

# Analogni računari

Seminarski rad u okviru kursa  
Tehničko i naučno pisanje  
Matematički fakultet

Aleksandar Končalović  
mi22077@alas.matf.bg.ac.rs

Veljko Josipović  
mi22076@alas.matf.bg.ac.rs

Veljko Strugar  
mr17321@alas.matf.bg.ac.rs

Uroš Janković  
mi22273@alas.matf.bg.ac.rs

2. novembar 2022.

## Sažetak

U ovom tekstu govorićemo o računarima koji su prethodili digitalnim. Kako bismo vas upoznali sa datom temom na najbolji način, daćemo pregled istorijata, principa rada analognih računara i njihovih primenena.

Ključne reči: Kontinualne veličine, hidroyntegrator, logaritmar, mehanizam sa Antikitere.

## Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Istorijat</b>	<b>2</b>
2.1	Nakon mehanizma sa Antiketire . . . . .	2
2.2	Moderno doba . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Princip rada analognih računara</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Podela</b>	<b>4</b>
4.1	Podela prema nameni . . . . .	4
4.2	Podela prema načinu dobijanja rešenja . . . . .	4
<b>5</b>	<b>Primeri analognih računara</b>	<b>5</b>
5.1	Logaritmar . . . . .	5
5.2	Al-Jazarijev sat u zamku . . . . .	5
5.3	Diferencijalni analizator . . . . .	5
5.4	Analogni termometar . . . . .	5
5.5	Brzinomer . . . . .	6
5.6	Analogni sat . . . . .	6
<b>6</b>	<b>Hidroyntegrator Mike Alasa</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>Elektronski analogni računari</b>	<b>7</b>
<b>8</b>	<b>Zaključak</b>	<b>9</b>
	<b>Literatura</b>	<b>9</b>

## 1 Uvod

Pre nastanka prvih digitalnih računara, za izračunavanja su se koristili **analogni računari**. Najstariji primer takvog računara je takozvani Mehanizam sa Antikitere za koji se veruje da datira iz drugog veka pre nove ere. [1]

Računari tog doba su se koristili za predviđanje raznih dešavanja u stvarnom svetu poput pomračenja Sunca i Meseca, tačnog vremena plime i oseke, a kasnije i u naučne i ratne svrhe.

Čak i nakon nastanka prvih digitalnih računara, analogni su jedno vreme bili smatrani moćnijim i bržim.

## 2 Istorijat

Prvi najraniji primer analognog računara jeste mehanizam sa Antikitere napravljen u Grčkoj i koristila se za računanje pozicija astronomskih tela. Naziv Antikitera dobila je po tome što su naučnici našli taj mehanizam na Grčkom ostrvu Antikitera i smatra se da je napravljen između 150-100 godine pre nove ere. Zbog njegovog kompleksnog načina upotrebe, ljudi su tragali za "mašinama" koje će da rade isti posao samo jednostavnije. (slika 1)

### 2.1 Nakon mehanizma sa Antikitere

U drugom veku nove ere konstruisana je masina pod nazivom astrolab i nedugo posle biće konstruisana još jedna mašina slična astrolabu koji nosi naziv planisfera. Astrolab i planisfera su imali slične primene, a to je da rešavaju većinu astroloških problema. Kasnije će jedan iranski akademik da napravi astrolab koji će da radi preko zupčanika. Prvi programibilni analogni računar je napravljen u 13. veku pod nazivom astronomski časovnik. Nakon ovog otkrića, pojaviće se novi programibilni instrumenti koji će da vrše neke druge funkcije, neki od tih instrumenata su sektor, planimetar, logaritmar, kalendar, mašina za predviđanje plime i oseke, i diferencijski analizator.



Slika 1: Mehanizam sa Antikitere.

## 2.2 Moderno doba

Početkom 20. veka napravljen je dumaresh, sprava koja se koristila u mornarici. Par godina kasnije biće napravljena sprava slična dumareshu, s tim što je ova sprava radila na struju. Ovu spravu je koristila nemačka vojska u Prvom Svetskom ratu. U periodu između dva svetska rata imamo uređaj napravljen 1929. godine nazvan mrežni analizator i on je funkcionisao koristeći naizmeničnu struju. Njegova uloga je bila da rešava računске probleme vezane za električni sistem gde do tada nije moglo da se računa drugim metodama. U Drugom Svetskom ratu imamo uređaje (analogne računare) koji su se koristili ili kao oružje ili kao uređaji za otkrivanje strateških značajnih pozicija. Nakon Drugog Svetskog rata, analogni računari su se generalno pravili ili za prognoziranje nečega ili za izračunavanje komplikovanih matematičkih problema. U 2000-tim smo dobili novitet. Analogni računari su prešli sa mehaničkih integratora i vakuumskih cevi na mikroprocesore koji su i sada u upotrebi.

## 3 Princip rada analognih računara

Analogni računari vrše izračunavanja tako što obrađuju kontinualne veličine. Iako se za njihov rad najčešće koristi električna struja i napon, to nije nikakvo pravilo, i bilo koja kontinualna veličina može da se upotrebi. Te veličine su na primer:

- Količina vode u cevima
- Zategnutost opruga
- Intenzitet magnetne sile
- Vibracije tla kod seizmografa
- Visina vode kod mašine za predviđanje plime i oseke [2]
- Položaj zubčanika
- Položaj čekrka
- Temperatura raznih supstanci

Uzmimo kao primer operaciju sabiranja dva broja koristeći količinu vode u posudama.

Da bismo sabrali dva broja, recimo 3 i 5, potrebno je da imamo tri identične čaše sa skalom za merenje nivoa vode u čaši. Sabiranje možemo izvršiti prateći sledeći postupak:

1. U prvu čašu nalijemo vode do trećeg podeoka (za broj 3).
2. U drugu čašu nalijemo vodu do petog podeoka (za broj 5).
3. Prelijemo sadržaj obe čaše u treću čašu koju smo ostavili praznu.
4. Očitamo visinu vode tako što gledamo do kog podeoka je stigla.
5. Uočavanjem da je visina vode stigla do osmog podeoka (za broj 8) dobili smo rezultat sabiranja.

Takođe, za množenje dva broja možemo koristiti električnu struju, napon i otpor.

Da bismo pomnožili dva broja, recimo 3 i 5, potrebno je da imamo voltmetar i električno kolo koje se sastoji od strujnog generatora i promenljivog otpornika. Množenje možemo izvršiti prateći sledeći postupak:

1. Podesimo strujni generator tako da generiše električnu struju od tri ampera (za broj 3).
2. Podesimo promenljivi otpornik tako da mu otpor bude pet oma (za broj 5).
3. Postavimo pipalice voltmetra na krajeve otpornika.
4. Očitamo napon na voltmetru.
5. Uočavanjem da je napon očitao na volmetru jednak petnaest volti (za broj 15) dobili smo rezultat množenja.

Ovaj postupak koristi formulu

$$U = R * I$$

za računanje proizvoda.

## 4 Podela

### 4.1 Podela prema nameni

Analogni računari se mogu podeliti prema nameni na:

- Specijalne
- Univerzalne
- Kombinovane

U nastavku će biti više reči o svakom od njih.

Specijalne - Koriste se za rešavanje problema tipa prenosa toplote, protoka tečnosti, opterećenja struje... Termalni analizator je jedan od primera analognog računara sa ovakvim tipom namene i ima otpornike, kondenzatore i posebne jedinice za proračun. Drugačiji naziv za ovaj tip je i pasivni analogni računari.

Univerzalne - Njihov zadatak je bio da rešavaju sisteme diferencijalnih jednačina, uključujući sisteme linearnih ili nelinearnih jednačina sa više promenljivih. Za rešavanje linearnih koristili su se množači, sabirači, delitelji, integratori i merni sistemi, dok za nelinearne su se koristili generatori funkcija.

Kombinovane - Kombinovani direktni i indirektni analogni računari se koriste za simulacije u realnom vremenu.

### 4.2 Podela prema načinu dobijanja rešenja

Analogni računari se mogu podeliti prema načinu dobijanja rešenja na:

- Spori - Promenljiva  $t$  se može birati po želji, pa čak i u realnom vremenu. Prednost sporih analognih računara je to što se izvršava u realnom vremenu, dok im je mana to što se početni uslovi mogu menjati samo na početku
- Repetitivni - Rade na frekvenciji 50-60 Hz i ponavljaju rešenje toliko puta u sekundi. Svaka promena parametra se odražava na rezultat i zbog toga je potrebna provera i praćenje rada.

## 5 Primeri analognih računara

U najpoznatije i najbitnije analogne računare spadaju:

- Logaritmar
- Al-Jazarijev sat u zamku
- Diferencijalni analizator
- Analogni analizator
- Brzinomer
- Analogni sat

U nastavku će biti više informacija o svakome od njih.

### 5.1 Logaritmar

Logaritmar je jedan od najosnovnijih analognih računara koji je napravljen u ranom 17. veku od strane Viliama Otrede (eng. William Oughtred). U početku se koristio za množenje i deljenje, a nešto kasnije se pokazalo da je primenljiv za izračunavanja eksponencijalnih, logaritamskih i trigonometrijskih funkcija takođe.

Sastoji se od dve letvice istih dužina od kojih šira ima u sebi usečen žleb po kojem klizi uža letvica. Povrh šire letvice takođe po žlebu klizi providna pločica na kojoj je ucrtana tanka linija koja služi za isčitavanje rezultata. Na obe letvice je upisano više redova brojeva koji služe za računanje. Računanje se sprovodi pomeranjem uže letvice duž šire, pri čemu se nad zadatim brojevima vrše razne operacije. Navodno, prva posada koja je sletela na površinu meseca, predvođena Nil Armstrongom (eng. Neil Armstrong), ponela je sa sobom razne elektronske sprave, uključujući i logaritmar.

### 5.2 Al-Jazarijev sat u zamku

Al-Jazarijev sat je starinski sat, visok skoro 3.5 metra, koji je koristio neke od složenih koncepata mašinstva za svoj rad. Osim prikazivanja vremena, bio je u mogućnosti da obavlja i druge funkcije kao što je prikazivanje solarnih i lunarnih orbita. Kreiran od strane Ismail al-Jazaria (eng. Ismail al-Jazari), sat u zamku, jedan je od najvećih izuma svih vremena. Sagrađen je tokom prve decenije 13. veka.

### 5.3 Diferencijalni analizator

Diferencijalni analizator su izmislila dva inženjera, Vanevar Buš (eng. Vannevar Bush) i Harold Hejlzen (eng. Harold Hazen), tokom ranih 1930-ih. Dizajniran je za rešavanje složenih diferencijalnih jednačina. Ova tehnologija koristi mehanizam točak-disk za obradu podataka i izračunavanje rešenja. Analizator nije mogao da sabira direktno. Primećeno je da ukoliko se okreću dva točka zadnjeg diferencijala, pogonsko vratilo će izračunati prosek levog i desnog točka i time ćemo dobiti množenje preko kojeg dobijamo sabiranje.

### 5.4 Analogni termometar

Analogni termometar koristi stepenastu skalu i svojstva žive da bi ispunio svoj rad. Živa, koje je tečna na sobnoj temperaturi, pri zagrevanju

se širi. Time se omogućava potrošaču da dijagnostikuje bolesno stanje tela. Temperatura tela je analogni signal. Stoga je termometar koji meri telesnu temperaturu odličan primer analognih računara.

## 5.5 Brzinomer

Brzinomer je uređaj koji detektuje brzinu vozila u pokretu, uglavnom u kilometrima po času. Brzina se pokazuje pomoću igle kojoj je dozvoljeno da se slobodno kreće u skladu sa analognim signalom koji prima. Kabl brzinomera je na jednom kraju pričvršćen za osovinu zupčanika, a na drugom kraju za trajni magnet. Ovaj magnet je povezan sa metalnom čašom za brzinu bez fizičke veze između njih. Čaša za brzinu je povezana indikatorom pomoću induktorske šipke na kojoj je pričvršćena opruga. Vrtuća spoljna osovina menjača rotira magnet. Magnetno polje koje generiše pokretni magnet privlači metalnu čašu brzine. Ovo mehaničko kretanje čašice za brzinu se koristi za skretanje igle. Ovaj odklon igle ukazuje na brzinu vozila.

## 5.6 Analogni sat

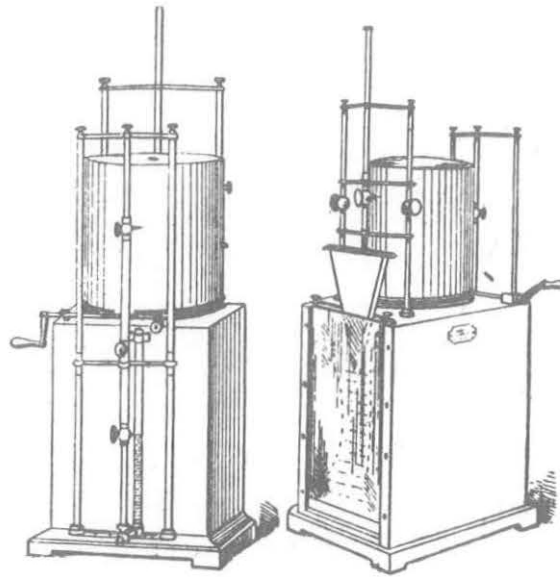
Iako su digitalni satovi sve češće u upotrebi, tradicionalni, analogni satovi idalje obavljaju posao u mnogim domaćinstvima. Mnogi nisu ni svesni da je analogni sat oblik analognog računara. On koristi kristal kvarca koji je podložan piezoelektričnom efektu. Napon koji obezbeđuje baterija, analogni signal, omogućava piezoelektričnom kristalu da vibrira brzinom od tačno 32 768 vibracija u sekundi. Uz pomoć ovih vibracija, generiše se impuls, a jedan impuls je vremenski ekvivalentan jednoj sekundi. Dakle, jedna sekunda je jednaka 32 768 vibracija piezoelektričnog kristala.

# 6 Hidrointegrator Mike Alasa

Hidrointegrator Mihaila Petrovića Alasa je prva analogna računarska mašina koja radi na principu kretanja tečnosti. Petrovićev rad na ovom uređaju najavio je još 1896. profesor mehanike na Velikoj školi u Beogradu Ljubomir Klerić.

Usavršena verzija, koja se smatra završnim rešenjem hidrointegratora, opisana je u američkom časopisu za matematiku (eng. *American Journal of Mathematics*) 1899. godine.[3]

Na slici 2 prikazana je skica hidrointegratora.



Slika 2: Petrovićeva skica hidointegratora.

## 7 Elektronski analogni računari

Mane mehaničkih analognih računara kao što su:

- njihova veličina i veoma zahtevno održavanje
- brzina izračunavanja ograničena momentom inercije komponentata
- ograničena preciznost na svega nekoliko procenata usled mrtvog hoda
- dug vremenski interval potreban za podešavanje računara za specifične probleme jer je bilo potrebno izvršiti veliki broj prespajanja

bile su samo neki od razlog za kratak životni vek mehaničkih analognih računara i rađanja ideje o *elektronskim analognim računarima* koji su brzo postali veoma uticajani.

Prvi elektronski analogni računar implementirao je nemački naučnik Helmut Helcer (nem. Helmut Hölzer) sredinom Drugog svetskog rata tokom svog rada na kontroli letenja namenskog dalekometnog artiljerijskog oružja za strateško bombardovanje što je zahtevalo ogroman broj izračunavanja. [4]

Ključna stavka ovakvih računara je *operacioni pojačavač*: komponenta u elektronskom kolu, sa dva ulazna i jednim izlaznim signalom, koja ima za cilj da pojača izlazni signal povećanjem razlike potencijala između dva ulazna signala. Prvobitno, ovaj uređaj bio je dizajniran za potrebe američke transkontinentalne telefonije. Druga bitna komponenta ovih računara bio

je potencijometar koeficijenta korišćen da obezbedi odgovarajuće skaliranje elektronskih analognih promenljivih.

Rani elektronski analogni računari brzo su stekli popularnost, a razlozi tome bili su:

- manja veličina u odnosu na mehaničke analogne računare (slika 3)
- lakša prenosivost
- niža cena
- veća brzina

Još jedan od razloga njihove popularnosti je taj što su ubrzo postali nerazdvojni deo istraživanja i razvijanja projekata u vojsci, vazduhoplovstvu i centrima za inženjerska istraživanja, što pokazuje i tabela 1 [5]

Tabela 1: Podaci o nekim od prvih značajnih elektronskih analognih računara

Projekat /mašina	Razvojni centar	Datum	Namena
Projekat <i>Ciklon</i>	Američka mornarica	1946	analogno - digitalno praćenje performansi
Projekat <i>Tajfun</i>	Američka mornarica / RCA	1947	Jednostruka namenska mašina
MIT simulator letenja	Američka mornarica/MIT	1948-1958	
RAND analogni računar	RAND korporacija	1948	Pravljenje Rand analognog računara
GEDA/BEAC	Američka avijacija	1950	program balističkih projektila
TRIDAC	RAE/ Elliot Brothers ltd.	1950-1955	Simulacija lansiranja projektila
LACE	Engleska elektroindustrija	1953-1956	Opšta namena/simulacija lansiranja projektila

Akronimi iz tabele:

**RCA** (eng. **R**adio **C**orporation of **A**merica) - Američka radijska korporacija

**MIT** (eng. **M**assachusetts **I**nstitute of **T**echnology) - Tehnološki institut u Massachusettsu

**RAND** (eng. **R**esearch **a**nd **d**evelopment) - Američki istraživački centar za globalnu politiku

**GEDA** (eng. **G**oodyear **E**lectronic **D**ifferential **A**alyzer) - Elektronski diferencijalni analizator aviokompanije Gudzir

**BEAC** (eng. **B**oeing **E**lectronic **A**nalog **C**omputer) - Elektronski analogni računar kompanije Boeing

**TRIDAC** (eng. **T**hree-**D**imensional **A**nalogue **C**omputer) - Britanski elektronski analogni računar korišćen u vojnom vazduhoplovstvu

**LACE** (eng. **L**uton **A**nalogue **C**omputing **E**ngine) - Britanski vojni analogni računar opšte namene proizveden u odseku za elektronsko navođenje projektila u Lutonu





Slika 3: Odnos u veličini između mehaničkih (slika levo) i elektronskih (slika desno) analognih računara.

## 8 Zaključak

Od astronomije do diferencijalnih i trigonometrijskih funkcija, analogni računari su svoju upotrebu našli u svim sferama života čovečanstva. Iako su neki od najjednostavnijih i najpoznatijih računara, oni su i dalje u upotrebi u našoj svakodnevici. Digitalni računari nisu nastali kako bi zamenili analogne, ova dva tipa računara simultano postoje. Nebitno od veličina sa kojima rade, binarnim ili kontinualnim, na kraju krajeva, oba rade i operišu sa brojevima.

## Literatura

- [1] Jo Marchant, "Archimedes and the 2000-year-old computer" New Scientist, 12 December 2008.
- [2] E G Fischer (1912), "The Coast and Geodetic Survey Tide Predicting Machine No. 2".
- [3] Srpska akademija nauka i umetnosti, "Hidrointegrator Mihaila Petrovića Alasa". Pristupljeno 6.11.2022.
- [4] Thomas H. Lange. "Peenemuende, Analyse einer Technologieentwicklung im Dritten Reich". VDI-Verlag, Dusseldorf, 2006.
- [5] Bissell, C.C. (2004). "A great disappearing act: the electronic analogue computer". IEEE Conference on the History of Electronics, Bletchley, UK, 28-30 Jun 2004.