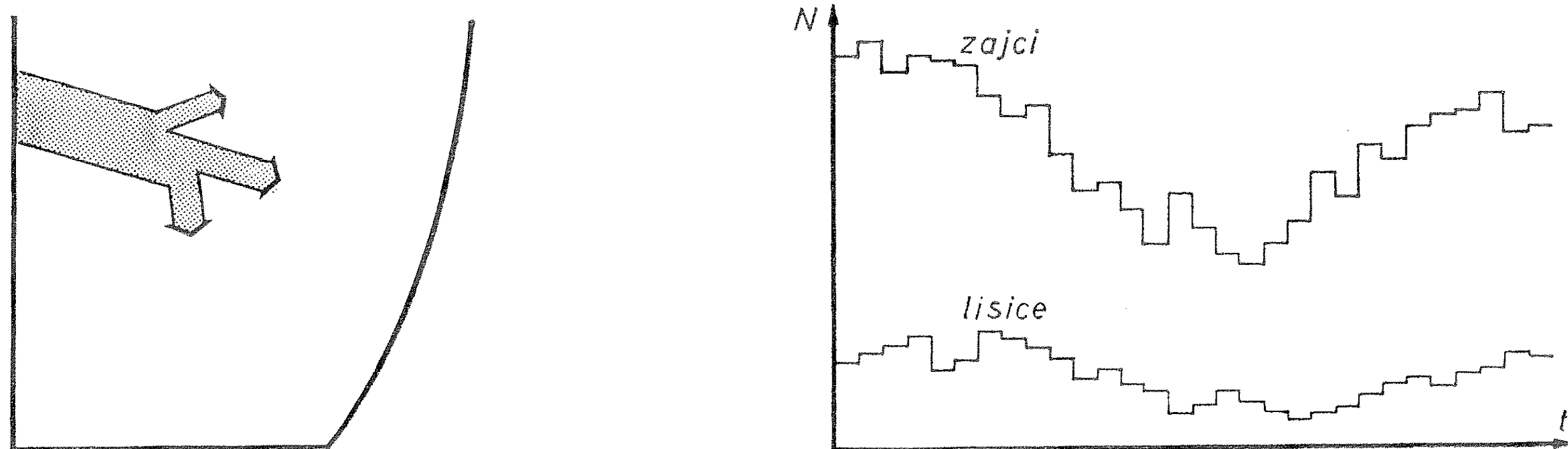
vsakemu nevtronu izžrebamo pot do naslednjega trka in usodo po njem.

za vsak osebek izžrebamo samo »življenjsko uspešnost« (število potomstva, število ubegov oziroma ulovov).

Tretji nivo je kolektivna simulacija: elemente sistema obravnavamo kot enotno skupino. V kratkih časovnih trenutkih izžrebamo samo, koliko elementov je doživelo določeno usodo. To je zelo hitra simulacija, od podatkov potrebujemo samo verjetnosti, izpovprečene čez skupino:

za veliko gručo nevtronov izžrebamo na vsakem majhnem elementu poti, koliko jih je trčilo in se sipalo v določene smeri oz. dele prostora.

za vsak dan izžrebamo, koliko živali se je rodilo, poginilo, koliko zajcev so ujele lisice.

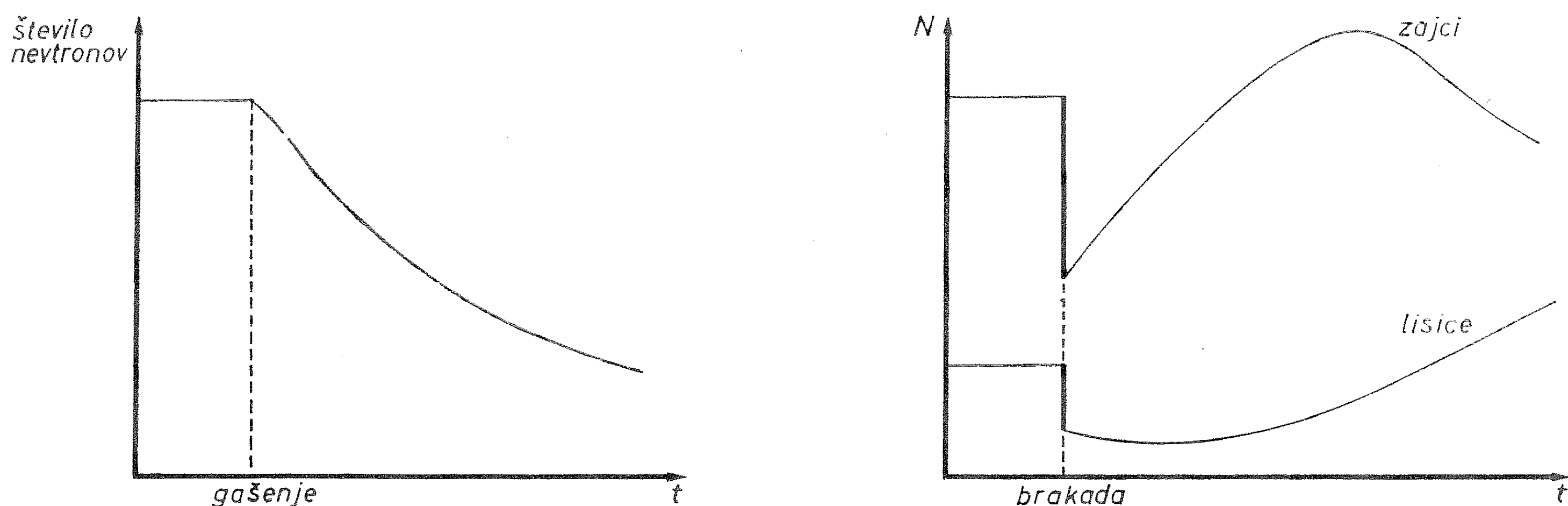


Sl. 3. Nivo kolektivne simulacije

Četrty nivo je numerični model: slučajni generator izključimo, v vsakem trenutku določimo število elementov z dano usodo kar s povprečno vrednostjo. Dobimo srednje obnašanje sistema brez statističnih fluktuacij, simulacija izgubi videz živosti. Ta nivo se uporablja, kadar nas posebej zanima obnašanje sistema po zunanjih posegih, ob katerih so notranje statistične fluktuacije zanemarljive:

izpovprečeno gibanje nevtronov predstavlja reaktor v stacionarnem stanju, študiramo vedenje po hudih spremembah upravljanja, nezgodah pd.

povprečni tek življenja populacije zmotimo s hudimi posegi (množični odstrel, naravna katastrofa, uvedba nove tekmujoče vrste...).



Sl. 4. Numerični model

V modelu Zajcev in lisic se še posebej nazorno vidi, kako se z nivojem simulacije krči količina informacije. Na prvih dveh nivojih lahko posameznim živalim pripišemo tudi popolnoma individualne lastnosti (hitrost, plodnost, pretkanost), tako da bi po rezultatih simulacije lahko napisali tudi roman iz živalskega sveta z dobro karakteriziranimi junaki in zanimivimi usodami. Vendar jim moramo na začetku individualne lastnosti podeliti sami: če naj model ne bo čisto fantazijski in naj rabi za preučevanje realnih sistemov, lahko to napravi samo dober poznavalec teh živalskih vrst, ki si je z opazovanji nabral obsežno znanje. Na nivoju kolektivne simulacije pa potrebujemo vsega nekaj koeficientov, ki povedo povprečne verjetnosti za dogodke. Smiselne vrednosti zanje lahko določimo tudi brez specialnega znanja, če ne drugače, tudi s poskušanjem, katere kombinacije dajo najbolj realistične rezultate. Zavedati se moramo, da je vsaka simulacija najprej simulacija same sebe in šele potem simulacija obravnavanega sistema. Zato simulacija ni program za enkratno uporabo: najprej moramo razumeti njeno delovanje in njene omejitve, šele potem jo lahko uporabimo za študij obravnavanega sistema.

LITERATURA

[1] M. F. Barnes, *Measurement and Modelling Methods for Computer Systems Performance*, Langton Information Systems Ltd. 1979.

DOMAČE VESTI

SEMINAR »ELEKTRONIKA IN RAČUNALNIŠTVO V FIZIKALNEM MERSTVU«

Seminar, 3., 4. in 5. 2. 1983, namenjen srednješolskim profesorjem fizike in matematike, ki sta ga prirejala DMFA in VTOZD fizika FNT, je bil letos fizikalno pobarvan. Ker smo želeli pokazati na nove možnosti, ki jih daje sodobna elektronika za popestritev pouka fizike, je bil poudarek na eksperimentiranju. Zato smo imeli ob šestih urah predavanj približno 15 ur praktičnega dela. Uspešno eksperimentalno delo bi seveda ne bilo mogoče pri prevelikem številu udeležencev, zato smo omejili vpis in ponovili seminar 9., 10. in 11. 6. 1983. Skupno število udeležencev obeh seminarjev je bilo 61. Še posebej smo bili veseli štirih zamejskih kolegov, treh Tržičanov in enega Celovčana.

Udeleženci tečaja so ob začetku dobili razmnožena predavanja, ki jih razen predavanja prof. A. Moljka: Napredek fizikalnega merstva, najdete ponatisnjene v pričujoči številki Obzornika, ter navodila za vaje.

Pri vajah so bili udeleženci razdeljeni v dve skupini. V eni so sestavili enega od treh merilnikov, predstavljenih na predhodnih straneh in ga preskusili, v drugi pa so se seznanili z uporabo računalnikov za simuliranje fizikalnih pojavov. Tako so preskusili programe za simuliranje jedrskega razpada, gibanje delca v nekaterih centralnosimetričnih potencialih in pristajanje na Luni. Zanimiva je bila tudi uporaba računalnika za sprotno obdelavo merilnih podatkov.

Žal je primanjkovalo časa za sistematski prikaz možnosti, ki jih dajejo novi merilniki pri pouku fizike. To in še neobjavljeno predavanje bi želeli natisniti v eni prihodnjih števil.

Oba seminarja sta lepo uspela in pokazala, da še ni umrlo zanimanje za eksperimentiranje. Ob primerni skrbi zanj bi bilo po šolah mogoče še marsikaj storiti.

Jože Pahor

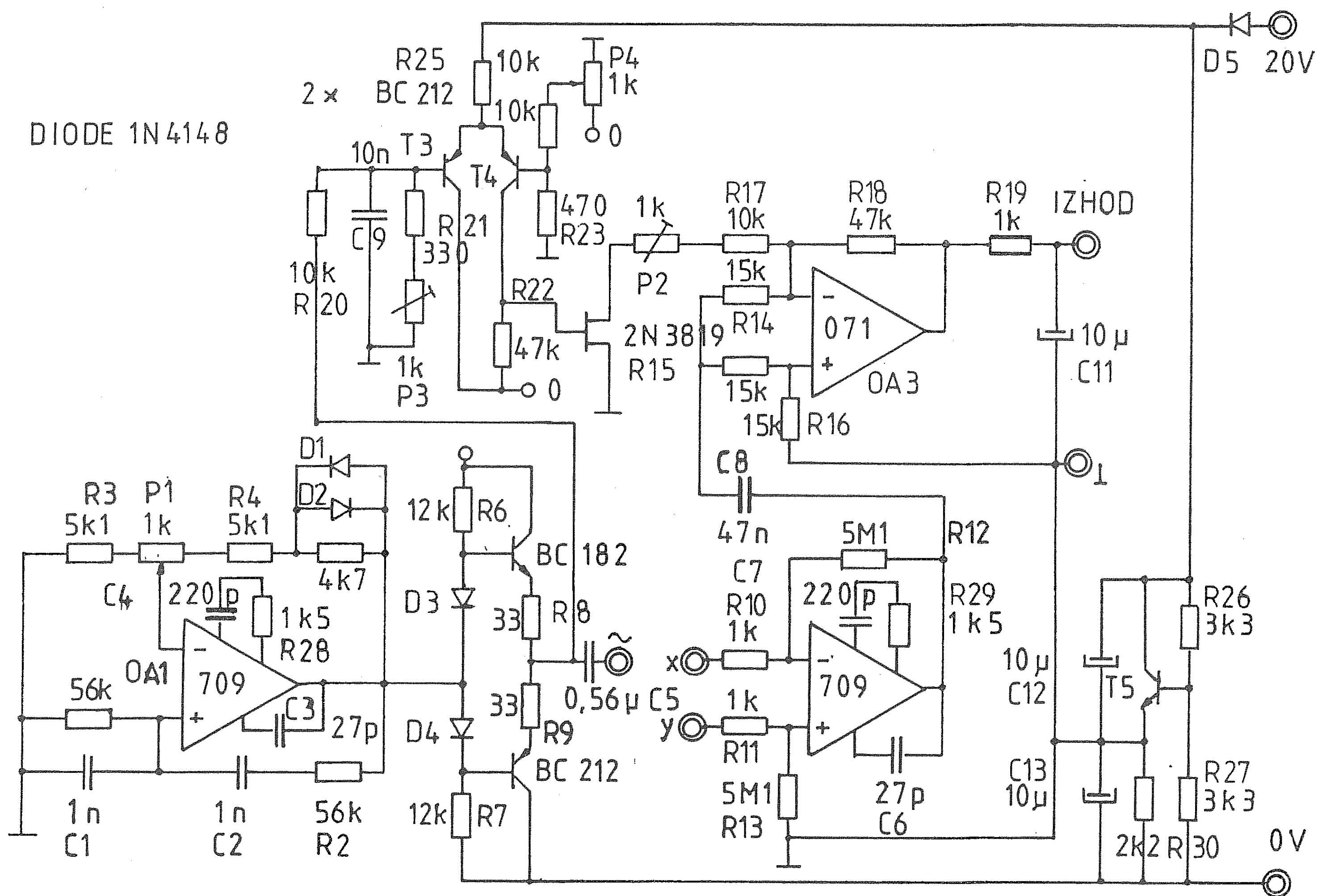
MERILNIK MAJHNIH PREMIKOV, SIL ALI TEMPERATURE

Princip delovanja merilnika in njegovo bločno shemo smo že spoznali (1), zato se pomudimo ob detajlni shemi.

Realizacijo vezja kaže sl. 1. V Wienovem oscilatorju je uporabljen operacijski ojačevalnik 709. S kondenzatorjema C 3 in C 4 ter z uporom R 28 dosežemo, da ne niha po svoje. Upora R 1 in R 2 ter kondenzatorja C 1 in C 2 določata krožno frekvenco nihanja $\omega = (RC)^{-1/2}$. Oscilator načelno niha, če vračamo 1/3 njegove izhodne napetosti na gornji vhod, ki obrača signal. Nastavitev pa je kritična, zato uporabimo nastavljivi potenciometer P 1. Za stabilno amplitudo poskrbi nelinearna povratna vez, v kateri sta dve diodi D 1 in D 2 vezani vzporedno z uporom R 5.

Ker ojačevalnik ni zaščiten proti kratkemu stiku, je dodana izhodna stopnja s tranzistorjema T 1 in T 2. Ob signalu 0,5 V in ob zaščitnih emitterskih uporih R 8 in R 9 po 33 ohmov ter izhodnem kondenzatorju C 5 prenese izhod stik na zemljo ali na katerokoli napajalno napetost.

V ojačevalniku razlike z operacijskim ojačevalnikom 709 A 2 dosežemo ojačenje $R_{10}/R_{12} = R_{11}/R_{13} = 51$. Če je ojačenje preveliko, lahko dodamo zaporedna dodatna upora k obema vhodnima uporoma R 10 in R 11. V tej stopnji pride lahko do precejšnje napetosti med izhodom in zemljo, ki naj bo pri obeh ozemljenih vhidih sicer 0. Dokler ta napetost ne preseže vrednosti pri-



Sl. 1. Vezje merilnika majhnih premikov ...

(1) Elektronske enote za obdelavo merskih podatkov; v tej številki OMF.

bližno 5 V, ni treba skrbeti. Enosmerno komponento oddeli namreč od harmonično nihajočega signala kondenzator C 8. Večje odmike pa je mogoče zmanjšati, če vežemo vhod ojačevalnika + ali — prek dovolj velikega upora nekaj megaohmov na eno od napajalnih napetosti.

Delovanje stopnje z ojačenjem + 1 ali — 1 smo že spoznali. Kot stikalo, ki dopušča tok skozi upor R 17, je uporabljen tranzistor z efektom polja 2 N 3819 (FET = field effect transistor). Zapiramo ga z napetostjo — 12 V, priključeno na vrata (gate; na shemi srednja elektroda) in merjeno proti izviru (source; na sliki spodnja elektroda, ozemljena). Tedaj je upor omenjenega tranzistorja, ki ga uporabljamo kot stikalo, preko 10^9 ohmov. Tranzistor pa je odprt (upor je okoli 100 ohmov), kadar je na vratih napetost 0 V.

Napetost za krmiljenje stikalnega tranzistorja daje ničelni komparator, sestavljen tako, da je njegova izhodna napetost med mejama 0 in — 12 V. V ničelnem komparatorju, v katerem smo uporabili dva tranzistorja BC 212 kot T 3 in T 4, sta dve nastavitvi: izbira ničelne točke komparatorja, ki jo določa potenciometer P 4, in pa korekcija faze, ki jo nastavljamo s potenciometrom P 3.

Za približno simetrično napajalno napetost + 10 in — 10 V glede na oba vhoda operacijskega ojačevalnika poskrbi emitorski sledilnik s tranzistorjem T 5. Zunanji izvir napetosti 20 V pri tem ne sme biti ozemljen, saj ozemljimo emitorsko napetost tranzistorja T 5. Zaradi varnosti vežemo diodo D 5 na napajalni vod + 20 V. Operacijski ojačevalniki bi se pokvarili, če bi priključili obrnjeno napetost. Zaščitna dioda pa v takem primeru ne prepušča in posledic ni.

Sestavljanje aparature je bilo razmeroma lahko, saj so tečajniki dobili komponente skupaj s tiskanim vezjem in z navodilom za sestavo. Primer so Navodila za sestavo merilnika naboja na strani 159.

V našem primeru sestavimo najprej napajalni del in ga takoj preskusimo. Nato sestavimo Wienov oscilator, ki mora nihati, preden nadaljujemo z delom. Težko je dati niz napotkov, kako odkrivati napake, če kaj ne dela; potrebne izkušnje si pridobimo šele z daljšim delom. V splošnem velja, da je za preverjanje delovanja potreben soliden osciloskop. Če ugotovimo, da oscilator ne dela, se odločimo za nadaljnji korak glede na izhodno napetost ojačevalnika. Če je močno pozitivna ali negativna, morda ni priključena ena od napajalnih napetosti. Če sta ti dve v redu, morda ni sklenjena negativna povratna vez. Med izhod in obračalni vhod, označen z —, priključimo upor nekaj kiloohmov. Če tudi tedaj ostane izhodna napetost močno premaknjena navzgor ali navzdol in če je hkrati napetost neobračalnega vhoda + blizu 0, je najbrž zanič operacijski ojačevalnik. To pa se dogodi zelo redko.

Lahko ugotovimo, da oscilator ne niha, izhodna napetost pa je nič. Tedaj zasučemo drsnik potenciometra P 1 čimbolj proti upor R 3. Tako manjšamo negativno povratno vez. Morda pa smo se zmotili pri vstavljanju uporov in kondenzatorjev? Morda je potenciometer prekinjen? Zvežimo obračalni vhod ojačevalnika neposredno na zemljo z uporom 1 kohm. Zadnje, toda ne nemoogoče, je, da elementi niso tisto, za kar jih imamo. Vrednost uporov hitro preverimo, pri kondenzatorjih pa je to težje. Merilniki kapacitete so bolj redki gost v naših laboratorijih. Ni pa popolnoma nemogoče, da je kondenzator nepravilno označen. V takem primeru lahko tudi strokovnjak išče napako po ves dan.

Morda stopnja niha s frekvenco nekaj 100 kHz? Preverili bomo, če so upori in kondenzatorji za kompenzacijo na mestu.

Nekaj teh napotkov lahko uporabimo tudi pri iskanju napak v stopnjah, ki jih sestavimo kasneje. Naslednja je na vrsti močnostna izhodna stopnja, ki jo takoj spet preskusimo. Za preverjanje delovanja diferenčnega ojačevalnika sestavimo most iz štirih enakih uporov po 1 kohm, kamor priključimo napetost iz Wienovega oscilatorja.

Tudi stopnjo z ojačenjem $+1$ ali -1 preskusimo takoj; najprej brez tranzistorja 2 N 3819. Taka stopnja prevede harmonični vhodni signal v enako velik izhodni signal. Zdaj ozemljimo prosti konec potenciometra P 2. Da se je spremenil znak izhodnega signala, se lahko prepričamo, če osciloskop prožimo z vhodnim signalom in ne, kot običajno, s signalom, ki ga opazujemo na izhodu.

Preostane le še sestava ničelnega komparatorja. Pri kontroli opazujemo signal na kolektorju tranzistorja T 4. S sukanjem potenciometra za nastavitev ničle P 4 približno izenačimo časa, v katerih je napetost 0 in -12 V.

Končno vstavimo tranzistor 2 N 3819 in opazujemo izhodni signal demodulatorske stopnje. Pri pravilnem delovanju moramo zaslediti usmerjeno harmonično napetost z enakima polperiodama. Uravnovešenje amplitud obeh polperiod je mogoče s potenciometrom P 2, s sukanjem potenciometra P 3 pa spreminjamo fazo kontrolne napetosti. Če je merjeni signal natanko v fazi s kontrolnim signalom, pride do spremembe znaka vedno ob prehodih harmonične napetosti prek ničle.

Zdaj je merilni sistem pripravljen za meritve.

Jože Pahor

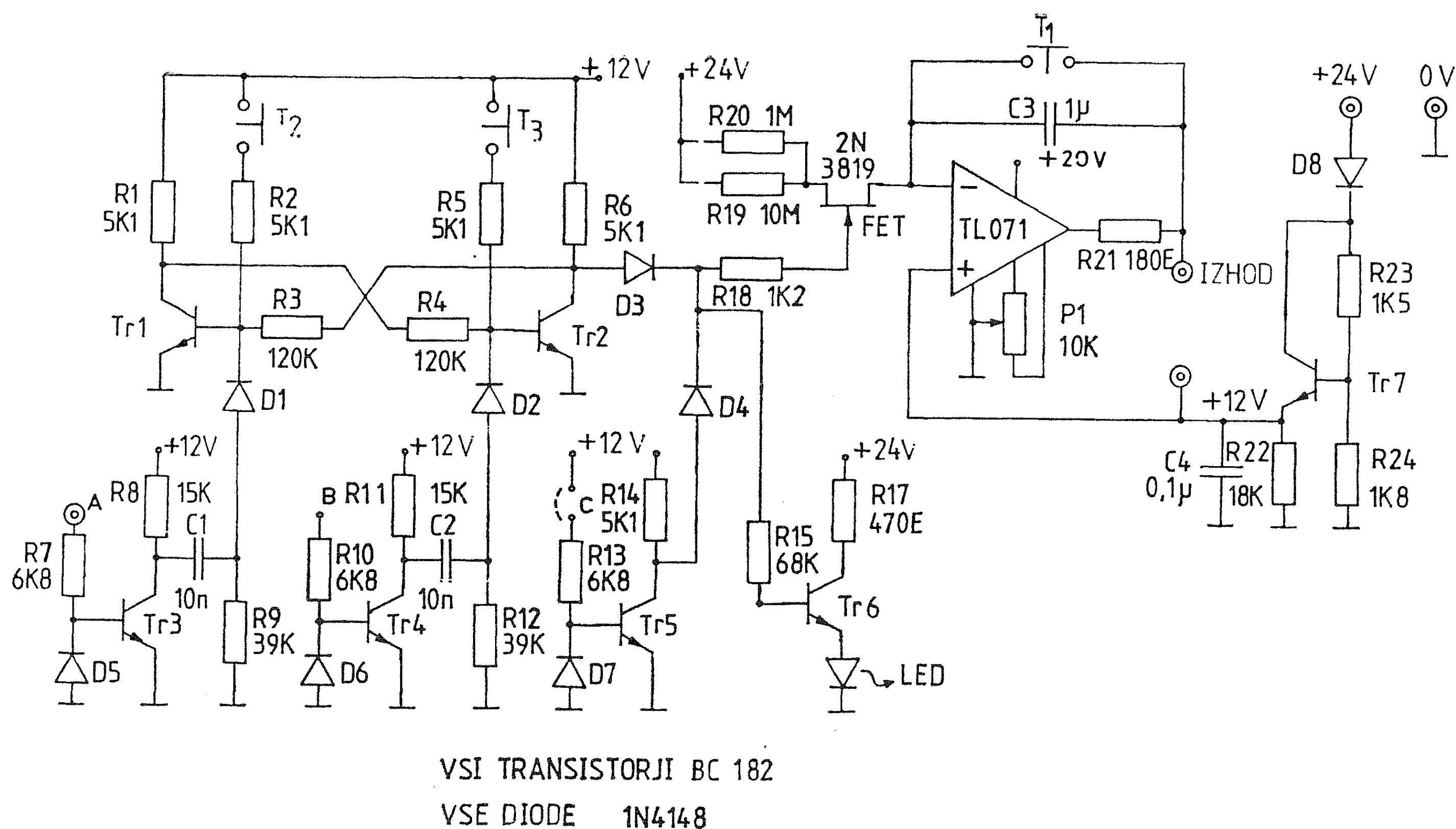
ELEKTRIČNA ANALOGNA URA

Vezje električne analogne ure kaže sicer sl. 1, vendar prepoznavanje shem, ki vsebujejo pretežno tranzistorje, ni prijetno. Tudi tolmačenje delovanja takih sistemov ni hvaležno. Zato začnimo z bločno shemo, ki jo kaže sl. 2. Osrednji del naprave je integrator, priključen na konstantno vhodno napetost U_0 prek polvodniškega stikala 2 N 3819. Kdaj je stikalo odprto, določa flipflop, ki ga lahko prevračamo na več neodvisnih načinov.

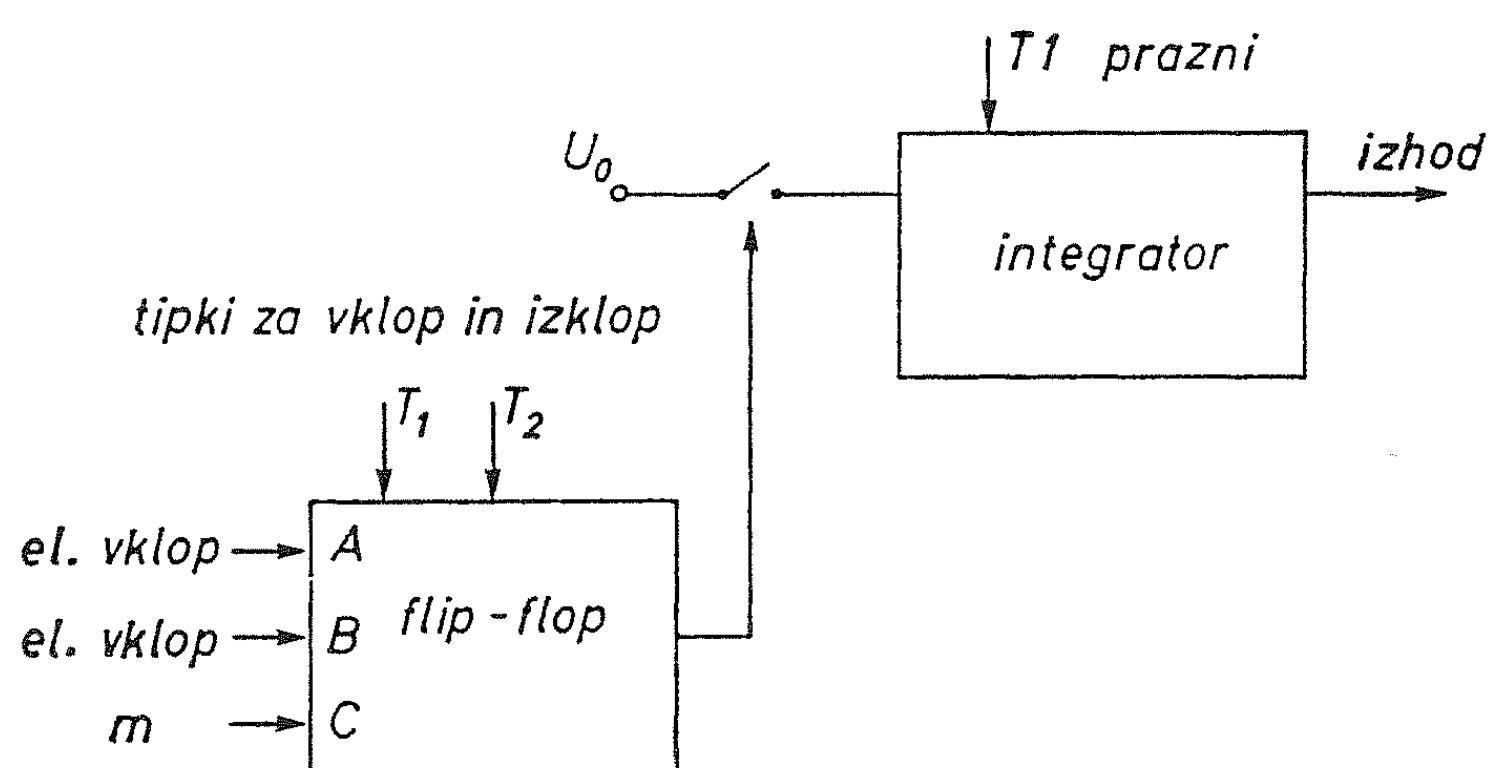
Ker smo spoznali osnovno zgradbo, nam ne bo težko prepoznati komponent na shemi (Sl. 1).

S potenciometrom P 1 uravnavamo ničlo integratorja. Občutljivost ure določata upora R 19 in R 20. Čim manjši je upor, tem hitreje se polni kondenzator C 3 in tem hitreje raste izhodna napetost. Kondenzator izpraznimo in vrnemo uro na 0 s tipko T 1, ki na kratko sklene obe strani kondenzatorja C 3. Flipflop sestavljata tranzistorja Tr 1 in Tr 2, sveteča dioda prek tranzistorja Tr 6 pa pove, če ura teče. Najpreprosteje vključimo uro, če pritisnemo na tipko T 2, izključimo pa jo s pritiskom na tipko T 3.

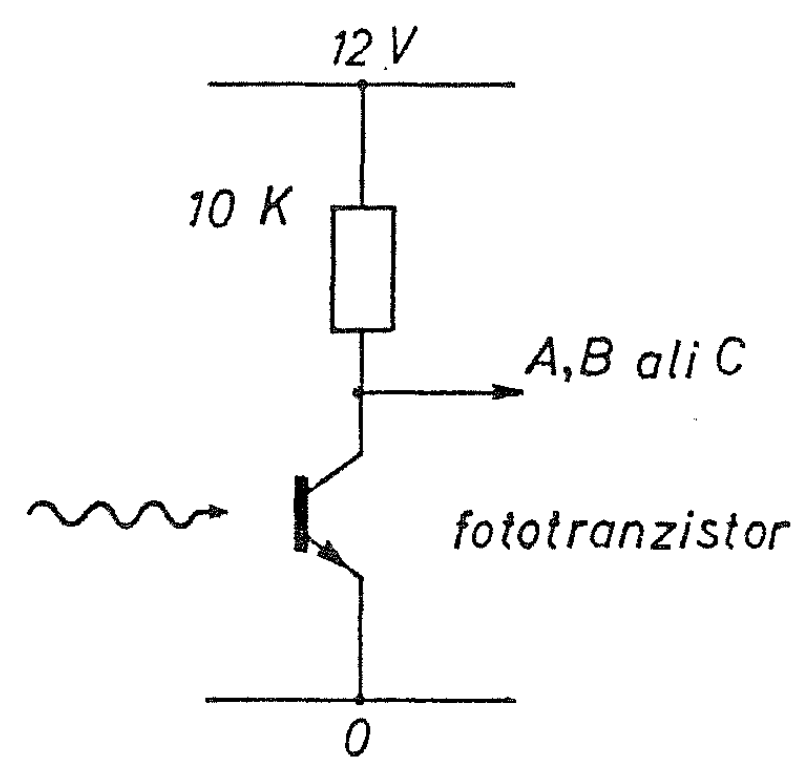
Nadaljna možnost je, da sprožimo uro prek vhoda A, ki naj bo do proženja pozitiven. Ko pade napetost na vhodu A na 0, se prej odprt tranzistor Tr 3 zapre, zato zraste njegova kolektorska napetost od 0 do 10 V. Ta prehod se prek kondenzatorja C 1 in diode D 1 prenese na bazo tranzistorja Tr 1 in



Sl. 1. Vezje električne analogne ure



Sl. 2. Bločna shema električne analogne ure



Sl. 3. Uro lahko požene-
mo ali ustavimo tudi
prek fototranzistorjev

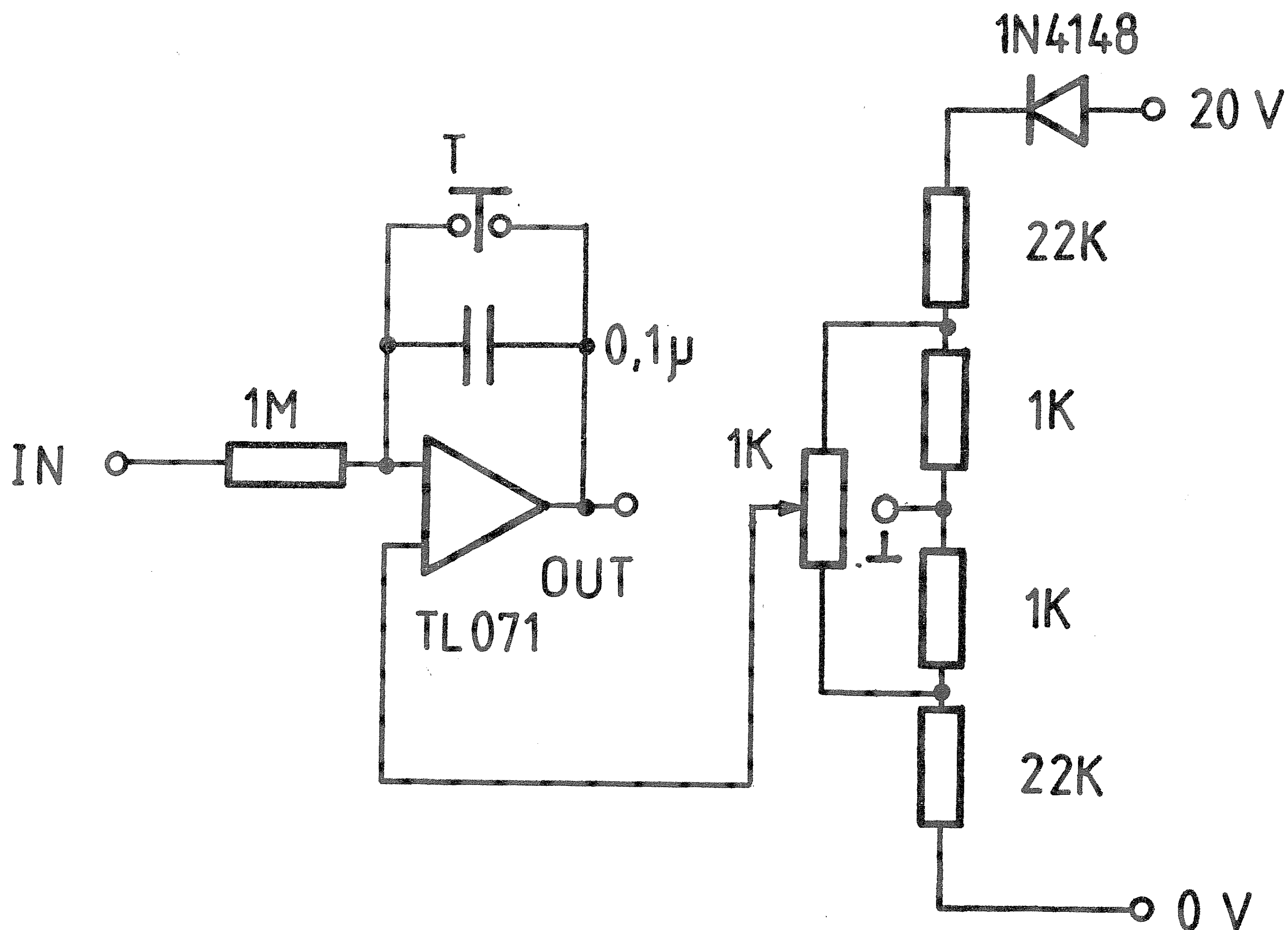
tako prevrže flipflop. Podobno ustavimo uro prek vhoda B. Na kateregakoli od obeh vhodov A in B priključimo lahko fototranzistor (Sl. 3). Ura steče ali se ustavi, ko se prekine svetlobni curek, ki sicer osvetljuje tranzistor.

Neposredno, brez uporabe flipflopa, pa je mogoče skleniti polprevodniško stikalo tudi prek tranzistorja Tr 5. V ta namen razklenemo prevezo med točko C in napajalno napetostjo 12 V, obenem pa vezemo na točko C fototranzistor kot v prejšnjem primeru, prikazanem na sl. 3. Ura stoji, dokler je tranzistor osvetljen, steče pa, ko svetlobni curek prekinemo. Prek tega vhoda je mogoče meriti hitrosti gibajočega se telesa, ki za kratek čas zasenči sicer osvetljen fototranzistor.

Jože Pahor, Andrej Kregar

MERILNIK NABOJA

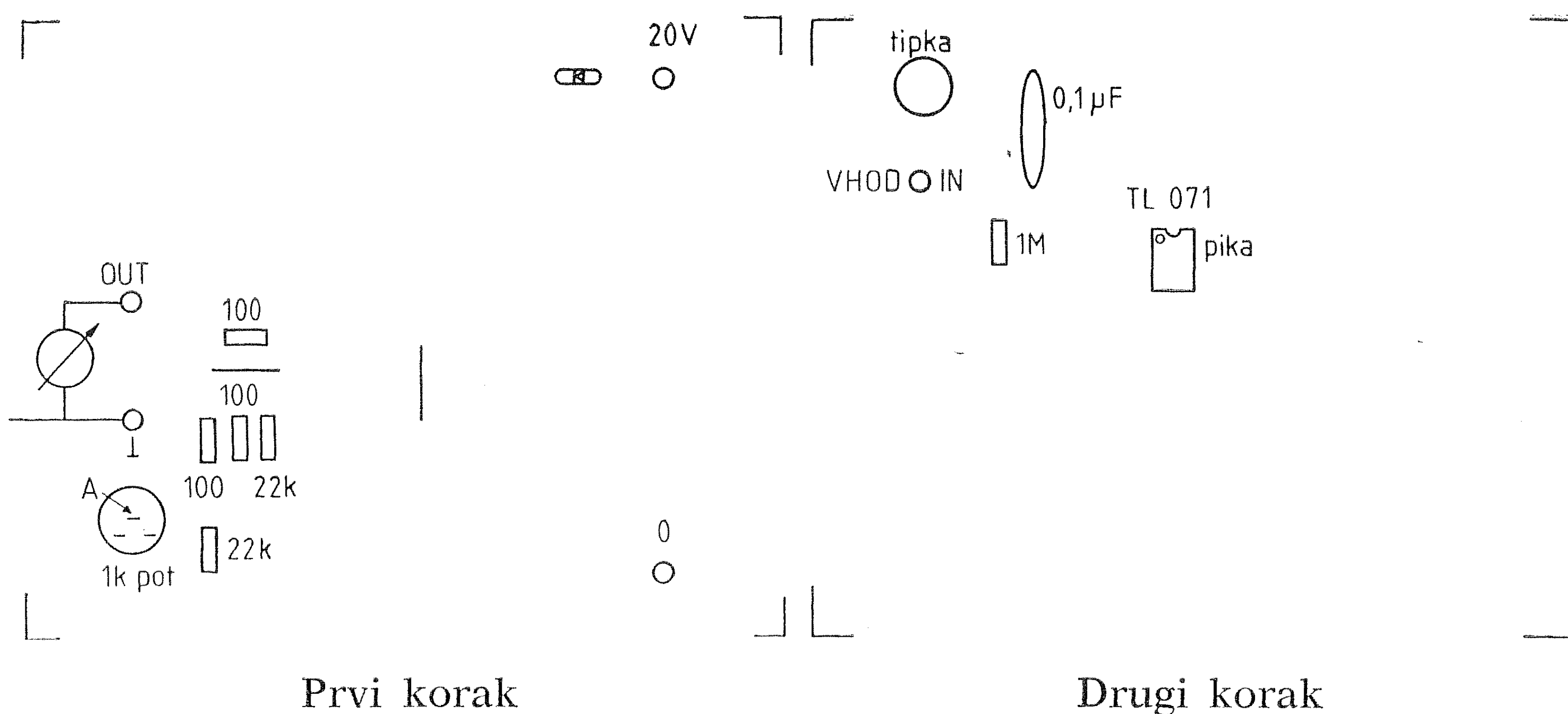
Ena od treh aparatov, ki so jih sestavljali tečajniki seminarja *Elektronika in računalništvo v fizikalnem merstvu*, je bila merilnik naboja. Tečajniki so dobili v roke vrečko z vsemi komponentami in navodilo s skicami, ki ga tukaj ponatiskujemo.



NAVODILA ZA SESTAVO MERILNIKA NABOJA

1. korak

Vstavimo pušici za priključek na 20 V (rdeča) in na 0 V (črna). Vstavimo diodo in pazimo na smer. Črtica na diodi in črtica na skici se morata pokrivati. Napravimo prevezo pod operacijskim ojačevalnikom TL 071 ter spojimo oba upora po 22 ohmov in po 100 ohmov ter potenciometer 1 ohm za uravnavanje ničle. Ko priključimo vezje na napajalno napetost, ugotovimo približno pol napajalne napetosti med puščico **O** in drsnikom potenciometra (točka **A**); ter 0,6 V na diodi. Zdaj preverimo delovanje potenciometra P. Priključimo voltmeter med točki **A** in **L**, kamor privijemo modro puščico, in sučemo potenciometer. Nekje v srednji legi potenciometra ugotovimo napetost 0, v obeh skrajnih legah pa namerimo približno ± 50 mV. Dela? Bravo, torej naprej! Napajalno napetost spet odklopimo in se lotimo drugega koraka.



2. korak

Noter z operacijskim ojačevalnikom! Da se vstaviti prav ali narobe. Pazi na lego polkrožnega vreza na eni od krajših stranic! Še kondenzator in tipkalo ter dve modri puščici za vhod **IN** in za izhod **OUT**.

Voltmeter z območjem 30 V istosmerne napetosti priključimo med pušico **O** in pušico **OUT**, kjer pričakujemo pozitivno napetost, in vključimo napravo. Če je vse prav, bo voltmeter kazal približno 10 V. Lahko je v kondenzatorju za $0,1 \mu\text{F}$ še kaj nezaželenega naboja. Izpraznimo ga s tipko T.

Zdaj pride glavni preskus: ali se da pretakati naboj? Poprosimo demonstratorja za kondenzator, denimo za $0,1 \mu\text{F}$, in ga nabijemo na napetostnem izviru med 0 in 20 V. Potem pretočimo naboj iz kondenzatorja v merilnik tako, da ga nabitega pritaknemo med pušico **IN** in pušico **L**. Instrument bo padel bodisi na vrednost 0 V ali pa se bo povzpел do vrednosti nekoliko pod 20 V. Smer odklona bo odvisna od tega, kako smo obrnili kondenzator. Zdaj je merilnik nared za meritve. Z voltmetrom bomo merili napetosti med pušico **OUT** in puščico **L** na nižjem območju, morda 3 V, in pazili, da dobivamo odklon le v smer, ki ji lahko voltmeter sledi.

Opomba: Pred resnimi meritvami je ugodno naravnati ničlo. To napravimo na dva načina:

1. Pritisnemo tipko in s potenciometrom nastavimo odklon 0 na voltmetru, ob pritisnjeni tipki.

2. Povežemo z žico **IN** in puščico **L**, izpraznimo kondenzator C s kratkim pritiskom na tipko T in skušamo najti tako lego potenciometra P, da kazalec instrumenta obmiruje v katerikoli legi.

Drugi način je natančnejši.

Jože Pahor

NOVE KNJIGE

Unified Theories of Elementary Particles / ed. P. Breitenlohner, H. P. Dürr, Berlin, Springer Verlag 1982, 217 str. — (Lecture Notes in Physics ; 160).

Poenotenje teorij o osnovnih delcih je v ospredju zanimanja, odkar je uspelo poenotiti elektrodinamiko in teorijo šibke interakcije. Po splošnem mnenju največ obeta veliko poenotenje, ki naj bi po podobni poti zajelo še močno interakcijo. Znanstveno srečanje jeseni leta 1981 v Münchnu, katerega zbornik je pred nami, je zajelo vprašanje precej širše. Srečanje je bilo posvečeno — ob petletnici smrti — W. Heisenbergu, ki je imel v načrtu drugačno poenotenje — z enotnim spinorskim poljem in nelinearnimi diferencialnimi enačbami gibanja. Vrsta prispevkov je bila iz tega razloga precej pisana.

M. K. Gaillard je prispevala splošen pregled nad prizadevanji za poenotenje interakcij med osnovnimi delci. H. Harari je predaval o sestavljenih leptonih in kvarkih in H. P. Dürr o radikalnem poenotanju. K. A. Johnson je obravnaval spekulacije o vakuumu v kvantni kromodinamiki, J. L. Gervais nekaj novih uspehov v kromodinamiki strun in J. Kuti numerično proučevanje kvantne kromodinamike. J. Fröhlich je obdelal spontano prekršene in dinamično ojačene globalne in lokalne simetrije in B. Zumino spontano prekršitev supersimetrije. G. W. Gibbons je poročal o supersimetričnih solitonskih stanjih v razširjenih supergravitacijskih teorijah in S. Desser o stabilnostnih lastnostih gravitacijskih teorij. S. W. Hawking se je spraševal, zakaj je navidezna kozmološka konstanta enaka nič. Vrsto prispevkov pa so zaključili J. Cheeger, W. Müller in R. Schrader, ki so razmišljali o gravitaciji na mreži ali Riemannovi strukturi odsekoma linearnih prostorov, in J. A. Wheeler, ki je razmišljal o delcih in geometriji.

V raznorodnosti prispevkov je mogoče videti tudi prednost, posebno velja to za tiste, ki jih zanima poenotenje teorij o interakcijah s širšega vidika.

Janez Strnad

MAYER, Dieter M, The Ruelle-Araki Transfer Operator in Classical Statistical mechanics, Berlin, Springer Verlag 1980, 154 str.

Strogi matematični izreki in dokazi v statistični mehaniki predstavljajo posebno vejo matematične fizike, ki je doživela močan razcvet v zadnjih petnajstih letih. Naj pri tem omenimo samo dela D. Ruella, Y. Sinaia, Dobrushina, J. Mosera, ki jim je z vpeljavo novih matematičnih metod uspelo povezati z istem jezikom navidezno tako različna področja, kot so teorija dinamičnih sistemov in problem faznih prehodov v enodimenzionalnih sistemih.

Pod vplivom omenjenih del je skušal avtor raziskati vprašanje izračuna, odvedljivosti in realnosti nekaterih termodinamskih funkcij za posplošeni Isingov sistem spinov na enodimenzionalni mreži, in sicer v primeru, če pada interakcija med spini eksponencialno ali pa recipročno neki potenci razdalje.

V prvem poglavju knjige avtor pojasni klasično metodo Kramersa in Wanniera z matriko prenosa, ki v primeru sil končnega dosega prevede iskanje analitičnega izraza za prosto energijo na algebraični problem določevanja spektra ustrezno prirejene končno dimenzionalne matrike, pri čemer je prosta energija enostavno povezana z njeno največjo lastno vrednostjo.

V primeru sil dolgega dosega je mogoče uporabiti za isti namen posplošeno Araki-Ruellovo matriko prenosa, ki sicer ni več enostavna matrika, je pa še vedno linearen operator, katerega lastne vrednosti pri primerno izbranem prostoru funkcij lahko povežemo s prosto energijo in korelacijskimi funkcijami. To pa je ravno osrednji problem, katerega rešitev prikaže avtor za primer interakcije, ki pada eksponencialno. Avtor dosledno razloži uporabljeno matematično tehniko, še posebej teorijo jedrskih operatorjev v Banachovih prostorih.

Knjiga je napisana natančno in razumljivo, namenjena pa je predvsem raziskovalcem s področja matematične statistične mehanike.

Lovro Pičman

MATEMATIKA-FIZIKA — Zbirka univerzitetnih učbenikov in monografij

9

J. Strnad
FIZIKA, 1. del
Mehanika.
Toplota

240.— din (200.— din)

14

J. Strnad
FIZIKA, 3. del
Posebna teorija
relativnosti.
Kvantna fizika.
Atomi

720.— din (576.— din)

10

Z. Bohte
NUMERIČNE
METODE

160.— din (128.— din)

15

I. Vidav
AFINA IN
PROJEKTIVNA
GEOMETRIJA

300.— din (240.— din)

11

J. Strnad
FIZIKA, 2. del
Elektrika.
Optika

300.— din (240.— din)

16

R. Jamnik
MATEMATIKA

1200.— din (960.— din)

12

N. Prijatelj
UVOD V
MATEMATIČNO
ANALIZO,
1. del

740.— din (592.— din)

17

J. Strnad
FIZIKA, 4. del
Molekule.
Kristali. Jedra.
Delci

450.— din (360.— din)

13

R. Jamnik
MATEMATIČNA
STATISTIKA

650.— din (520.— din)

18

F. Križanič
LINEARNA
ANALIZA
NA GRUPAH

690.— din (552.— din)

Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko
Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo
Oddelek za matematiko in Oddelek za fiziko

Društvo matematikov, fizikov in astronomov SRS
Podružnica Ljubljana — Komisija za tisk
6111 Ljubljana, Jadranska c. 19, pp 6