# Digitalna elektronika - laboratorijske vežbe

# 1. Fizičke osobine digitalnih kola: DC prenosne karakteristike, oblikovanje signala, opteretljivost izlaza

# 1.1 Teorija

Fizičke osobine logičkih / digitalnih kola su opisane u prezentaciji 1. Računske zadatke su kandidati videli na auditornim vežbama.

# **1.2 Opis**

U okviru ove laboratorijske vežbe kandidati, računarskim simulacijama i merenjima, proveravaju DC prenosne karakteristike logičkih kola sa običnom i histerezisnom karakteristikom, uočavaju obradu signala koja se dešava usled tih karakteristika, zatim ispitaju uticaj opterećenja na izlaze.

# 1.3 Simulacije

Pre sastavljanja kola na probnom panelu i odgovarajućih merenja analizirati data kola računarskim simulacijama.

## 1.3.1 Prenosne karakteristike digitalnih kola u LTspice biblioteci

Sva digitalna kola u biblioteci imaju idealnu prenosnu karakteristiku u sledećem smislu:

- logička amplituda je 1 V (nizak logički nivo je na 0 V, visoki logički nivo je 1 V), ovo se može prepodesiti tako što primenimo desni klik na komponentu u šemi i u dijalogu koji se pojavljuje za Value parametar upišemo: Vhigh=5 (ako želimo da visoki logički nivo bude 5 V),
- pojačanje u prelaznoj oblasti (odnosno Vhigh/Vincrement) je beskonačno,
- prelaz se dešava tačno kod polovine logičke amplitude,
- izlazna otpornost ima nultu vrednost,
- nije potrebno povezati izvor napajanja.

Ispitajmo ovu karakteristiku za komponentu *inv* (logički invertor)! Upotrebiti sledeće simulaciono kolo!



Slika 1.: Simulaciono kolo za iscrtavanje DC prenosne karakteristike za (idealizovani) logički invertor iz biblioteke.

Sastaviti simulaciono kolo i izvršiti simulaciju! Kod kog ulaznog naponskog praga se dešava promena izlaznog logičkog nivoa? Odrediti pojačanje kola na prelaznom delu karakteristike.

Otvorite prozor *Component Attribute Editor* (desnim klikom na grafički simbol invertora) i u red označen sa *Value* upisati *Vhigh=12,* zatim izvor V1 podesiti tako da se njegov napon menja od 0 do 12 V. Izvršite ponovo simulaciju! Šta se promenilo?

# 1.3.2 DC prenosna karakteristika realnog CMOS invertora UB tipa (CD4049 UB)

Sastaviti kolo za simulaciju prema šemi! Izvršiti simulaciju i nacrtati DC prenosnu karakteristiku i struju izvora napajanja u funkciji ulaznog signala! Odrediti naponsko pojačanje kola na najstrmijem delu prenosne karakteristike! Očitati vršnu vrednost struje izvora napajanja!



Slika 2.: Simulacioni model CMOS invertora UB tipa.

# 1.3.3 DC prenosna karakteristika realnog CMOS bafera B tipa (CD4050 B)

Kod kola B tipa prenosna karakteristika je mnogo strmija zahvaljujući kaskadnoj vezi dva stepena UB tipa. Sastaviti simulaciono kolo, izvršiti simulaciju i nacrtati DC prenosnu karakteristiku za dato kolo!



Slika 3.: Simulacioni model CMOS bafera B tipa.

Odrediti naponsko pojačanje kola na najstrmijem delu prenosne karakteristike! Kolika je maksimalna struje izvora za napajanje za vreme promene logičkog nivoa?

#### 1.3.4 Schmitt-ova DC prenosna karakteristika

U *Digital* biblioteci LTspice softvera nalaze se idealizovani modeli komponenti sa Schmitt-ovom (histerezisnom) prenosnom karakteristikom (SCHMITT, SCHMTBUF, SCHMTINV). Pragovi prebacivanja imaju vrednosti od *Vt-Vh* i *Vt+Vh*. *Vt* je polovina logičke amplitude. Pomoću datog simulacionog kola nacrtati DC prenosnu karakteristiku datog kola!



Slika 4: Simulaciono kola za crtanje DC prenosne karakteristike Schmitt-ovog invertora.

#### 1.3.5 Testiranje uticaja opterećenja na logičke nivoe

Sastaviti navedena kola za simulaciju! Odrediti visoki i niski logički nivo! Koji logički nivo je pomeren u odnosu na situaciju bez opterećenja?



Slika 5.: Simulaciono kolo za testiranje uticaja pull-up i pull-down opterećenja.

## 1.4 Oprema za merenje

- 1. Eksperimentalna pločica
- 2. Dvokanalni digitalni osciloskop
- 3. Generator signala
- 4. Razna logička kola

#### 1.5 Merenja

U ovom delu kandidati merenjima proveravaju DC prenosne karakteristike realnih logičkih kola i njihovu opteretljivost.

#### 1.5.1 Merenje DC prenosne karakteristike CMOS invertora tipa CD4049UB

Sastaviti dato kolo na eksperimentalnoj pločici! Na ulaz povezati pravougaoni signal sa donjim nivoom od 0 V i gornjim nivoom od 12 V, frekvencije 1kHz! Osciloskopom pogledati vremenske dijagrame ulaznog i izlaznog signala! Nacrtati oblik izlaznog signala na dijagram!



Slika 6.: Način povezivanja invertora tipa CD4049UB i odgovarajući vremenski dijagrami.

Kod istog kola dovesti na ulaz trougaoni signal frekvencije 1 kHz, gornju vršnu vrednost namestiti na 12V, donju vršnu vrednost na 0 V! Osciloskop prebaciti u XY mod i iscrtati DC prenosnu karakteristiku invertora. Na horizontalnoj osi treba da je prikazan ulazni napon a na vertikalnoj osi izlazni napon. Dobijeni dijagram precrtati na priloženu sliku!



Slika 7: Prenosna karakteristika invertora tipa CD4049UB.

#### 1.5.2 Oscilator sa Schmitt-ovim invertorom

Sastaviti dato kolo na eksperimentalnoj pločici! Uključiti izvor napajanja! Prikazati dijagram signala na izlazu invertora! Odrediti frekvenciju i faktor ispune signala! Koje komponente treba promeniti da bi dobili dva puta veću ili dva puta manju frekvenciju?



Slika 8.: Oscilator (generator pravougaonog signala) sa Schmitt-ovim NI kolom.

Precrtati dijagram izlaznog signala na datu sliku!



Slika 9.: Vremenski dijagram izlaznog signala oscilatora.

#### 1.5.3 Opteretljivost CMOS kola

Usporiti ranije prikazani oscilator i opteretiti na način kako je dato na slici! Pogledati osciloskopom izlazne logičke nivoe sa i bez opterećenja! Očitati i zapisati gornji i donji izlazni logički nivo!



Slika 10: Ispitivanje opteretljivosti izlaza pri opterećenju pull-up tipa.

Preraditi kolo prema sledećoj šemi! Na koju stranu i u kojoj meri se menjaju logički nivoi izlaznog signala?



Slika 11: Ispitivanje opteretljivosti izlaza pri opterećenju pull-down tipa.

Student(i):

Ime: Broj indeksa: Potpis: