

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet elektrotehnike i računarstva

## **Digitalna logika**

### **Laboratorijske vježbe korištenjem sklopovskih pomagala**

### **Upute za 2. laboratorijsku vježbu**

Marko Zec

Listopad 2014.

# 1 Zadatak: shematski opis kombinacijskih sklopova

Vaš je zadatak projektirati i ispitati kombinacijski modul "enkoder" koji će pritiske na tipke razvojne pločice (`btn_up`, `btn_down`, `btn_left`, `btn_right` i `btn_center`) preslikati u odgovarajuće 7-bitne MIDI [5] kodove na način da se pomoću 10 različitih ulaznih kombinacija pritisnutih tipki na izlazu sklopa dobije 10 različitih kodova prema unaprijed zadanoj tablici. Izlaze iz vlastitog kombinacijskog modula povežite na ulaz već gotovog modula za generiranje tonskog signala "tonegen", a izlaz iz generatora tonskog signala povežite s priključnicom za slušalice. Sve izlaze modula "enkoder" potrebno je dovesti i na LED indikatore kako bi mogli provjeriti ispravnost generiranja zadanih 7-bitnih kodova. Ispravnost rada sklopa provjerite i priključenjem slušalica na pločicu te slušanjem tonova dobivenih kao odziv na kombinacije pritisnutih tipki.

Odabir kodnih riječi vrši se na temelju zadnje dvije znamenke studentovog JMBAG identifikatora. Varijabla "B" dobiva se prema formuli:

$$B = (\text{JMBAG mod } 50) + 32$$

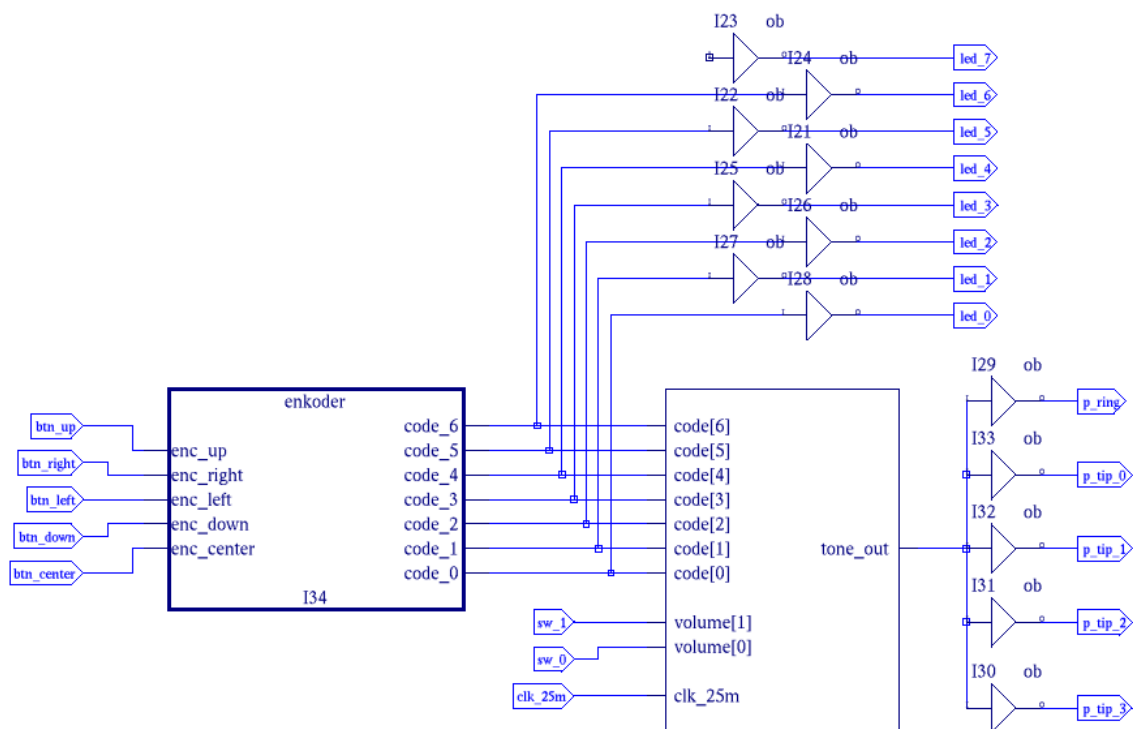
U slučaju da za Vaš JMBAG vrijednost varijable "B" prema ovoj formuli iznosi 60, u vježbi treba koristiti vrijednost  $B = 31$  za odabir kodnih riječi.

Studenti kojima su zadnje dvije znamenke JMBAG identifikatora u rasponu od 0 do 49 trebaju projektirati sklop za generiranje kodne riječi prema stupcu "dur" iz priložene tablice, dok ostali studenti trebaju generirati kodne riječi prema stupcu "mol".

kombinacija tipki	kodna riječ (dur) (JMBAG mod 100) < 50	kodna riječ (mol) (JMBAG mod 100) ≥ 50
	0	0
down	0	0
left	$B + 0$	$B + 0$
center	$B + 2$	$B + 2$
up	$B + 4$	$B + 3$
right	$B + 5$	$B + 5$
down + left	$B + 7$	$B + 7$
down + center	$B + 9$	$B + 8$
down + up	$B + 11$	$B + 10$
down + right	$B + 12$	$B + 12$

Za sve ostale moguće kombinacije tipki (one koje nisu obuhvaćene tablicom) rad kombinacijskog modula nije specificiran, odnosno dozvoljeno je da na izlazu generira bilo kakvu kodnu riječ. Po vlastitoj želji možete odabrati i drugačije kombinacije tipki od predloženih, u kojem slučaju te kombinacije morate ispravno dokumentirati, odnosno označiti u tablici u sklopu pripremnog dijela vježbe.

**Na laboratorijsku vježbu trebate doći s napisanom pripremom (provedena minimizacija logičkih funkcija za svih 7 bitova kodne riječi), te po mogućnosti s izvedbom sklopa koja odgovara funkcijskim zahtjevima zadatka.**



## 2 Primjer rješenja za JMBAG 0012345628: B = 60, dur

Na početku projektiranja kombinatorijskog modula "enkoder" potrebno je definirati njegovo ponašanje pomoću tablice kojom se za svaku od predviđenih kombinacija ulaznih signala (pritisnutih tipki) određuje vrijednost 7-bitne kodne riječi na izlazu.

Ulaz (tipke): down left center up right	Izlaz: kodna riječ (dekadski)	Izlaz: code[i] (binarno)						
		6	5	4	3	2	1	0
-	0	0	0	0	0	0	0	0
down	0	0	0	0	0	0	0	0
left	$B + 0 = 60$	0	1	1	1	1	0	0
center	$B + 2 = 62$	0	1	1	1	1	1	0
up	$B + 4 = 64$	1	0	0	0	0	0	0
right	$B + 5 = 65$	1	0	0	0	0	0	1
down + left	$B + 7 = 67$	1	0	0	0	0	1	1
down + center	$B + 9 = 69$	1	0	0	0	1	0	1
down + up	$B + 11 = 71$	1	0	0	0	1	1	1
down + right	$B + 12 = 72$	1	0	0	1	0	0	0

Prema podacima iz tablice treba napisati logičke funkcije za svaki od 7 bitova izlazne kodne riječi  $code = f(\text{down}, \text{left}, \text{center}, \text{up}, \text{right})$ . Minimalne oblike svake od 7 funkcija  $code[i]$  može se dobiti pomoću K-tablica na način da se u zasebnu tablicu za svaki bit kodne riječi upišu vrijednosti funkcije (0 ili 1) za svaku od 10 tablicom specificiranih kombinacija ulaznih signala, dok se ostala polja ostave prazna ili označe s "x" kao nespecificirane vrijednosti funkcije.

U nastavku je prikazan primjer izvođenja logičke funkcije za bitove 5 i 6 kodne riječi korištenjem K-tablica.

code[5]		down left center								
		000	001	011	010		100	101	111	110
up right	00	0	1	x	1		0	0	x	0
	01	0	x	x	x		0	x	x	x
	11	x	x	x	x		x	x	x	x
	10	0	x	x	x		0	x	x	x

$$\text{code}[5] = \overline{\text{down}} \cdot \text{center} + \overline{\text{down}} \cdot \text{left} = \overline{\text{down}} \cdot (\text{center} + \text{left})$$

code[6]		down left center								
		000	001	011	010		100	101	111	110
up right	00	0	0	x	0		0	1	x	1
	01	1	x	x	x		1	x	x	x
	11	x	x	x	x		x	x	x	x
	10	1	x	x	x		1	x	x	x

$$\text{code}[6] = \text{right} + \text{up} + \text{down} \cdot \text{center} + \text{down} \cdot \text{left} = \text{down} \cdot (\text{center} + \text{left}) + \text{right} + \text{up}$$

Logičke funkcije za svih 7 bitova kodne riječi su ove:

$$\text{code}[0] = \overline{\text{down}} \cdot \text{right} + \text{down} \cdot (\text{left} + \text{center} + \text{up})$$

$$\text{code}[1] = \overline{\text{down}} \cdot \text{center} + \text{down} \cdot (\text{left} + \text{up})$$

$$\text{code}[2] = \overline{\text{down}} \cdot (\text{left} + \text{center}) + \text{down} \cdot (\text{center} + \text{up})$$

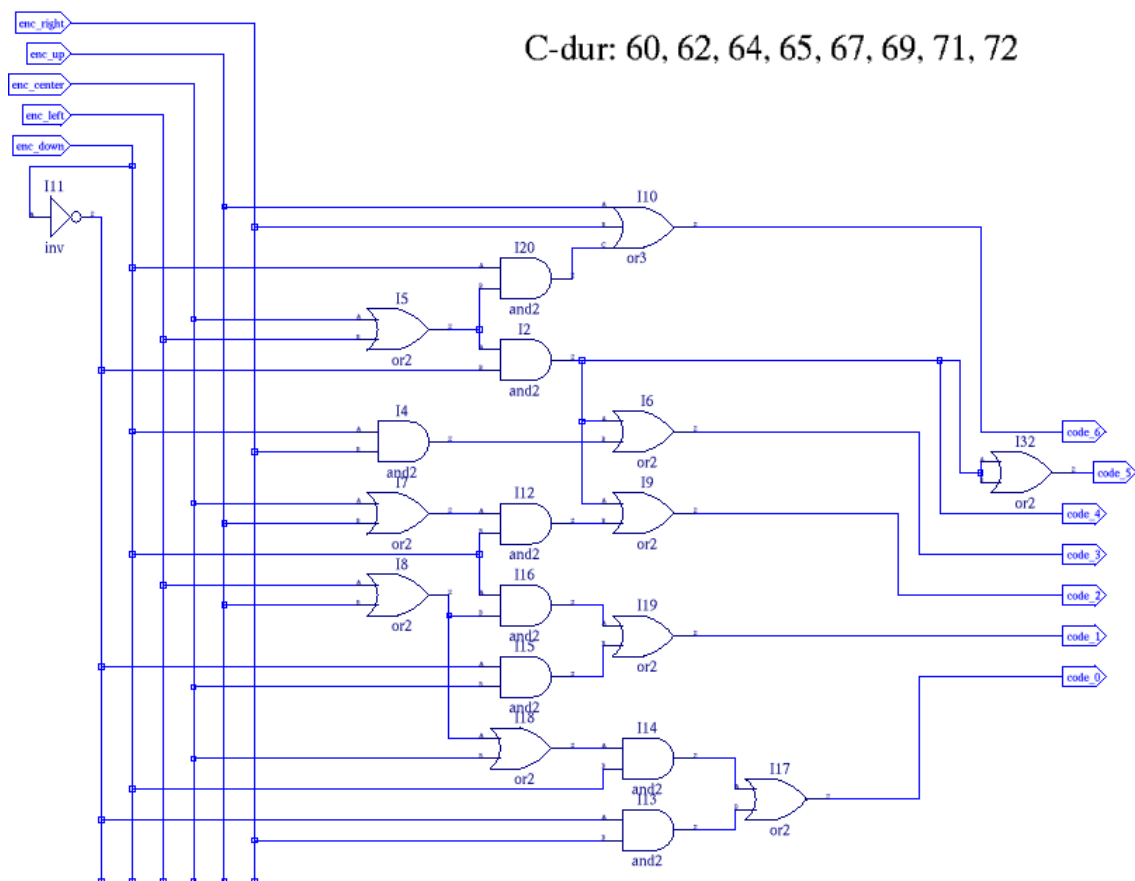
$$\text{code}[3] = \overline{\text{down}} \cdot (\text{left} + \text{center}) + \text{down} \cdot \text{right}$$

$$\text{code}[4] = \overline{\text{down}} \cdot (\text{left} + \text{center})$$

$$\text{code}[5] = \overline{\text{down}} \cdot (\text{left} + \text{center})$$

$$\text{code}[6] = \text{down} \cdot (\text{left} + \text{center}) + \text{right} + \text{up}$$

Iz funkcija za sve bitove kodne riječi može se nacrtati shema kombinacijskog modula, povezati ga sa modulom topogen, te s vanjskim ulaznim i izlaznim signalima. Shema modula "encoder" nalazi se na sljedećoj stranici.



**3 Priprema: JMBAG =**

**B =**

**dur / mol**

Popunite tablicu kombinacija ulaznih signala (tipki) i pripadajućih izlaznih kodnih riječi u dekadskom i binarnom zapisu.

Ulaz (tipke): down left center up right	Izlaz: kodna riječ (dekadski)	Izlaz: code[i] (binarno)						
		6	5	4	3	2	1	0
-	0							

Izvedite i napišite funkcije  $\text{code}[i] = f(\text{up}, \text{down}, \text{left}, \text{right}, \text{center})$  za svaki pojedini bit izlazne kodne riječi. Za minimizaciju koristite K-tablice.

code[0]		down left center								
		000	001	011	010		100	101	111	110
up right	00									
	01									
	11									
	10									

code[0] =

code[1]		down left center								
		000	001	011	010		100	101	111	110
up right	00									
	01									
	11									
	10									

code[1] =

code[2]		down left center								
		000	001	011	010		100	101	111	110
up right	00									
	01									
	11									
	10									

code[2] =

code[3]		down left center								
		000	001	011	010		100	101	111	110
up right	00									
	01									
	11									
	10									

code[3] =

code[4]		down left center								
		000	001	011	010		100	101	111	110
up right	00									
	01									
	11									
	10									

code[4] =

code[5]		down left center								
		000	001	011	010		100	101	111	110
up right	00									
	01									
	11									
	10									

code[5] =

code[6]		down left center								
		000	001	011	010		100	101	111	110
up right	00									
	01									
	11									
	10									

code[6] =

## 4 Opis i sinteza sklopa

Stvorite novi prazni direktorij na disku, te u njega pohranite slijedeće datoteke koje možete dohvatiti iz repozitorija na sustavu Ferko:

- `ulx2s.lpf` (definicije ulazno-izlaznih priključaka FPGA sklopa na pločici ULX2S)
- `sviraj.sch` (shematski opis sklopa koji povezuje module enkoder i tonegen)
- `enkoder.sch` (shematski opis kombinacijskog modula enkoder za parametre B = 60, dur)
- `tonegen.vhd` (VHDL opis sinkronog sekvencijskog modula za generiranje tonskog signala)
- `enkoder.sym` (grafički simbol sučelja modula "enkoder")
- `tonegen.sym` (grafički simbol sučelja modula "tonegen")

Ovim datotekama opisan je sklop iz primjera za parametre B = 60, dur. Već gotove sheme možete koristiti kao predložak za izradu vlastite vježbe, odnosno smijete ih i koristiti uz potrebne modifikacije u vlastitom projektu.

Pokrenite razvojnu okolinu Lattice Diamond, te stvorite novi projekt. Za radni direktorij projekta odaberite upravo stvoreni direktorij u kojem se nalaze datoteke dohvaćene iz repozitorija. Prilikom stvaranja projekta preporuča se odmah u projekt uključiti datoteke `ulx2s.lpf`, `sviraj.sch`, `enkoder.sch`, `tonegen.vhd`, `enkoder.sym` i `tonegen.sym`.

Prije nego što počnete uređivati shemu vlastite implementacije sklopa "enkoder", preporuča se sintetizirati ogledni sklop korištenjem nepromijenjenih datoteka dohvaćenih iz sustava Ferko, isprogramirati FPGA sklop dobivenom konfiguracijskom datotekom, te ispitati rad sklopa. Glasnoću tonskog signala možete podešavati prekidačima `sw[1]` i `sw[0]`.

**VAŽNO:** prije pokretanja postupka sinteze u alatu Lattice Diamond obavezno treba pokrenuti postupak "**View -> Show views -> Hierarchy**", čime alat za sintezu odabire glavni (*top-level*) modul koji se povezuje s vanjskim priključcima FPGA sklopa. Ukoliko se preskoči ovaj korak alat neće ispravno sintetizirati konfiguraciju FPGA sklopa!



Vlastitu implementaciju modula "enkoder" najbrže možete specificirati tako da iz demonstracijske implementacije za parametre  $B = 60$ , dur, izbrišete kombinacijsku mrežu te ju zamijenite vlastitom.

Ukoliko u Vašoj implementaciji modula "enkoder" neki od izlaznih signala trebaju imati konstantnu vrijednost, iz biblioteke možete odabrati komponente VHI za '1' odnosno VLO za '0', te ih povezati direktno na odgovarajuće izlaze modula "enkoder".

Ako želite isti signal dovesti na više izlaza modula "enkoder", prije izlaznog priključka treba ubaciti dvoulazni sklop "ILI" ili "I" s kratkospojenim ulazima, kao što je izvedeno u primjeru za  $B = 60$ , dur.

Programirajte FPGA sklop sintetiziranom konfiguracijom te ispitajte njegov rad za svih 10 ulaznih kombinacija pritisnutih tipki promatranjem odziva na LED indikatorima, te slušanjem generiranih tonova na priključenim slušalicama.

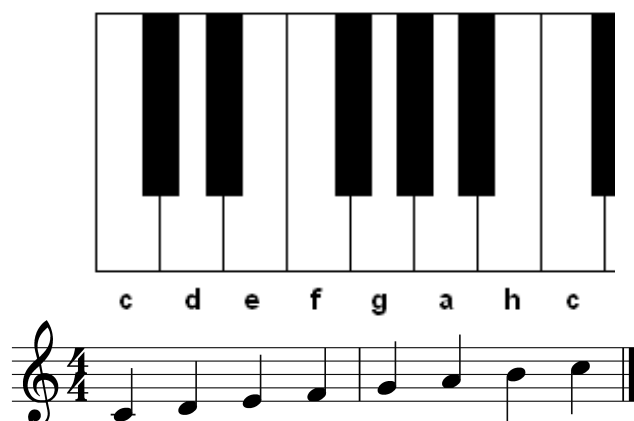
## 5 Dodatak: MIDI

MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*) je standard za zapis i prijenos informacija između elektroničkih muzičkih instrumenata i računala. Visina (frekvencija) svakog tona prema MIDI standardu određena je 7-bitnim kodom, koji je prikazan tablicom u prilogu ovog dokumenta (izvor: Wikipedia). Modul "tonegen" koji je korišten u ovoj vježbi generira tonski signal čija je frekvencija određena 7-bitnim MIDI kodom na ulazu.

### 5.1 Dijatonske ljestvice i MIDI kodovi

Kromatska ljestvica je niz od 12 tonova čije se susjedne frekvencije razlikuju za koeficijent  $2^{1/12}$ . U muzičkoj terminologiji korak između dva susjedna člana takvog niza naziva se polustupanj, a dva takva koraka nazivaju se cijeli stupanj. U MIDI notaciji korak između dva susjedna tona kromatske ljestvice, odnosno polustupanj, uvijek odgovara razlici u vrijednosti kodnih riječi od +1 ili -1.

Dijatonska dur ljestvica je podskup kromatske ljestvice od 8 tonova odabranih na način da je cijeli stupanj korak između elemenata ljestvice 1 i 2, 2 i 3, 4 i 5, 5 i 6, te 6 i 7, a polustupanj korak između elemenata 3 i 4, te 7 i 8. Dijatonska mol ljestvica je podskup kromatske ljestvice od 8 tonova odabranih na način da je cijeli stupanj korak između elemenata 1 i 2, 3 i 4, 4 i 5, 6 i 7, te 7 i 8, a polustupanj korak između elemenata 2 i 3, te 5 i 6. Kao i kod kromatske ljestvice, u MIDI notaciji polustupnjevima odgovara razlika u kodnim riječima od +1 odnosno -1, dok cijelim stupnjevima odgovara razlika u kodnim riječima od +2 odnosno -2. Vezu između stupnjeva ljestvice i pripadajućih MIDI kodova možemo vidjeti na primjeru C-dur ljestvice:



ton	MIDI code
c	60
d	62
e	64
f	65
g	67
a	69
h	71
c	72

