

KORIŠĆENJE SIMULATORA RADA DIGITALNIH KOLA RADI UNAPREĐENJA NASTAVE IZ PREDMETA DIGITALNA ELEKTRONIKA

Mirjana Damnjananović¹, Milica Kisić², Dragomir Nikolić³

^{1,2,3}Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹mirad@uns.ac.rs, ²mkisic@uns.ac.rs, ³nikolied@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: Digitalna elektronika je jedan od obaveznih predmeta na studijskoj grupi Mikroračunarska elektronika studijskog programa osnovnih akademskih studija Energetika, elektronika i telekomunikacije, na Fakultetu tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu. Studenti kroz teorijsku i praktičnu nastavu imaju mogućnost da nauče osnovne metode analize i projektovanja digitalnih mreža i da steknu osnovna znanja iz ove oblasti, što predstavlja neophodnu osnovu za savladavanje više predmeta ove studijske grupe. Da bi gradivo bilo razmatrano sa dubljim razumevanjem, u nastavi se, i u okviru predavanja i u okviru računarskih vežbi, koriste primeri pripremljeni u simulatoru rada elektronskih kola MicroCAP.

Ključne reči: digitalna elektronika, računarske vežbe, unapređenje nastave

THE IMPROVEMENT OF DIGITAL ELECTRONICS TEACHING USING A DIGITAL CIRCUIT SIMULATOR

Abstract: Digital electronics is one of the mandatory subjects in the Microcomputer Electronics study group of the academic study program Power, Electronic and Telecommunication Engineering, at the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad. Through theoretical and practical teaching, students have the opportunity to learn the basic methods of analysis and design of digital networks and to acquire basic knowledge in this area, which is a necessary basis for mastering several of the following subjects in this study group. In order for the material to be discussed with a deeper understanding, examples prepared in the MicroCAP circuit simulator are used in classes, both in the lectures and in the computer exercises.

Key Words: digital electronics, computer exercises, improving the course

1. UVOD

Predmet „Digitalna elektronika“ je obavezni, stručno-aplikativni predmet na drugoj godini studija za studente koji su na studijskoj grupi Mikroračunarska elektronika studijskog programa osnovnih akademskih studija Energetika, elektronika i telekomunikacije, na Fakultetu tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu [1]. U okviru predmeta „Digitalna elektronika“ studenti stiču osnovna znanja iz oblasti digitalne elektronike: načina prikazivanja logičkih funkcija, minimizacije logičkih funkcija i realizacije osnovnim logičkim kolima.

Cilj ovog predmeta je da studenti nauče da povezuju osnovna teoretska znanja iz Bulove algebre sa praktičnim aspektima analize i realizacije kombinacionih i sekvencijalnih digitalnih mreža. U okviru kursa proučavaju se osnovni problemi koji mogu da se jave u radu digitalnih mreža, uzroci neispravnog rada i način njihovog otklanjanja [2]. Sličan predmet se izvodi u okviru studijskih programa na univerzitetima koji imaju studijske programe elektrotehničkog inženjerstva kao, na primer, Univerzitet u Kembridžu [3], Upsali [4], Beogradu [5], Nišu [6], Kragujevcu [7] i na drugim.

„Digitalna elektronika“ je uvodni u nizu predmeta koji obrađuju primenu digitalnih elektronskih kola. Izvodi se u trećem semestru studija Energetika, elektronika i telekomunikacije, na Smeru za mikroračunarsku elektroniku. Predmet obuhvata sledeće gradivo:

- analiza osnovnih kombinacionih mreža
- sinteza osnovnih kombinacionih mreža
- uticaj kašnjenja logičkih kola na rad kombinacionih mreža (logički i funkcionalni hazardi)
- kombinacioni funkcionalni blokovi i njihova primena
- analiza osnovnih sinhronih i asinhronih sekvencijalnih mreža
- sinteza sinhronih i osnovnih asinhronih sekvencijalnih mreža
- osnovni problemi (hazardi) u sekvencijalnim mrežama
- sekvencijalni funkcionalni blokovi i njihova primena.

U okviru predavanja, pored teoretskih razmatranja, rade se i kratki ilustrativni zadaci, dok se na auditornim vežbama rešavaju detaljni zadaci. Radi lakšeg savladavanja gradiva iz osnova digitalne elektronike, i kao podloga za lakše polaganje pismenog dela ispita, kako teoretskog, tako i praktičnog, pripremljena je „Zbirka zadataka iz digitalne

elektronike" [8]. Literatura koja se koristi je na srpskom [9], i engleskom jeziku [10], [11].

U okviru računarskih vežbi koristi se programa za simulaciju elektronskih kola MicroCAP, koji je jedna verzija programa SPICE. Studentska (demo) verzija tog programa je besplatna i lako se može preuzeti [12]. Zbog toga se koristi kao simulator rada digitalnih i analognih kola. Za izradu računarskih vežbi je pripremljen „Praktikum za računarske vežbe iz digitalne elektronike“ [13]. Cilj je da studenti kroz simulaciju rada digitalnih kola lakše savladaju predmet i bolje nauče analizu rada i sintezu digitalnih kola. U tabeli 1 je prikazan broj studenata koji su prvi put pohađali predmet „Digitalna elektronika“ u toku prethodnih 5 školskih godina, broj studenata koji su položili ispit do kraja prethodne školske 2024/2025. godine i procenat studenata koji su položili predmet. U svakoj tekućoj godini obično preko 70 % studenata položi predmet, a manji deo u toku naredne školske godine. Broj upisanih studenata u školskoj 2025/2026. godini je 50, ali oni nisu imali prilike da polažu predmet (jer januarski ispitni rok još nije održan), pa podaci za njih nisu prikazani u tabeli 1.

Tabela 1 – Broj studenata koji su prvi put pohađali predmet „Digitalna elektronika“ u toku prethodnih 5 školskih godina, broj studenata koji su položili ispit do kraja školske 2024/2025. godine i procenat studenata koji je položio predmet

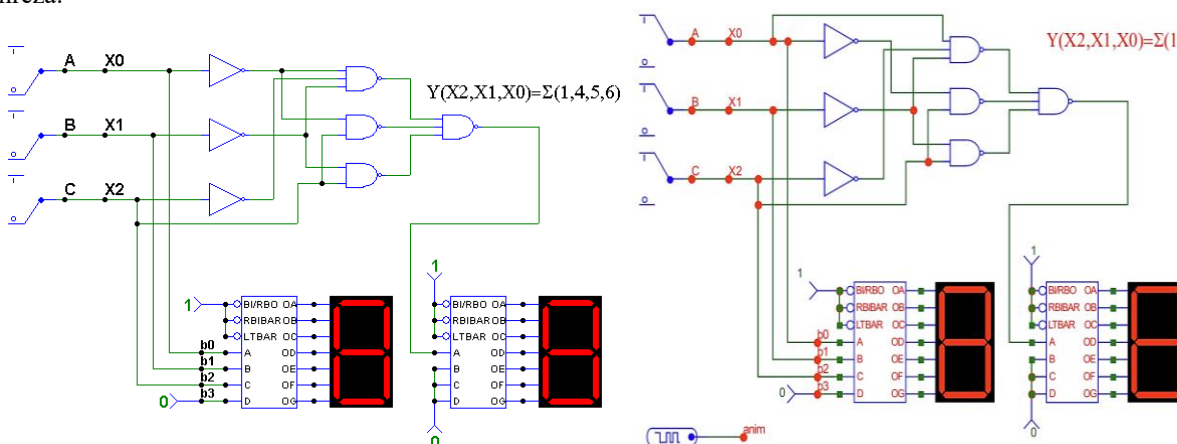
Školska godina	Broj studenata koji pohađa prvi put	Broj studenata koji su položili	Procenat (%)
2020-2021.	72	66	91.67
2021-2022.	87	79	90.80
2022-2023.	86	77	89.53
2023-2024.	70	47	67.14
2024-2025.	76	37	48.68
Ukupno	391	306	78.26

2. METODE IZVOĐENJA NASTAVE

Fond časova aktivne nastave nedeljno je: 3 časa predavanja, 2 časa auditornih vežbi i 1 čas računarskih vežbi. Računarske vežbe se, po tekućoj akreditaciji, izvode u toku prvog sledećeg, četvrtog semestra. Time je osigurano aktivno znanje studenata iz obuhvaćenog gradiva i utvrđivanje gradiva koje će im biti potrebno iz predmeta koji slede u toku školovanja iz oblasti projektovanja digitalnih mreža. Gradivo je podeljeno u 5 celina.

Prva vežba obuhvata gradivo iz kombinacionih mreža gde se, korišćenjem tranzijentne analize u simulatoru MicroCAP, radi animaciona analiza jednostavnih kombinacionih mreža i proučava rad tipičnih funkcionalnih blokova u kombinacionim mrežama. Takođe, pomoću simulacija se utvrđuje da li kombinaciona mreža ima eventualne greške, koje se zatim otklanjaju (slika 1). Pomoću digitalnih prekidača se vrši izbor kombinacija ulaznih promenljivih X_2 , X_1 , X_0 i proverava da li je vrednost izlaza Y u skladu sa zadatom logičkom funkcijom. Postoji greška, funkcija se koriguje na najjednostavniji mogući način. Na ovaj način studenti uče da rade analizu rada digitalnog kola kroz simulacije i otklanjanje grešaka [13].

U okviru druge vežbe se proučavaju sinhronne sekvencijalne mreže. Najpre se posmatraju memorijski elementi (leč kola i flipflopovi) kao osnovni elementi sinhronih mreža, a zatim se radi analiza i sinteza jednostavnijih sinhronih mreža.



Slika 1. Animacija rada nepoznate kombinacione mreže, proverava da li kombinaciona mreža realizuje zadatu logičku funkciju $Y(X_2, X_1, X_0) = \Sigma(1, 4, 5, 6)$ i odgovarajuća kombinaciona mreža dobijena nakon korekcije [13]

U trećoj vežbi se uče osnovne metode analize asinhronih sekvencijalnih mreža uz pomoć računara. Ujedno se radi i jedan način sinteze jednostavnih asinhronih mreža, tzv. intuitivna metoda, pri čemu računarska simulacija služi za proveru rada realizovane mreže.

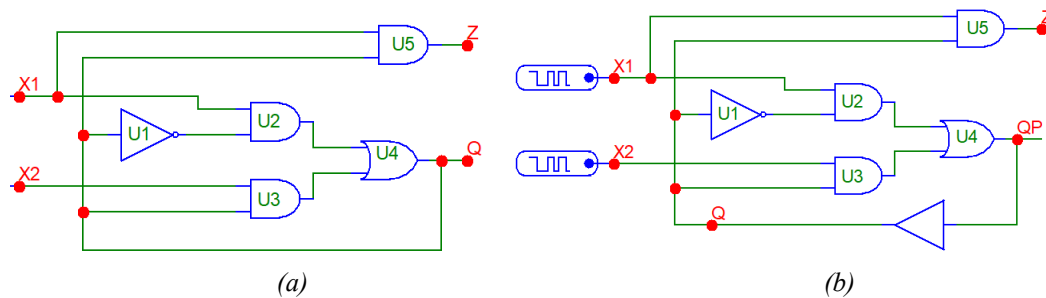
Primer analize asinhronih sekvencijalnih mreža je prikazan na slici 2. Najpre je potrebno nacrtati električnu šemu analiziranog kola i odrediti jednačinu stanja,

$$Q' = f(Q, X_1, X_2) = \bar{Q} \cdot X_1 + Q \cdot X_2, \quad (1)$$

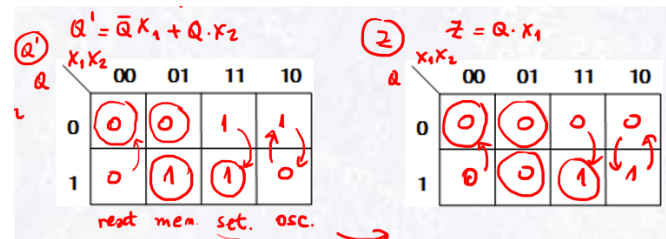
gde su X_1 i X_2 ulazne promenljive, Q je promenljiva stanja, buduće stanje je označeno sa Q' a jednačina izlaza:

$$Z = f(Q, X_1, X_2) = Q \cdot X_1. \quad (2)$$

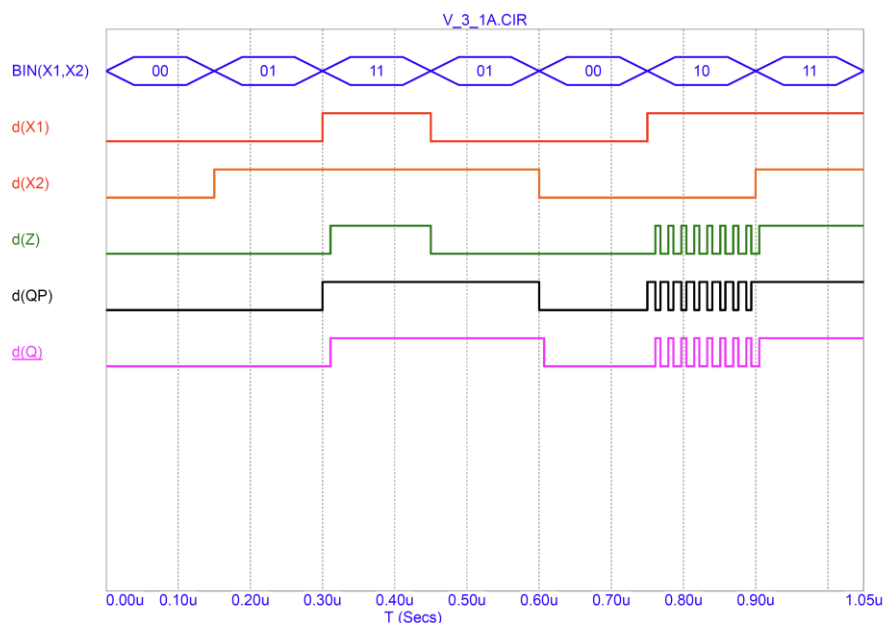
Crtanjem Karnoovih tablica za ove dve funkcije, odnosno tabele pobude i tabele izlaza (slika 3), utvrđuje se ponašanje mreže u zavisnosti od kombinacije ulaznih promenljivih. Za kombinaciju $X_1X_2 = 00$, promenljiva stanja prelazi u stanje $Q' = 0$, odnosno, dešava se reset. Za kombinaciju $X_1X_2 = 01$ ostaje prethodno stanje, odnosno mreža memoriše prethodno stanje, za $X_1X_2 = 11$ dešava se setovanje, a u slučaju kombinacije $X_1X_2 = 10$ oscilovanje. Treba primetiti da će se oscilovanje desiti i na izlazu mreže. Nakon analize rada, studenti vrše simulacije rada kola, porede rezultate teorijske analize i rezultate simulacije i izvođe odgovarajuće zaključke (slika 4).



Slika 2. Električna šema (a) analizirane asinhronne sekvencijalne mreže i (b) modifikovane mreže (kašnjenje je koncentrisano u grani povratne sprege, u obliku bafera, dok su ostala logička kola idealna)



Slika 3. Tabela pobude $Q' = f(Q, X_1, X_2)$ i tabela izlaza $Z = f(Q, X_1, X_2)$ analizirane asinhronne sekvencijalne mreže



Slika 4. Simulacija rada analizirane asinhronne sekvencijalne mreže dobijena pomoću simulatora MicroCAP (ulazni signali X_1 i X_2 , izlazna funkcija Z , promenljiva stanja Q i buduće stanje Qp)

U preostale dve vežbe dati su primeri koji služe za savladavanje dve veoma važne klase sinhronih sekvencijalnih mreža, brojača i registara. U četvrtoj vežbi se posmatra rad asinhronih i sinhronih brojača, kao i korišćenje gotovih univerzalnih četvorobitnih brojačkih modula (proširivanje kapaciteta brojača i skraćivanje njihovog ciklusa brojanja). Uočavaju se problemi u vezi rada brojača, posebno u vezi asinhronizma u radu zbog neadekvatnog odziva na pomoćne signale (za brisanje stanja *CLR*, punjenje brojača *LOAD* itd.). U petoj vežbi proučavaju se statički i pomerački registri. Vrš se sinteza različitih vrsta kružnih brojača, koji se realizuju od pomeračkih registara.

3. ZAKLJUČAK

Digitalna elektronika je jedan od bazičnih predmeta koji se izvode u studijskim programima elektrotehničkog inženjerstva na velikom broju univerziteta. Cilj takvih kurseva je sticanje osnovnih znanja iz projektovanja i analize rada digitalnih kola i sistema. Kako ovaj predmet obično predstavlja osnovu za predmete iz oblasti projektovanja digitalnih mreža, veoma je važno da studenti dobro nauče i razumeju osnovne principe rada digitalnih kola i ograničenja u radu koja su specifična za njih. Predmet „Digitalna elektronika“ je upravo tako koncipiran da omogućiti dublje razumevanje ove oblasti.

Značaj ispravnog projektovanja savremenih digitalnih kola uključuje proučavanje različitih pojava vezanih za povećanje frekvencije takta i brzine prenosa podataka digitalnog sistema. Da bi gradivo bilo na što bolji način predstavljeno, u nastavi se na predavanjima koristi kombinacija predavanja teorijskih osnova sa korišćenjem softverskih alata, koji im omogućavaju mnogo uspešnije usvajanje gradiva.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Departmana za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, u okviru realizacije projekta pod nazivom: „Razvoj naučno-stručnih metoda u energetici, elektronici i telekomunikacijama“.

4. LITERATURA

- [1] Internet stranica „Akreditacija 2020 - Energetika, elektronika i telekomunikacije“, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, <https://ftn.uns.ac.rs/akreditacija-2020/EM0/1/1/mikroracunarska-elektronika>. Pristupljeno: 16. 2. 2026.
- [2] Internet stranica „Digitalna elektronika (17.E138A)“, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, <https://ftn.uns.ac.rs/stranice-predmeta/E138A/digitalna-elektronika>. Pristupljeno 16. 2. 2026.
- [3] Internet stranica „Digital Electronics“, Department of Computer Science and Technology, University of Cambridge, <https://www.cl.cam.ac.uk/teaching/2526/DigElec/>. Pristupljeno 16. 2. 2026.
- [4] Internet stranica „Digital Electronics“, Department of Electrical Engineering, Uppsala University, <https://www.uu.se/en/study/syllabus?query=42472>. Pristupljeno 16. 2. 2026.
- [5] Internet stranica „Digitalna elektronika 1“, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, <http://tnt.etf.rs/~19e042de1/>. Pristupljeno 16. 2. 2026.
- [6] Internet stranica „Digitalna elektronika“, Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, <https://elektronika.elfak.ni.ac.rs/digitalna-elektronika/>. Pristupljeno 16. 2. 2026.
- [7] Internet stranica „Digitalna elektronika“, Fakultet inženjerskih nauka, Univerzitet u Kragujevcu, https://fin.kg.ac.rs/images/2024/09/13/Prilog_5.2_Knjiga_predmeta_Racunarska_tehnika_i_softversko_inzenjerstvo_20240913.pdf. Pristupljeno 16. 2. 2026.
- [8] Mirjana Damjanović, Laslo Nađ: „Zbirka rešenih zadataka iz digitalne elektronike“, FTN izdavaštvo, Edicija: Tehničke nauke - udžbenici, broj 436, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.
- [9] Vujo Drndarević: „ELEMENTI ELEKTRONIKE, digitalna kola“, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2016.
- [10] Shuqin Lou; Chunling Yang: „Digital Electronic Circuits: Principles and Practices“, Berlin: De Gruyter, 2019.
- [11] Anil K. Maini: „Digital Electronics: Principles, Devices and Applications“, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, England, 2007.
- [12] Internet stranica „Micro-Cap 12.2“, <https://micro-cap.informer.com/>. Pristupljeno 16. 2. 2026.
- [13] Laslo Nađ, Mirjana Damjanović: „Praktikum za računarske vežbe iz digitalne elektronike“, FTN izdavaštvo, Edicija: Tehničke nauke - udžbenici, broj 437, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.