

tačke otpora R_1 i R_2 održava oko nulte vrednosti, pa će izlaz iz pojačivača u neku ruku kopirati ulazni napon U_1 sa faznim pomeranjem za 180° . Ako su oba otpora jednaka, na izlazu iz pojačivača napon U_2 biće uvek isti kao i napon U_1 ispred otpora R_1 . Promenom otpora R_1 u određenim stupnjevima može se menjati opseg merenja tako da sam instrument uvek radi u istom strujnom opsegu. Preimućstvo ove veze je u tome da se izlazna snaga pojačivača može prilagoditi snazi instrumenta i izbeći svaka mogućnost preopterećenja instrumenta. Za okretanje faznog stava napona za 90° , što je potrebno za merenje reaktivnih snaga, umesto otpora R_2 postavlja se odgovarajući kondenzator.

Tačnost merenja sa ovim spojem zavisi isključivo od tačnosti otpora R_1 i R_2 . Ovi moraju biti visokoomski da bi se postigla što manja opterećenja mrežnog analizatora. Stanje cevi u elektronskom pojačivaču nema uticaja na tačnost merenja dok cevi ne oslabe do te mere da nisu više u stanju da daju na izlazu snagu potrebnu za napajanje instrumenata.

Za merenje struja pokazala se kao vrlo dobra metoda sa elektronski kompenziranim strujnim transformatorima prema sl. 10. Elektronski servosistem ima zadatak da na svome izlazu da takav napon da se primarni i sekundarni magnetni fluksovi što je moguće više potru. To se postiže time što se namotajem 3 meri rezultirajući magnetni fluks koji, ukoliko se obrazuje, preko pojačivača ubacuje u sekundarno kolo takav napon da fluks svede na minimalnu vrednost. Ovakvim kompenziranim strujnim transformatorom mogu se meriti struje reda veličine 10 mA sa padom napona od svega nekoliko mV.

Na mernim stolovima obično su tri pojačivača, i to: jedan za struju koji napaja ampermetar i strujna kola vatmetra i varmetra, jedan za napon za voltmetar i naponsko kolo vatmetra i jedan naponski sa faznim pomeranjem za 90° za napajanje naponskog kola varmetra.

Kontrola tačnosti merenja obavlja se proverom zbira aktivnih i reaktivnih snaga u čvorištima ili priključkom etaloniranih potrošača aktivne i reaktivne snage.

DANAŠNJE STANJE I PERSPEKTIVE DALJEG RAZVOJA ANALIZATORSKE TEHNIKE

Mrežni analizatori se najviše upotrebljavaju za potrebe elektroprivrede. Na velikim mrežnim analizatorima naizmjenične struje ispituju se razne konfiguracije visokonaponskih mreža, kretanja aktivnih i reaktivnih snaga, naponske prilike na sabirnim šinama čvorišta, gubici u prenosu, lokacije novih izvora energije i novih dalekovoda itd. Za ispitivanje struja kratkih spojeva radi dimenzionisanja prekidača i relejne zaštite primenjuje se pored analizatora naizmjenične struje i analizator jednosmerne struje zbog svoje jednostavnosti u radu.

Za brze provere raspodele aktivnih snaga, što je od velike koristi dispečerskim centrima, primenjuju se jednosmerni analizatori sa fiksnim vrednostima.

Za ispitivanje statičkog i dinamičkog stabiliteta mreže primenjuju se mrežni analizatori naizmjenične struje uz pomoć metode približavanja poznate pod imenom »korak po korak«. Za studije ovih problema još su pogodniji trofazni analizatori sa obrtnim mašinama i simulatori kombinovani sa generatorskim jedinicama mrežnih analizatora naizmjenične struje. Ovi specijalni analizatori omogućuju naročito detaljna ispitivanja uticaja pobudnih uređaja na stabilitet mreža, optimalan izbor zamajnih masa, dejstvo prigušnih namotaja, sisteme regulacije brzine itd.

U našoj zemlji počelo se izgradnjom prvog jednosmernog analizatora uoči Drugog svetskog rata. Ovaj analizator je završen tek pre nekoliko godina u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu.

Prvi veliki analizator naizmjenične struje sagrađen je u Institutu za elektroprivredu u Beogradu, i to za učestanost od 500 Hz, a zatim jedan još veći u Institutu za elektroprivredu u Ljubljani za učestanost od 50 Hz. Na svim ovim analizatorima rešen je sa uspehom veliki broj elektroprivrednih problema.

Razvoj tehnike otvara nove mogućnosti za konstrukciju mrežnih analizatora. Samo merenje se može umnogome ubrzati pretvaračima analognih veličina u brojčane. Ovi merni uređaji koji daju direktno cifarske vrednosti mogu se kombinovati sa električnim pisačim mašinama tako da se odmah i upisuju rezultati. Pored toga što je brzina rada velika, i mogućnost grešaka ovim se skoro sasvim isključuje. Podešavanje radnog stanja mreže je ranije oduzimalo prilično vremena; danas su konstruisani servo-sistemi koji to obavljaju vrlo brzo i automatski.

Primena trofaznih analizatora sa obrtnim mašinama kao i tranzitnih analizatora nije velika, zbog komplikovanosti i visoke cene instalacija. Ipak za rešavanje nekih specijalnih elektroprivrednih problema ostaju ovi analizatori nezamenljivi. Naročito su se tranzitni analizatori pokazali kao jedini za merenje prenapona u mrežama pri kratkim spojevima i isključivanju prekidača, za studije raznih nelinearnosti, kao pojava zasićenja i ferorezonansa, ponašanja odvodnika prenapona, usmerača, zatim tranzitnih pojava na krajevima dalekovoda, kao i još mnogih drugih elektroprivrednih problema koji se postavljaju sa razvojem mreža.

Analizatori su našli široku primenu i u drugim granama tehnike. Tako npr. na jednosmernim analizatorima se rešavaju razni problemi raspodele magnetnih i električnih polja, kretanje fluida, sistema mazanja, prolaza toplote u složenim telima itd. Na naizmjeničnim analizatorima se pored ovih problema rešavaju i problemi mehaničkih vibracija, a specijalno torzionih vibracija na električnim mašinama.

Poslednjih godina sve više i više nalaze primenu za rešavanje elektroprivrednih problema i elektronske računске mašine koje rade sa brojčanim vrednostima (digitalne). Svi problemi rešavani na mrežnim analizatorima mogu se rešavati i na ovim mašinama. Drukčiji je samo način rada. Dok su mrežni analizatori sveli složene račune petljastih mreža na merenja analognih veličina, dole ove računске mašine samostalno obavljaju proračune mreža na klasične načine ali velikom brzinom, i to potpuno samostalno po unapred utvrđenom programu. Sve klasične metode računa petljastih mreža transfiguracijom, pomoću tenzora odnosno matrica, približavanjem i probama, primenjuju se na ovim mašinama. Da li će se njihova primena razviti do te mere da će izbaciti mrežne analizatore, teško je danas reći. Sigurno je međutim da su ove digitalne mašine već našle veliku primenu za rešavanje raznih ekonomskih problema u elektroprivredi.

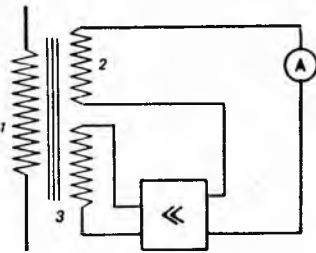
LIT.: F. Cahen, Les auxiliaires du calcul des réseaux électriques: modèles analogues, calculateurs. Bulletin de la Société française des électriciens, mart 1954. I. Oč.

ANALOGNO RAČUNALO, uređaj za proučavanje matematičkih formi koje karakteriziraju vladanje određenog fizikalnog, kemijskog, biološkog, ekonomskog ili regulacionog procesa ili sistema. Matematičke forme proučavanih procesa su kontinuirane funkcije, pa su i varijable analognog računala vremenski kontinuirane. U kontinuiranom obliku se dobije i na prikladan način registrira i rezultat. Razmatrajući rezultate dobivene proučavanjem takvih formi zaključuje se onda o parametrima dotičnog sistema ili procesa. Ime »analogno« potječe od fizikalnih analogija koje su potakle ideju razvoja ovih računala, ali više ne odgovara njihovu principu rada. Tačniji bi bio naziv kontinuirano računalo.

Analogno računalo kao *indirektni analogni-računski uređaj*, na kojemu se proučavanje spomenutih sistema ili procesa izvodi samo posredstvom matematičkih formi, treba razlikovati od *direktnih analogni-računskih uređaja* koji su namijenjeni neposrednom proučavanju fizikalnih modela. U grupu direktnih analogni-računskih uređaja idu analizatori električkih mreža.

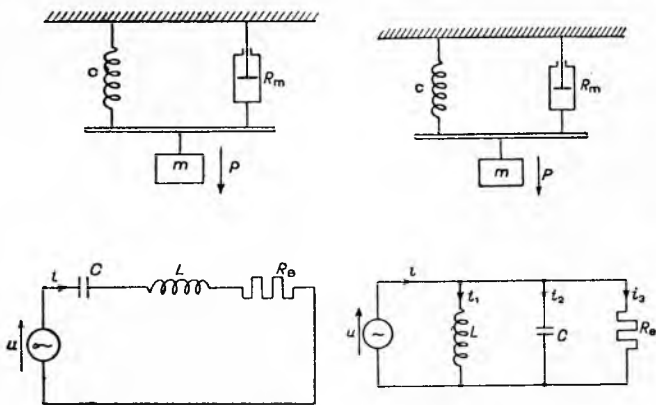
Usporede li se zakon gibanja $P = m \frac{dv}{dt}$ u mehanici i zakon $U = L \frac{di}{dt}$ u elektrici, vidi se strukturalna analogija tih zakona koja nameće misao analogije mehaničkih i električkih veličina. Kažemo: sili P u mehaničkom sistemu analogan je napon U u električkom sistemu; masi m , induktivitet L ; brzini v , struja i . Utvrdivši fizikalnu analogiju mehaničkog i električkog sistema, nije teško izvršiti jednostavno modeliranje, tj. sastaviti električki model mehaničkog sistema, kako je to prikazano primjerom na sl. 1.

Može se poći i sa drugog stanovišta. Uzme li se u elektrici zakon $i = C \frac{du}{dt}$ (koji sledi iz $u = \frac{1}{C} \int i dt$), dolazi se do sasvim nove analogije: sili P odgovara sada struja i ; masi m , kapacitet C ; brzini v , napon u . Električki model mehaničkog sistema na sl. 1 poprima također drugi oblik, kako pokazuje sl. 2. Kako se u ovoj analogiji slika paralelnog mehaničkog sistema poklapa sa slikom paralelnog električkog kruga, ova se analogija čini na prvi pogled potpunijom. Međutim, u mehanici se zamišlja brzina kao posljedica postojanja sile, a u elektrici struja kao posljedica postojanja napona; to se iz ove analogije ne razabire. Drugi jo-



SL. 10

je prigovor da se odgovarajući otpori u mehaničkom i električkom sistemu odnose recipročno. Zato se primjenjuje redovito samo prva analogija, a kako električna analogija i drugih sistema pruža široke mogućnosti eksperimentiranja na modelu, to se mnogo primjenjuje u kemiji, biologiji i ekonomiji.



Sl. 1

Sl. 2

Uređaj u kojemu se, koristeći se principom analogije i podudaranjem fizikalnih zakona vladanja dinamičkog sistema sa Kirchhoffovim zakonima, sastavne njegove komponente (otpornik, induktivitet, kapacitet i transformator) pridružuju direktno parametrima promatranog sistema — naziva se *analizatorom električkih mreža*. Varijable uređaja su napon i struja i one predstavljaju direktno fizikalne varijable kao što su sila, brzina, pomak.

Često se takav uređaj primjenjuje i za proučavanje matematičkih jednačbi koje predstavljaju neki sistem, a mogu se oponašati elementima analizatora posredstvom Kirchhoffovih zakona. Za takve operacije su ovi uređaji vrlo skupi pa iako njihovu skupocu donekle kompenzira velika tačnost rada, za te se svrhe daje prednost elektroničkim računalima (v. *Analizatori, mrežni*).

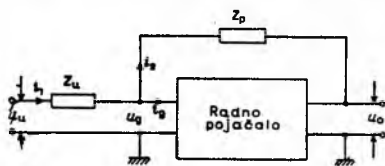
Namjesto da se za studij mehaničkih i drugih sistema upotrebljavaju modeli koji su s njima povezani analogijom među fizikalnim veličinama kakva je naprijed opisana, mogu se za istu svrhu upotrijebiti i uređaji u kojima se oponaša matematička forma za zakone fizikalnih stanja ili procesa u promatranom sistemu. Takvi su uređaji *analogna računala*.

U analognim računalima za oponašanje pojedinih matematičkih operacija najviše se primjenjuju elektromehanički i električni elementi, dok se mehanički upotrebljavaju samo za specijalne svrhe (npr. polarni planimetri). Većina današnjih analognih računala su kombinacija elektromehaničkih i električnih elemenata, pa će se daljnja razmatranja odnositi na tu kombinaciju pod imenom *elektroničko analogno računalo*.

Elektronička analogna računala se sastoje od niza jedinica — sumatora, integratora, invertora, slogova za množenje (množila), generatora funkcija i dr. — i one tvore radni sistem računala. Svojim ulaznim i izlaznim stezaljkama priključene su te jedinice na ploču s priključnicama, na kojoj se postavlja program, tj. predaju računalu podaci. Funkcija kojom se eksperimentira predočuje se odgovarajućim naponskim promjenama i predstavlja ulazni signal u radne jedinice.

Radno pojačalo. Sumiranje, integriranje i diferenciranje. Osnovu jedinica za operacije sumiranja, integriranja i diferenciranja, a i za oponašanje prijenosnih funkcija, čini radno pojačalo. To je istosmjerno pojačalo podvrgnuto specifičnim zahtjevima uz koje je vezana tačnost rada jedinica. Promatrajući princip rada tih jedinica, uočit će se i ti zahtjevi.

Sl. 3 prikazuje radno pojačalo s povratnom spregom, što čini osnovu spomenutih jedinica. Povratna sprega je negativna i izvedena pomoću impedancije Z_p , a na ulazu je impedancija Z_u . Struje su označene u slici, pa se prema Kirchhoffovu zakonu može pisati:



Sl. 3

$$i_1 = i_g + i_s \quad (1)$$

Sa Ohmovim zakonom slijedi:

$$u_u - u_g = Z_u i_1 \quad (2)$$

$$u_g - u_o = Z_p i_s \quad (3)$$

Postavlja se zahtjev da pojačalo ima što veći ulazni otpor kako bi struja i_g (struja rešetke ulazne elektronke) bila zanemarive vrijednosti ($< 10^{-7}$ A), pa se u tom slučaju može pretpostaviti $i_1 = i_s$, a to pomoću jednačbi (2) i (3) daje

$$\frac{u_u - u_g}{Z_u} = \frac{u_g - u_o}{Z_p} \quad (4)$$

Stavi li se još za $u_g = -\frac{u_o}{A}$, gdje je A pojačanje radnog pojačala, dobiva se

$$u_o = -\frac{Z_p}{Z_u} \cdot \frac{1}{1 + \frac{Z_u + Z_p}{AZ_u}} u_u \quad (5)$$

To je izraz koji daje ovisnost izlaznog signala o ulaznom. Radnom pojačalu postavlja se zahtjev što većeg pojačanja, jer se u tom slučaju može izraz $\frac{Z_u + Z_p}{AZ_u}$ zanemariti, pa slijedi jednostavni odnos izlaznog i ulaznog napona:

$$u_o = -\frac{Z_p}{Z_u} u_u \quad (6)$$

Ovaj osnovni odnos, koji karakterizira radno pojačalo s povratnom spregom kao jedinicu računala, strogo je vezan uz uvjete postavljene pojačalu, i u slučaju da ti uvjeti nisu ispunjeni, veličine koje se zanemaruju unose velike pogreške u rad računala.

Zahtjevi postavljeni pojačalu mogli bi se svrstati ovako: a) pojačanje što veće (reda 10^4 , pa čak do 10^7 i više); b) linearnost kroz široko radno područje (obično od -100 V do $+100$ V na izlazu); c) što veća ulazna impedancija a mala izlazna, d) izlazni napon nula za ulazni nula, tj. klizanje s radne tačke mora biti neznatno; e) što niži nivo šuma; f) odziv glatke funkcije od nula do nekoliko stotina Hz. Da bi se tim uvjetima zadovoljilo, razvijen je čitav niz najrazličitijih rješenja radnih pojačala, a posljednjih nekoliko godina ona se grade ne samo s elektronkama nego i s tranzistorima.

U ovisnosti o vrijednostima impedancija Z_u i Z_p u relaciji (6), pojačalo može vršiti sumiranje, integriranje ili diferenciranje. Razmotrit će se najprije pojačalo kao *jedinica za zbrajanje (sumator)*. Ako se umjesto ulazne impedancije Z_u na sl. 3 spoji niz paralelnih impedancija $Z_1, Z_2 \dots Z_n$, kroz koje teku struje $i_1, i_2 \dots i_n$, odnos ulaznog i izlaznog napona bit će

$$u_o = -Z_p \sum_{j=1}^n \frac{u_j}{Z_j} \frac{1}{1 + \frac{1}{A} \left(1 + Z_p \sum_{j=1}^n \frac{1}{Z_j} \right)} \quad (7)$$

a ako se dalje izvrše zanemarenja u skladu s provedenim razmatranjem, dobije se

$$u_o = -Z_p \sum_{j=1}^n \frac{u_j}{Z_j} \quad (8)$$

a to predstavlja proces zbrajanja. Pri tome se mogu istaknuti ovi posebni slučajevi:

a) Zbrajanje nekoliko ulaznih napona uz množenje odabranom konstantom, u skladu s odnosom (8), može se izvršiti ako se uzme:

$$Z_1 = R_1 = R_p, Z_2 = R_2 = \frac{1}{a} R_p, Z_3 = R_3 = \frac{1}{b} R_p, \dots, \text{ što daje}$$

$$u_o = -\left(\frac{u_1}{1} + \frac{u_2}{1/a} + \frac{u_3}{1/b} + \dots \right) = -(u_1 + a u_2 + b u_3 \dots)$$

b) Za $n = 1$, a uz $R_j = \frac{1}{k} R_p$, dobit će se $u_o = -k u_1$, množenje jednog ulaza konstantom.

c) Za $k = 1$ u gornjem slučaju dobije se $u_o = -u_1$, dakle promjena predznaka. Pojačalo se u tom slučaju naziva *invertor*. Vrijednost otpornika u povratnoj sprezi uzima se obično $1 \text{ M}\Omega$.

Na osnovu relacije (6) može se dalje postaviti *jedinica za integriranje (integrator)* tako da se kao Z_u zadrži čisti omski otpornik R_u , a u povratnu spregu stavi kondenzator kapaciteta

C. Struja i_2 koja teče kroz kondenzator (struja nabijanja) uvijek je proporcionalna vremenskoj derivaciji napona na tom kondenzatoru

$$i_2 = \frac{d(u_g - u_o)}{dt} \quad (9)$$

Iz te jednadžbe i jednadžbe (2) slijedi onda uz odgovarajuća zanemarenja

$$du_o = - \frac{u_u}{RC} dt \quad (10)$$

Integriranjem ovog izraza tokom vremena t , o kojem je ovisan i ulazni napon u_u , dobije se izraz koji pokazuje da taj slog djeluje kao integrator

$$u_o = - \frac{1}{RC} \int u_u dt \quad (11)$$

Primjenom ovog razmatranja na izraz (7) dobila bi se jedinica za integriranje sume. Čisto integriranje bez množenja konstantom može se postići ako je $RC = 1$. Obično se uzima $C = 1 \mu F$, pa se uz $R = 1 M\Omega$ dobije baš taj slučaj.

Međutim, uz jedinicu za integriranje je vezan još jedan problem — postavljanje početnih uvjeta. Naime, pri rješavanju diferencijalnih jednadžbi i općenito problema s integralima, u primijenjenoj matematici polazi se od nekih početnih veličina koje približe definiraju problem. Kako su funkcije u računalu predstavljene naponskim promjenama, to se i ta početna stanja moraju predstaviti određenim naponskim nivoom. Čini se to tako da se kondenzator u povratnoj sprezi integratora dovodi na taj naponski nivo $u_{poč}$, pa operaciju integriranja karakterizira jednadžba

$$\frac{u_u - u_g}{R_u} = C \frac{d(u_g - u_o + u_{poč})}{dt} \quad (12)$$

koja uređena daje:

$$u_o = u_{poč} - \frac{1}{RC} \int u_u dt \quad (13)$$

Nabijanje kondenzatora na $u_{poč}$ vrši se iz posebne baterije (sl. 4). Vrijednost napona regulira se potenciometrom P . Kontakti a i b upravljaju se istovremeno posredstvom releja tako da su izmjenično otvoreni i zatvoreni, ovisno o radnom stanju računala.

Tehnički se postavljanje početnih uvjeta rješava na razne načine. Na modernim računalima postavljaju se automatski.

Iako se jedinica za diferenciranje (derivator) u elektroničkim analognim računalima rijetko upotrebljava, na osnovu sl. 3 može se postaviti i ova jedinica. Na ulaz stavi se kondenzator kapaciteta C , a u povratnu spregu čisti radni otpornik R_p . Sada je

$$i_1 = C \frac{d(u_u - u_g)}{dt} \quad (14)$$

što uređenjem, uz već postavljene uvjete, daje

$$u_o = R_p C \frac{du_u}{dt} \quad (15)$$

Tablica 1

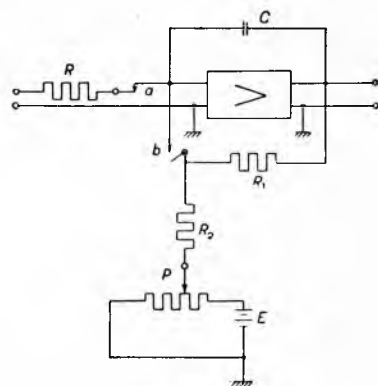
JEDINICE ZA OPONAŠANJE PRIJELAZNIH FUNKCIJA

Električna slika	Oblik prijelazne funkcije	Matematički izraz za prijelaznu funkciju
		$\frac{u_o}{u_u} \approx - \frac{1 + p R_2 C_2}{p R_1 C_2}$
		$\frac{u_o}{u_u} \approx - \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + p R_1 C_2}$
		$\frac{u_o}{u_u} \approx - \frac{(1 + p R_1 C_1)(1 + p R_2 C_2)}{p R_1 C_1}$
		$\frac{u_o}{u_u} \approx + \frac{C_2}{C_1} \frac{1 + p R_2 C_2}{1 + p R_1 C_1}$
		$\frac{u_o}{u_u} \approx - \frac{R_2}{R_1} \frac{1 + p R_1 C_1}{1 + p R_2 C_2}$

Kao poticaj služi negativni pravokutni impuls

Ova jedinica u praksi unosi u rad dosta smetnji, pa se izbjegava ili se pri konstrukciji vodi briga o preciznosti elemenata.

I operacije oponašanja prijelaznih funkcija osnivaju se na razmatranjima izvedenim iz sl. 3. U raznim tehnološkim, regulacionim, biološkim i drugim procesima karakteriziraju se pojedini elementi prijelaznim funkcijama, tj. odnosom odzivne i poticajne veličine:



Sl. 4

$F(p) = \frac{y(p)}{x(p)}$. Na osnovu poznatih prijelaznih funkcija pojedinih

elemenata procesa zaključuje se o njegovom cjelokupnom ponašanju. Pri tome naročito dobro može poslužiti analogno računalo jer omogućuje da se svaki element oponaša posebno, a zaključci izvode iz ponašanja modela kao cjeline.

Jedinica za oponašanje prijelazne funkcije dobije se tako da se na ulazu i povratnoj sprezi pojačala uvrštavaju slogovi sa otpornicima i kondenzatorima — dvopoli i četveropoli, koji prikladnim kombinacijama daju željeni oblik funkcije. Tabl. 1 prikazuje način izvedbe jedinica za oponašanje prijelaznih funkcija koje su najkarakterističnije u regulacionim procesima.

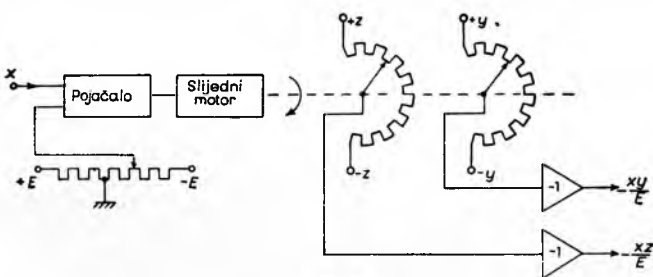
Prijelazne funkcije mogu se prikazati i diferencijalnim jednadžbama, pa se u tom slučaju razmatranja svode na rješavanje sistema tih jednadžbi. No prva metoda je naročito pogodna jer zahtijeva manji broj radnih pojačala i lako se primjenjuje. U pogledu dobre sastavnih elemenata ulazne impedancije i impedancije povratne sprege postavljaju se vrlo veliki zahtjevi.

Množilo. Mnogi problemi zahtijevaju pored jedinica koje omogućuju vršenje operacija sumiranja, integriranja i diferenciranja i jedinice za množenje. Slog za množenje ili množilo uvelike proširuje radno područje analognog računala jer mu omogućuje vršenje operacija množenja, dijeljenja, potenciranja i radiciranja, a u vezi s time rješavanje diferencijalnih jednadžbi s nelinearnim koeficijentima, koje se naročito često susreću u primjeni.

Zadatak množenja riješen je na vrlo mnogo načina, ali principijelno se množila svrstavaju u dvije grupe: *direktna* i *indirektna*. Ova posljednja uključuje množila koja proces množenja nadomještaju nekom drugom operacijom, kao na pr. logaritmiranjem ili relacijom $\frac{1}{2} [(x+y)^2 - (x-y)^2] = xy$.

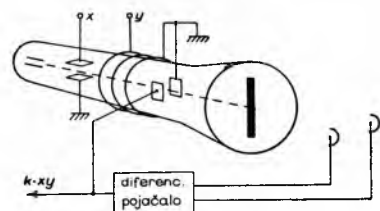
Sredstva kojima se služe množila jesu: a) fizikalni elementi, b) posebno namijenjeni slogovi, c) promjenljivo prijenosni uređaji u kojima jedan faktor služi kao polazna radna tačka sistema i d) modulacija.

Ovdje se mogu spomenuti samo rješenja koja se najčešće primjenjuju. To je u prvom redu *sljedno množilo*, koje je izvedeno na elektromehaničkom principu pomoću sljednog motora i potencijometra. Električku sliku rješenja prikazuje sl. 5. Ulaz



Sl. 5

x se uspoređuje sa referentnim naponom, koji se regulira pomoću potencijometra na odabranu vrijednost. Napon razlike, koji nastaje na ovaj način, upravlja posredstvom pojačala sljednim motorom. Sljedni motor pokreće zajedničku osovinu određenog broja usklađenih linearnih potencijometara. Napon na klizalu tih potencijometara je funkcija položaja osovine sljednog motora i

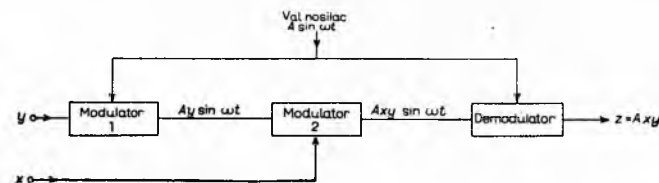


Sl. 6

ferentnog napona. Velika prednost ovih uređaja pred elektroničkim je u tome što ne podliježu sklizanju s radne tačke. Ističu se jednostavnošću, malim dimenzijama i niskom cijenom.

Drugo interesantno rješenje je *množilo s katodnom cijevi* prikazano na sl. 6. Otklonskom sistemu katodne cijevi dodana je zavojnica, a na zastoru pričvršćena je neprozirna vertikalna traka, uz koju su s obje strane postavljeni fotoelementi. Faktori predstavljeni naponom priključuju se na vertikalne pločice i na zavojnicu. Prolazeći otklonskim sistemom, zraka elektrona se otklanja proporcionalno naponima x i y . Pri tome se mijenja osjetljivost fotoelemenata i razlika njihovih ulaznih napona se prenosi pomoću diferencijalnog pojačala na horizontalno otklonski sistem. Ravnoteža se uspostavlja kad sile koje djeluju na otklon zrake u horizontalnom smislu stoje u ravnoteži. To je kad napon na horizontalnim pločicama postane proporcionalan produktu faktora x i y , te se taj napon uzima onda kao izlazna veličina.

Česta je primjena *množila na principu modulacije*; rješenje koje se koristi dvojnomo amplitudnom modulacijom prikazuje sl. 7.

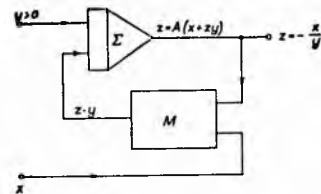


Sl. 7

Operacija dijeljenja može se vršiti pomoću množila na osnovu relacije $z + A(yz + x) = 0$, na kojem je principu postavljen i slog za dijeljenje na sl. 8. Naime, iz te relacije izlazi $z = \frac{-Ax}{1 + Ay}$,

što za veliko A daje $z = -\frac{x}{y}$. Pri tome y ne smije poprimiti vrijednost 0 jer u tom slučaju dolazi do nestabilnosti kruga.

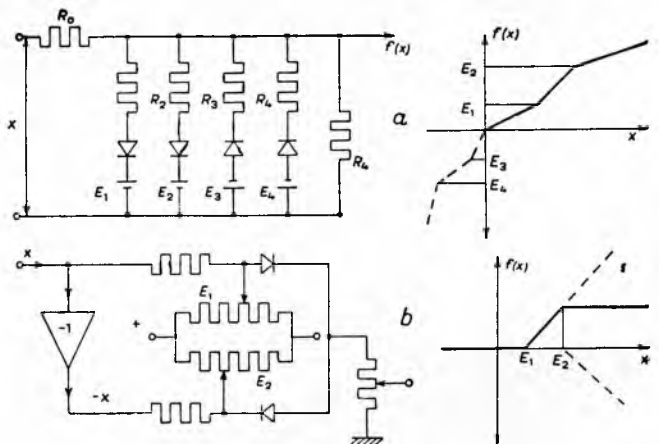
Slog množila s katodnom cijevi može se također primijeniti kao slog za dijeljenje. Potrebno je samo izlaz pojačala priključiti na vertikalno otklonski sistem, a na zavojnicu i horizontalno otklonski sistem pločica priključiti napone proporcionalne dividendu i divizoru. Napon na izlazu iz pojačala je tada proporcionalan kvocijentu.



Sl. 8

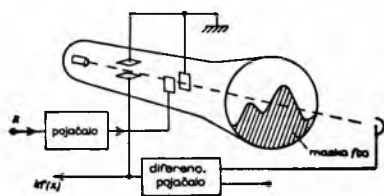
Generator funkcija je jedinica analognog računala pomoću koje proizvodimo funkcije željenog oblika. Generatori funkcija mogu se podijeliti na potencijometerske generatore funkcija, diodne generatore funkcija, fotoformere ili generatore funkcija s katodnom cijevi i uređaje za pisanje primijenjene kao sljedila određene krivulje. Izvode se kao generatori funkcija jedne ili više varijabli, a mogu biti ili univerzalni, za generiranje bilo koje po želji funkcije, ili specijalni, za generiranje samo-funkcija određenog oblika.

Osobito često se primjenjuju *diodni generatori funkcija*. Funkcija koja se želi generirati razdijeli se u segmente i aproksimira segment



Sl. 9

po segment pravcem. Na taj način može se bilo koja funkcija prikazati kao zbroj pravaca. Kako je dioda jednim dijelom svoje karakteristike prava, iskorištava se ovo njeno svojstvo te se prikladnim slogovima vrši spomenuta aproksimacija. Sl. 9 a prikazuje takav slog. U praksi je nezgodnost ove ideje u tome što je svaki nagib usko vezan s predašnjim pa su nađena nova usavršena rješenja, od kojih jedno prikazuje sl. 9 b. Vezanjem više



Sl. 10

slogova dobije se univerzalni generator funkcija. Kao ulazni napon za diodni generator funkcija primjenjuje se pilasti napon i on svojim promjenama od $-U$ do $+U$ predstavlja promjenu varijable. Korisni opseg frekvencija ovih generatora kreće se od 100 Hz do 500 Hz, ali se grade i do frekvencija 10 kHz. Tačnost se definira kao stupanj podudaranja izlazne funkcije na generatoru i željene funkcije.

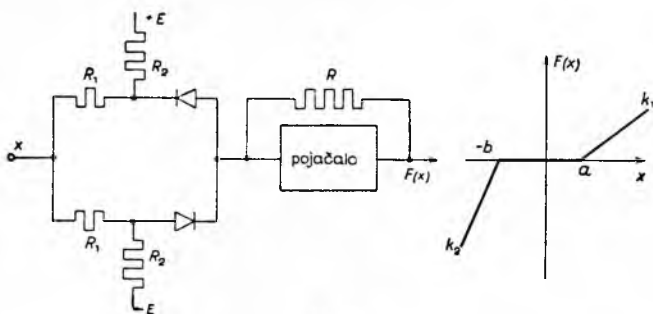
Nije rijetka primjena *fotoformera*, čije rješenje prikazuje sl. 10. Napon koji odgovara promjeni varijable funkcije priključuje se preko pojačala na horizontalno otklonski sistem katodne cijevi. Na vertikalno otklonski sistem priključuju se preko diferencijalnog pojačala dva napona: pilasti, koji izaziva otklon zrake katodne cijevi, i signal sa fotočelije, koji ovisi o svjetlosti zrake na zastoru katodne cijevi. Napon otklona nastoji otkloniti zraku prema gornjoj pločici, ali kako zraka pada pri tome na zastor izvan maske (maskom je predstavljena funkcija $f(x)$ koja se generira), fotočelija će biti osvijetljena i predat će naponski signal na ulaz pojačala. Razlika ovog napona i pilastog na izlazu iz diferencijalnog pojačala prisiljava zraku da slijedi masku, pa je to ujedno i napon koji se mijenja po zakonu željene funkcije. Za generiranje pojedinih funkcija mogu se imati gotove maske ili jedna sekcionirana, pa prema tome koja se funkcija želi, pojedine se sekcije dižu i spuštaju. Tačnost takve aproksimacije ovisi o broju sekcija. Ogib svjetlosti na rubovima maske dosta umanjuje tačnost generiranja funkcije; ona iznosi za ove uređaje $\sim 1\%$.

Osim navedenih jedinica, analogno računalo ima nekoliko specijalnih jedinica. To su slog za oponašanje mrtvog prostora, slog za ograničavanje, pa slog za oponašanje histereze i dr. Izvedene su s diodama, a nalaze naročito široku primjenu pri rješavanju procesa regulacije.

Mrtvi prostor ili inertna zona matematički je definiran ovako:

$$F(x) = \begin{cases} k_1(x - a) & \text{za } x > a, \\ 0 & \text{za } -b \leq x \leq a, \\ k_2(x + b) & \text{za } x < -b. \end{cases}$$

Sl. 11 pokazuje rješenje sloga za oponašanje mrtvog prostora i grafičku sliku navedene matematičke definicije.



Sl. 11

Slog za ograničavanje izveden je na nekoliko načina. Sl. 12 pokazuje izvedbu s paralelno spojenim diodama na ulazu i njezinu karakteristiku.

Upravljanje analognim računalom vrši se s upravljačke ploče posredstvom preklopnika automatski. Položaj preklopnika određuje ova radna stanja računala:

1. *Priprema*: stanje u kojem su svi izlazni naponi jednaki nuli; vrši se spajanje jedinica.

2. *Početni uvjeti*: u ovom stanju pridaju se integratorskim jedinicama početni uvjeti.

3. *Rad ili računanje*: računalo rješava problem; napon koji odgovara varijabli problema mijenja se s vremenom.

4. *Zadržavanje*: u ovom stanju računalo prestaje računati i drži sve vrijednosti u obliku u kojem se nalaze tog momenta. Kad se ponovo stavi u stanje rada, računalo nastavlja radom tamo gdje je bilo zaustavljeno.

5. *Repetitivan rad*: računanje se odvija kontinuirano između stanja *Početni uvjeti* i *Rad*, a rješenje se promatra na osciloskopu.

Veća elektronička analogna računala imaju još i stanja kontrole ispravnosti problema, vremenskog opsega i dr.

Uređaji za bilježenje rezultata analognih računala osnivaju se na različitim principima. *Pisala s galvanometrijskim sistemom* služe za bilježenje funkcija u frekventnom opsegu od 0 do 100 Hz; tačnost bilježenja im je 1...5%. *Katodni osciloskop* služi za bilježenje ili promatranje brzih pojava; tačnost 1...2%. *Slijedna pisala* bilježe promjenu jedne varijable u zavisnosti od druge; služe za bilježenje sporih pojava maksimalne frekvencije nekoliko Hz sa velikom tačnošću, 0,1...1%. U *optičkim uređajima* svjetlosna zraka slijedi izlaznu funkciju i snima se na film; frekventni opseg takvog uređaja je 0...15 kHz. I *magnetska vrpca* pruža mogućnost registriranja rezultata na nekoliko načina, tako da se mogu onda s nje reproducirati. Frekventni opseg 0...30 kHz.

Najvećom tačnošću i preciznošću se odlikuje slijedno pisalo, pa se donekle primjenjuje i izvan navedenih okvira. Osciloskop je praktičan pri promatranju permanentnih pojava uz primjenu fotokamere, ali nije jako tačan.

Tablica 2

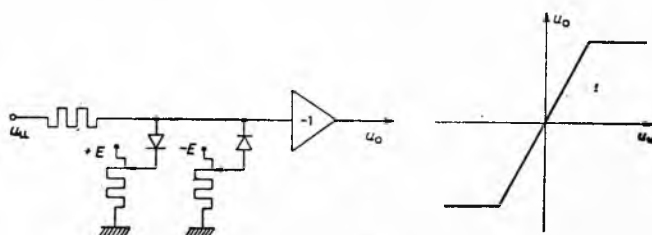
KOMPONENTE JEDINICA GRUPIRANE PREMA BRZINI RAČUNALA

Jedinice	Komponente računala		
	sporih (do 1,5 Hz)	srednje brzih (do 20 Hz)	brzih (do 200 Hz)
Množila	Slijedna množila	Elektroničko množilo na principu $\frac{1}{4}[(x+y)^2 - (x-y)^2] = xy$	Množilo na principu modulacije Fotomnožilo
Generatori funkcija	Potenciometerski Slijedila krivulja	Fotoformer	Diodni generatori funkcija
Uređaji za bilježenje	Slijedna pisala Digitalni voltmetri	Magnetska vrpca Petljasti oscilograf	Osciloskop

U tabl. 2 dat je pregled komponenata množila, generatora funkcija i uređaja za bilježenje, grupiranih prema njihovoj primjeni u računalima različite brzine rada.

U tabl. 3 dat je pregled jedinica analognog računala i simbola kojima se te jedinice označuju pri crtanju slike modela po kojemu se vrši spajanje jedinica na ploči s priključnicima.

Primjena elektroničkih analognih računala. Rješavanje problema s pomoću analognih računala vrši se na nekoliko načina,



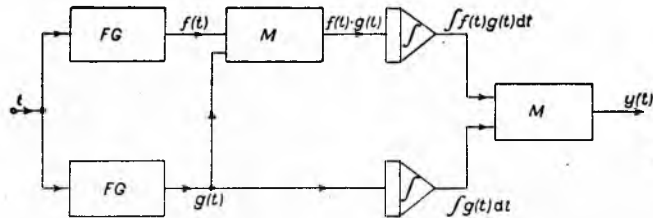
Sl. 12

koji se obično dijele ovako: a) direktno rješavanje, b) indirektno rješavanje, c) implicitni postupak, d) simuliranje.

Direktno rješavanje se primjenjuje kad je funkcija koju daje promatranje sistema jednostavna i direktno ovisna o nekoj drugoj funkciji koja se može generirati pomoću generatora funkcija, npr.:

$$y(t) = \int_{t_0}^t f(t)g(t) dt \cdot \int_{t_1}^t g(t) dt.$$

Funkcije $f(t)$ i $g(t)$ mogu se generirati na jednom od opisanih uređaja, a zatim operacija izvršiti direktno prema zadatku, kako je pokazano na sl. 13.



Sl. 13

Indirektno rješavanje vrši se kad rješenje treba da da funkciju koja je vezana uz druge funkcije ili svoje derivacije, pa se rješavanje ne može izvoditi direktno iz zadanih parametara. Kao primjer neka posluži diferencijalna jednačina

$$\ddot{y}(t) + a\dot{y}(t) + by(t) = f(t).$$

Tablica 3

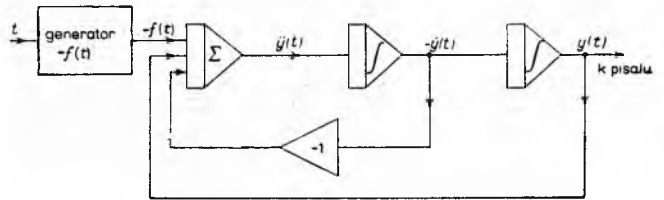
JEDINICE ANALOGNIH RAČUNALA I NJIHOVI SIMBOLI

Jedinica računala	Simbol	Matematička operacija
Invertor		$y = -x$
Sumator		$y = -(a_1 x_1 + a_2 x_2)$
Integrator		$y = -\int (a_1 x_1 + a_2 x_2) dt$
Linearni potencio-metar		$y = ax$
Množilo		$z = xy$
Slijedno množilo		$z = \frac{xy}{E}$
Generator funkcija		$y = f(x)$

Računanje se izvodi indirektno pretpostavivši da je poznata najviša derivacija tražene funkcije, te se zadana jednačina piše u obliku

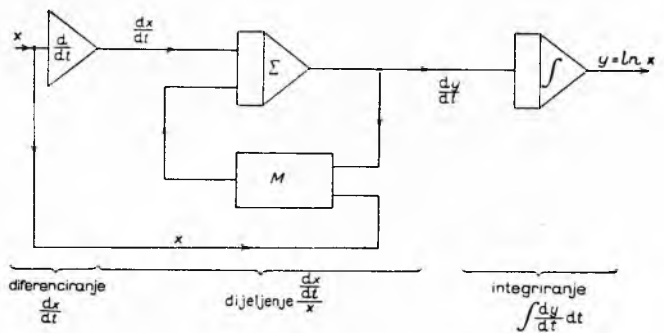
$$y(t) = -[a\dot{y}(t) + by(t) - f(t)]$$

i rješava posredstvom sumatora (sl. 14).



Sl. 14

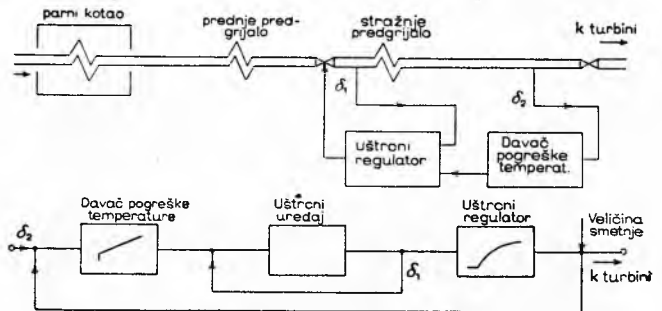
Implicitni postupak obično služi za generiranje analitičkih funkcija kao $\sin x$, e^x , $\ln x$ i dr. Kako bi se generirala funkcija $y = \ln x$ pokazuje sl. 15. Najprije se funkcija derivira po vremenu $\frac{dy}{dt} = \frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dt}$, te se na osnovu ovog izraza postavlja model. Zakon promjene x je zadan, pa se iz toga dolazi posredstvom derivatora do $x(t)$.



Sl. 15

Simuliranje je oponašanje određenog procesa pomoću elementa računala. Primjenjuje se obično za proučavanje kompliciranih sistema sa nelinearnim elementima i povratnim spregama.

Jednostavan primjer ovog oblika primjene računala je regulacija temperature svježih pare u parnom kotlu prema sl. 16. Para se



Sl. 16

privodi turbini, pa preveliki porast temperature pare izaziva nedozvoljena naprezanja u njenom kućištu; treba zato paziti da temperatura pare ne prelazi određenu vrijednost. Između prednjeg i stražnjeg predgrijala umetne se uštrcno hladilo koje mora uštrcavati kondenzat u tolikoj količini da temperatura pregrijane pare ostaje stalna. Temperatura pare se mjeri na izlazu iz kotla, pa se pogreška δ_2 predaje u obliku proporcionalnog poticaja uštrcnom regulatoru. Tom se regulatoru privodi i veličina pogreške δ_1 postavljene vrijednosti kao integralni poticaj, pa se temperatura održava u stacionarnom stanju i bez preostalog odstupanja. Na osnovu toga postavlja se spojna slika po kojoj će se pomoću računala oponašati (simulirati) sveukupni proces

regulacije. Pojedine elemente predstavljaju jedinice za oponašanje prijelaznih funkcija. Eksperimentiranjem na ovakvom modelu može se onda zaključiti o sveukupnom ponašanju sistema, to jest o njegovoj stabilnosti i brzini djelovanja, te otkriti slučajne nedostatke koji bi se inače uočili možda tek na gotovom uređaju.

Mjerila (omjeri) su veličine kojima se vrijeme i amplituda prevode u opseg koji dozvoljavaju radni uvjeti računala; općenito se primjenjuju mjerila vremena i mjerila amplitude.

Pri izboru odgovarajućeg *mjerila vremena* uzimaju se u obzir ove okolnosti: 1. dugi rad računala unosi veće pogreške pri integriranju; 2. više frekvencije pridonose faznom pomaku u radnom pojačalu i djeluju kao prigušenje; 3. slijedna množila rade zadovoljavajući samo na nižim frekvencijama; 4. uvjeti rada uređaja za bilježenje mogu biti različiti.

Promjena vremenskog opsega ne utječe na odnos varijabla računala i odgovarajućih varijabla promatranog sistema.

Dobar izbor *mjerila amplitude* neobično je važan i vrši se u okviru ovih uvjeta: 1. sistem namještanja mjerila mora biti što jednostavniji, da ne bi unosio zabune pri upotrebi; 2. visina napona na računalu u toku operacija se mora držati na odgovarajućoj razini: normalno je radno područje na izlazu ± 100 V, ali pri određivanju mjerila najpovoljnije je držati vrijednosti napona u granicama ± 50 V; 3. izbor mjerila mora biti takav da odnos fizikalnog sistema i modela postavljenog na računalu bude sačuvan; način prevođenja vrijednosti napona sa računala u odgovarajuće jedinice promatranog sistema: dužinu, silu, vrijeme itd. mora biti tačan i spretan.

Povijesni podaci. Kao prva sprava za računanje analognog tipa može se smatrati izum Edmunda Guntera 1620, sprava slična današnjem *logaritamskom računalu*, ali bez pomične skale. «Astroloba», računalo s pomičnom skalom, izumio je 1632 William Oughtered. — Dalji napredak na tom području je izum *planimetar*, uređaja za mjerenje površina ograničenih nepravilnim krivuljama, koji je konstruirao 1819 J. S. Hermann, a nekoliko decenija kasnije *polarni planimetar*, konstrukcija J. Amslera. No možda najznačajniji pronalazak na području analognog računanja je *integrator*, izum Jamesa Thomsona, brata Lorda Kelvina (1876). Taj integrator je Lord Kelvin upotrijebio u svom uređaju za harmonijsku analizu. Treba spomenuti još i *integral*, spravu za crtanje integralne krivulje zadane funkcije, izum B. Abdank-Abakanowicza (1852—1900), i C. V. Boysa 1881.

God. 1925 sagrađen je u USA prvi uređaj za analiziranje istosmjernih naponskih mreža s otporničkim elementima. Izradile su ga General Electric Co. i Westinghouse Co. To je prvi električni analogno-računski uređaj, i od tada slijedi usporedo s razvojem mehaničkih i razvoj električkih računala.

Istih godina na Massachusetts Institute of Technology u Bostonu, USA, počeo je Vannevar Bush konstrukciju mehaničkog računala za rješavanje običnih diferencijalnih jednačini. Ideja modeliranja mehaničkih sistema pomoću električkih krugova također pada u to vrijeme te potiče rješenje električkih i elektroničkih slogova koji bi vršili operacije oponašanjem tih modela. Veliki prilog ovom razvoju je pronalazak istosmjernog pojačala, pa je oko 1938 u laboratorijima George A. Philbrick Researches Inc. razvijen prvi analogno-računski električki slog. Nešto kasnije konstruirali su Lovell i Parkinson u Bell Telephone Laboratories u USA specijalno računalo za ratne svrhe (usmjeravanje protuavionske vatre), a u Njemačkoj slično računalo H. Haelzer.

Danas je u svijetu razvijen čitav niz računala pod raznim komercijalnim nazivima, a njihova upotreba je tako svestrana, da se današnje stanje tehnike i znanosti ne može zamisliti bez njih.

U našoj zemlji je izrađeno nekoliko analognih računala. U institutu «Boris Kidrič» u Vinči izrađen je *Rektorski analogni simulator*, a razvijeno repetitivno računalo, čija je izrada povjerena poduzeću RR zavodi Niš. U institutu «Jožef Stefan» u Ljubljani također je izrađeno univerzalno električno analogno računalo; ima 44 radna pojačala, od kojih 28 služe kao integratorske je-

dinice, i niz drugih električnih i elektromehaničkih jedinica U Zagrebu je u Institutu za elektroprivredu sagrađen mrežni analizator, a u Zavodu za regulacione i signalne uređaje Elektrotehničkog fakulteta su u toku razvojni radovi električnog analognog računala stolne izvedbe.

LIT.: G. A. Korn i T. A. Korn, Electronic analog computers, New York 1952. — C. A. Wass, Introduction to electronic analog computers, London 1955. — B. Ю. Козан, Электронные моделирующие устройства, Москва 1959. — M. Pelegrin, Machines à calculer électroniques, arithmétiques et analogiques, Paris 1959. — E. Dietrich, Elektronische Analogrechner, München 1960. — A. S. Jackson: Analog computation, New York 1960. — A. E. Rogers i T. W. Connolly, Analog computation in engineering design, New York, 1960. — R. M. Howe, Design of fundamentals of analog computer components, Princeton 1961. J. Bc.

ANTIBIOTICI, kemijski spojevi dobiveni iz živih organizama koji imaju svojstvo da u minimalnim koncentracijama sprečavaju rast mikroorganizama ili da ih i unište.

Opšte je poznato da izvesni mikrobi zemljišta i vode žive u simbiozi, ali se isto tako susrećemo i sa pojavom antagonizma među njima, antibiozom (Vuillemin 1889). Smatra se da je takozvano «samočišćenje» zemljišta i vode bazirano na antibiozi mikroorganizama. Otkrića antibiotika se takođe zasnivaju na pojavi antagonizma među mikrobima.

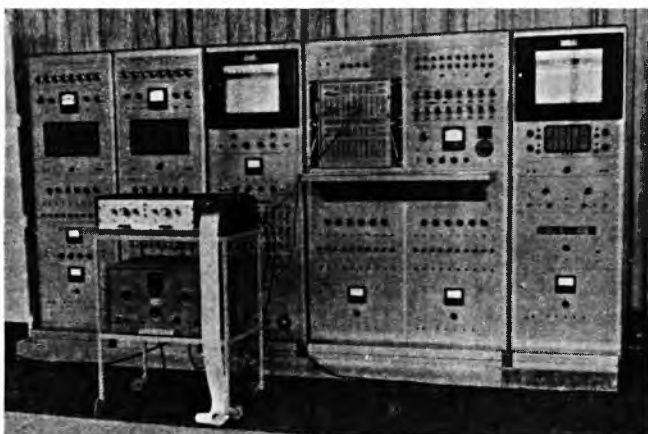
Izraz «antibiotik» prvi je uveo Waksman 1941 za označavanje supstancija mikrobnog porekla koje imaju svojstvo da u minimalnim koncentracijama sprečavaju rast drugih mikroorganizama ili čak da ih i unište. Budući da neke tvari izolirane iz nižih i viših biljaka, pa i životinja, pokazuju takođe antibiotsku aktivnost, Langlyke i Benedict predložili su da se u definiciji koju je dao Waksman mesto «mikrobnog porekla» stavi »dobivene ili izlučene iz živog organizma». To je u najnovije vreme prihvaćeno od većine autora.

Kao i mnoga druga otkrića u mikrobiologiji tako i antibiotici duguju velikom Pasteuru. Naime, Pasteur i Joubert su 1877 prvi opazili da grupa ovaca zaražena smrtonosnim antraksom ne pokazuje znakove oboljenja jer je kultura bacila antraksa bila kontaminirana nekom bakterijom iz uzduha koja je sprečavala rast uzročnika crnog prista. Pasteur je još onda preokao »da će doći vreme kada će nezgodljive mikrobe upotrebljavati za suzbijanje štetnih». Posle njih, kronološki gledano, pojavljuju se Emmerich i Löw sa svojom «poyocyanozom», ekstraktom koji su izolirali iz kulture *Pseudomonas aeruginosa* 1900 godine. Ovaj preparat je bio u upotrebi na mnogim klinikama sve do 1930 za lečenje difterije, ali je bio toksičan i kasnije je odbačen. Nicolle 1907 je prvi opisao antibakterijsko dejstvo *B. subtilisa*. Gratia i Dath su 1924 prvi pokazali litičko delovanje jedne plesni na stafilokoke. Fleming 1929 otkriva penicilin, a 1938 godine oksfordska grupa na čelu sa Floreyem i Chainom započinje svoj epohalni rad na rehabilitaciji Flemingova penicilina. God. 1939 Dubos otkriva antibiotik tirotricin iz kulture *B. brevis*, a 1940 Waksman i Woodruff otkrivaju aktinomocin. Četiri godine donnije Waksman i saradnici pronalaze čuveni streptomycin, a 1945 Johnson i saradnici otkrivaju bacitracin. Benedict i saradnici 1947 pronalaze polimicin, a iste godine Ehrlich i saradnici kloramfenikol. Zatim, 1948 Duggar otkriva klortetracilin a 1949 Waksman pronalazi neomicin. Finlay i saradnici 1950 pronalaze oksitetracilin, 1952 McGuire otkriva eritromicin, a Boothe i Conover simultano otkrivaju tetraciklin.

Potruga za novim antibioticima je sve intenzivnija i gotovo svake godine se u proseku otkrije 10...20 novih antibiotika (Tabela 1).

Tabela 1
NOVOOTKRIVENI ANTIBIOTICI

Antibiot. Ann.		J. Antibiot. (Japan)
1953—4		1953
Hygromycin	Azomycin	Pyridomycin
Methylmycin	Flavacid	Sarcidin
Ruticin	Flaveolin	Sarkomycin
Streptocardin	Griseoflavin	Achromoviromycin
Streptogramin	Leucomycin	
Tetracycline	Pthiomycin	
1954—5		1954
Actinomycin III	Actinoleukin	Fermicidin
Celesticetin	Albomycetin	Mediocidin
Etamycin	Angustmycin	Nocardorubin
Oleandomycin	Aureothin	Seligoedin
Pleandomycin	Brevolin	Zaomycin
Spiramycin	Eumycetin	Carzinophilin
1955—6		1955
Amphotericin A and B	Amaromycin	Grasseromycin
Cathomycin	Cereviocidin	
Eulicin	Grisamine	
Synergistin	Mesenterin	
Rubidin	Ractinomycen	
Streptolydigin	Tertiomycin	
Thiostrepton	Thiomycin	
Vancomycin	Violacetin	
1956—7		1956
Alazopeptin	Garzinocidin	Mitomycin
Nusleocidin	Pluramycin	Phagomycin
Ristocetin A and B	Ganicidin	Phagocidin
	Mykamycin	Phleomycin
		Toyocamycin



Sl. 17. Analogno računalo izrađeno u institutu «Jožef Stefan» u Ljubljani

Iz: H. B. Woodruff, Strategy of Chemotherapy, Cambridge Univ. Press 1958.