

DIGITALNA LOGIKA

① Digitalni sustavi i obrada podataka

- učinkovaje \Rightarrow diskretizacija po vremenu
- kvantizacija \Rightarrow diskretizacija po amplitudi
- bit (Binary digit) \Rightarrow binarne znamenske

Osnova struktura digitalnog sustava

- ulazna jedinica
 - izlazne jedinice
 - memorija
 - aritmetičko - logička jedinica
 - upravljačka jedinica \Rightarrow podstavak koji upravlja sviim ostalim podsustavima
- } razmjenjuju podatke

② Brojevi u sustavu i kodovi

Pozicijski brojevi u sustavu

$$NB = a_{m-1} \cdot B^{m-1} + a_{m-2} \cdot B^{m-2} + \dots + a_1 \cdot B^1 + a_0 \cdot B^0$$
$$= \sum_{i=0}^{m-1} a_i \cdot B^i = a_{m-1} a_{m-2} \dots a_1 a_0$$

prikaz m-znamenkastih ujedinih brojeva

$$m_B = a_{-1} \cdot B^{-1} + a_{-2} \cdot B^{-2} + \dots + a_{-(m-1)} \cdot B^{-(m-1)} + a_{-m} \cdot B^{-m}$$
$$= \sum_{i=-m}^{-1} a_i \cdot B^i = 0, a_{-1} a_{-2} \dots a_{-(m-1)} a_{-m}$$

prikaz razlomljenih brojeva

Pretvorba brojeva u razlicitim sustavima

- sucesivno dijeljenje ujedog dekadskog broja bazom drugog sustava
- ostaci dijeljenja s bazom \rightarrow znamenke
- ostatak prve dijeljenja je najmanje značajna znamenka

Pretvorba neujedog dekadskog broja

- uzaštopno množenje razlomljenog dijela s bazom sustava
- ne mora vijek zauzeti konacnu brojem znamenaka

Pretvorba u dekadski sustav

- odrediti dekadski zapis svake potencije baze izvornog sustava
- pomnožiti vrijednost svake znamenke s odgovarajućom težinom
- sumirati sve te dobivene vrijednosti

Binarna aritmetika

- binarno zbraja dvaju binarnih brojeva - pojava prenosova C mal nisu bitovni poziciju
- binarno oduzimanje dvaju bin. brojeva $D_i = A_i \oplus B_i \oplus C_{i-1}$ summa = diferencija
posudba

Modulo aritmetika

- umjesto jednakosti, relacija congruenje \equiv

mpf. za $m = 10$:

$$1 \equiv 1 \equiv 11 \equiv -9 \equiv 21 \equiv -19 \equiv \dots$$

općenito $a \equiv a + k \cdot 10$, $k = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$

Komplementi brojeva

B -komplement $\bar{a}_B = m - a = B^w - a$

m je maksimalan broj znamenki koji se koristi

$B = 10$: 10- komplement

$$m=2 : (\bar{3}5)_{10} = 10^2 - 35 = 65$$

$$m=3 : (\bar{3}5)_{10} = 10^3 - 35 = 965$$

$B=2$: 2- komplement \Rightarrow počev od najmanje značajnog bita broja, invertirati svaki bit malonu prve 1

$$(\overline{010101})_2 = 2^6 - 010101 = 1000\ 000 - 010101 = 101011$$

$(B-1)$ - komplement $\bar{N} = B^W - N - 1 = \bar{N}_B - 1 = W - N$

\Rightarrow svaku znamenkku broja odnosi od $W = B-1$

$B = 10$: 9- komplement

$$m=2 : (\bar{3}5)_{10} = 10^2 - 35 - 10^0 = 64 = (10^2 - 10^0) - 35 = 99 - 35 = 64$$

$$m=3 : (\bar{3}5)_{10} = 10^3 - 35 - 10^0 = 964 = (10^3 - 10^0) - 35 = 999 - 35 = 964$$

$B=2$: 1- komplement \Rightarrow komplementiranje pojedinih bitova

$$(\overline{010101})_2 = 2^6 - 010101 - 1 = 111111 - 010101 = 101010$$

- dobivanje 2-komplementa iz 1-komplementa: $\bar{B}_2 = \bar{B}_1 + 1$

prikaz brojeva s predznakom

\Rightarrow negativni brojevi "n": -

Predznak i veličina

$$+114 = 0111\ 0010 \quad -114 = 1111\ 0010 \quad (\text{problem "negativne nule"} \quad -0 = 100\ 000)$$

Predznak i 2-komplement

- pozitivni brojevi: predznak i veličina $+63 = 0011\ 1111$

- negativni brojevi: predznak i 2-komplement $-63 = 1100\ 0001$

- nema problema "negativne nule" (nula je jedinstvena) $+0 = -0 = 0000\ 0000$

Predznak i 1-komplement

- komplementisanje predznaka i veličine zajedno $+114 = 0111\ 0010, \quad -114 = 1000\ 1101$

- problem "negativne nule" $+0 = 0000\ 0000, \quad -0 = 1111\ 1111$

Kodovi za zaštitu podataka

nisestrukturno ispitivanje paritet:

dvodimenzijski kod \Rightarrow 2D matica informacijskih bitova

{ ispravlja jednostavke pogreške

Hammingov kod $2^r \geq k+r+1, m = k+r$

r: broj zaštitnih bitova (na mjestima 2ⁱ)

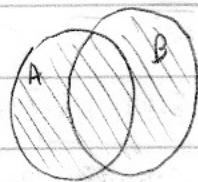
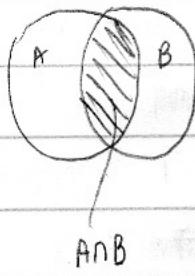
k: broj informacijskih bitova

m: duljina kodne riječi

③ Osnove digitalne logike

logika sudova (propozicijska logika)

- osnovni logički veznici \Rightarrow kombinacije 1, 1U
- vrijednost složenog sudova \Rightarrow istinit ili neistinit



simbolička logika $f = A \cap B$

konjunkcija

simbolička logika $f = A \cup B$

inkluzivna disjunkcija

- logička funkcija NE, komplement, invertija

- nije kombinacija, već složeni sud od jedne logičke varijable $f = \bar{A}$

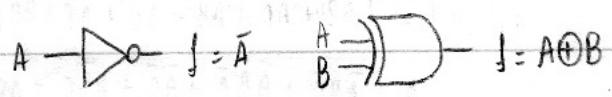
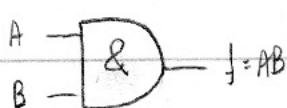
Booleova algebră

- teoremi

- poštuje de Morganovih zakona

- Venmovi dijagrami \Rightarrow prikaz skupa skupova točaka

Američki vojni standard Mil - STD - 806B



$$A + B = \bar{\bar{A}} + \bar{\bar{B}} = \overline{\bar{A}\bar{B}}$$

NE

$$f(A|B) = \bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B}$$

EX-14

Booleove funkcije

Komplementarna funkcija

\Rightarrow funkcija kojoj su vrijednosti komplementarne onima izvorne funkcije ($0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0$)

$$f(A, B, C) = A\bar{B}C + \bar{A}BC + \bar{A}\bar{B}C + A\bar{B}\bar{C} + ABC$$

$$\bar{f}(A, B, C) = \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}B\bar{C} + A\bar{B}\bar{C} + AB\bar{C} + ABC$$

$$= \bar{A}\bar{B}C \cdot \bar{A}B\bar{C} \cdot A\bar{B}\bar{C} \cdot AB\bar{C} \cdot ABC$$

$$= (A+B+\bar{C}) \underbrace{(A+\bar{B}+\bar{C})(\bar{A}+B+C)(\bar{A}+\bar{B}+C)}_{(A+\bar{B}+\bar{C})} (A+B+\bar{C})$$

$$= (\bar{A}\bar{B} + AC + \bar{A}B + BC + \bar{A}\bar{C} + \bar{B}\bar{C})(AB + AC + \bar{A}\bar{B} + \bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{C} + B\bar{C})(\bar{A} + \bar{B} + \bar{C})$$

$$= (\bar{A}\bar{B}C + A\bar{B}\bar{C} + ABC + AC + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{C}) (\bar{A} + \bar{B} + \bar{C})$$

$$= (\bar{A}\bar{B}C + ABC + AC + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{C}) (\bar{A} + \bar{B} + \bar{C})$$

$$= \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{C}$$

$$= \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}(B+\bar{B})\bar{C}$$

$$= \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}$$

$$= \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}\bar{B}\bar{C} //$$

Dualna funkcija

\Rightarrow funkcija koja se dobiva zamjenom operatora ($+ \cdot \cdot$), i konstanti ($0, 1$) izvorne funkcije

$$f(A, B, C) = \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}BC + A\bar{B}\bar{C} + AB\bar{C} + ABC$$

$$f_D(A, B, C) = (\bar{A} + \bar{B} + C) \underbrace{(\bar{A} + B + C)(A + \bar{B} + \bar{C})(A + B + \bar{C})(A + B + C)}$$

$$= (\bar{A}\bar{B} + \bar{A}\bar{C} + \bar{A}\bar{B} + \bar{B}\bar{C} + AC + BC)(\bar{A}\bar{B} + \bar{A}\bar{C} + AB + B\bar{C} + AC + \bar{B}\bar{C})(A + B + C)$$

$$= (\bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + ABC + AC)(A + B + C)$$

$$= \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + ABC + AC$$

$$= \bar{A}\bar{B}\bar{C} + A\bar{B}\bar{C} + ABC + A(B+\bar{B})C$$

$$= \bar{A}\bar{B}\bar{C} + A\bar{B}\bar{C} + ABC + ABC + A\bar{B}\bar{C}$$

$$= \bar{A}\bar{B}\bar{C} + A\bar{B}\bar{C} + ABC //$$

Booleane funkcije dvije ili više varijabli

- moguće funkcije jedne varijable

konstante (nularne funkcije) : 0, 1

unarne funkcije : A, \bar{A}

- moguće funkcije dvije varijable

$$f_0 = 0$$

konstanta

$$f_8 = \overline{A+B}$$

NIU

$$f_1 = AB$$

I

$$f_9 = \bar{A}\bar{B} + AB$$

ekvivalentija

$$f_2 = A\bar{B}$$

inhibicija

$$f_{10} = \bar{B}$$

komplement

$$f_3 = A$$

identitet

$$f_{11} = A + \bar{B} = (B \Rightarrow A)$$

implikacija

$$f_4 = \bar{A}B$$

inhibitacija

$$f_{12} = \bar{A}$$

komplement

$$f_5 = B$$

identitet

$$f_{13} = \bar{A} + B = (A \Rightarrow B)$$

implikacija

$$f_6 = \bar{A}B + A\bar{B}$$

EX-OR

$$f_{14} = \overline{AB}$$

NI

$$f_7 = A+B$$

II

$$f_{15} = 1$$

konstanta

Nepotpuno specifičane funkcije

- u nekim se primjenama ne pogauljuju sve moguće kombinacije

- nije važna vrijednost funkcije (don't care condition)

- u tablicu kombinacija se na to mjesto upisuje "X"

- takva funkcija f je nepotpuno specifičana

4. Minimizacija Booleovih izrazova

- pronaci izraz koji minimizira odabranu mjeru slozenosti

- primjena na funkcije drugog reda

Neki se izraz drugog reda u obliku sume produkata smatra minimalnim - minimiziranim - ako ne postoji:

- miti jedan drugi ekvivalentni izraz s manje produkata

- miti jedan drugi ekvivalentni izraz s istim brojem produkata, ali manjim brojem literala

literal = {varijabla, komplement}

Minimum Booleove funkcije

$$f(A, B, C) = B\bar{C}(\bar{C} + \bar{C}A) + (\bar{A} + \bar{C})(\bar{A}B + \bar{A}C)$$

$$= B\bar{C} \cdot \bar{C}(1 + A) + \bar{A}B + \bar{A}C + \bar{A}B\bar{C}$$

$$= B\bar{C} + \bar{A}B(\bar{A} + \bar{C}) + \bar{A}C$$

$$= B\bar{C} + \bar{A}B + \bar{A}C$$

$$= B\bar{C} + \bar{A}B(C + \bar{C}) + \bar{A}C$$

$$= B\bar{C} + \bar{A}BC + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}C$$

$$= \bar{A}C(A + B) + B\bar{C}(A + \bar{A})$$

$$= \bar{A}C + B\bar{C} //$$

K tablice

- grafički prikaz Booleovih funkcija

$$z = f(A_1, B_1, C_1, D)$$

$$= \sum m(4, 5, 13, 14, 15) + \sum d(1, 3, 7, 8, 12)$$

	00	01	11	10	AB
00	1	X	X		
01	X	1	1		
11	X	X	1		
10			1		
CD					

Mimimizacija k tablicama

$$f = \sum m(2, 5, 7, 5) + \sum d(0, 1, 3, 4, 7, 9, 13, 14)$$

	00	01	11	10	AB
$f(A_1B_1C_1D_1)$	00	X	X		
	01	X	(1)	X	X
	11	X	X	1	
	10	1		X	
	CD				

$$f(A_1B_1C_1D_1) = \bar{A}\bar{B} + BD //$$

Quime-McCluskeyeva metoda

$$\Sigma f(A_1B_1C_1D_1) = \Sigma (1, 3, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 7, 5)$$

	A B C D	0000	1 : 1 ✓	1 : 1, 3 (2) ✓	1 : 1, 3, 9, 11 (2, 8)
0	0001 ✓	2 : 3 ✓		1, 5 (4) ✓	1, 5, 9, 13 (4, 8)
1	0010		, 5 ✓	1, 9 (8) ✓	1, 9, 3, 11 (8, 2)
2	0011 ✓		1, 6 ✓	2 : 3, 11 (8) ✓	1, 9, 5, 13 (8, 4)
3	0100		1, 9 ✓	5, 13 (8) ✓	2 : 9, 11, 13, 15 (2, 4)
4	0101 ✓		1, 12 ✓	6, 14 (8)	9, 13, 11, 15 (4, 2)
5	0110 ✓	3 : 11 ✓		9, 11 (2) ✓	12, 13, 14, 15 (1, 2)
6	0111		1, 13 ✓	9, 13 (4) ✓	12, 14, 13, 15 (2, 1)
7	1000		1, 14 ✓	12, 13 (1) ✓	
8	1001 ✓	4 : 15 ✓		12, 14 (2) ✓	
9	1010		3 : 11, 15 (4) ✓		
10	1011 ✓			13, 15 (2) ✓	
11	1100 ✓			14, 15 (1) ✓	
12	1101 ✓				
13	1110 ✓				
14	1111 ✓				

(elementi koji nisu kombinirani)

Rezultat prve faze - primalni članovi (implikanti)

$$Z = \{A_1, B_1, C_1, D\}$$

$$= \sum (1, 3, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 15)$$

$$6, 14 (8) \equiv a = BC\bar{D}$$

$$1, 3, 9, 11 (2, 8) \equiv b = \bar{B}D$$

$$1, 5, 9, 13 (4, 8) \equiv c = \bar{C}D$$

$$9, 11, 13, 15 (2, 4) \equiv d = AD$$

$$12, 13, 14, 15 (7, 2) \equiv e = AB$$

$$\{(A, B, C, D)\}$$

	00	01	11	10	AB
CD					
a					
00		X	X		e
01	X		X	X	b
11		X		X	
10	X		X		d

Druga faza

	1	3	5	6	9	11	12	13	14	15
$BC\bar{D}$	a			(X)					x	
$\bar{B}D$	b	x	(X)		x	x				
$\bar{C}D$	c	x		(X)	x			x		
AD	d				x	x	x		x	
AB	e						(X)	x	x	x
	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v

$$Z = a + b + c + e$$

$$= BC\bar{D} + \bar{B}D + \bar{C}D + AB$$

5) Implementacija logičkih sklopova

Interpretacija logičkih vrijednosti

- prikaz logičkih vrijednosti na pozitivnim razinama:

pozitivna logika:

vivi mapon ~ 1

nivi mapon ~ 0

negativna logika:

vivi mapon ~ 0

nivi mapon ~ 1

uz limiju signalot poznaka □

Elektronički elementi kao sklopke

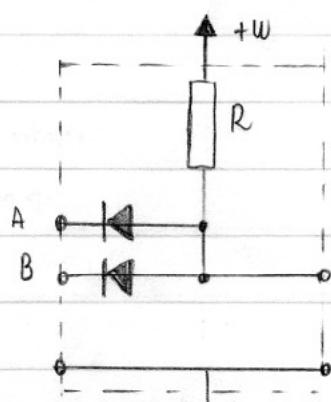
- dioda
- (NPN) bipolarni tranzistor
- m-kanalni MOSFET ; NMOS (Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor)
- p-kanalni MOSFET ; PMOS

Izvedbe logičkih sklopova I i IUI

- izvedba sklopa I (pozitivna logika)

$V \sim +U$ (diodna mreža)

$N \sim 0V$

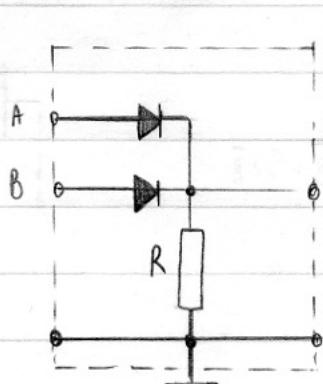


A	B	f
N	N	N
N	V	N
V	N	N
V	V	V

- izvedba sklopa IUI (poz. logika)

$V \sim +U$ (diodna mreža)

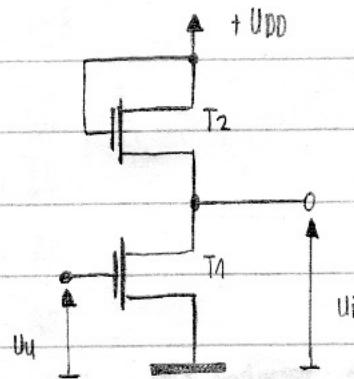
$N \sim 0V$



A	B	f
N	N	N
N	V	V
V	N	V
V	V	V

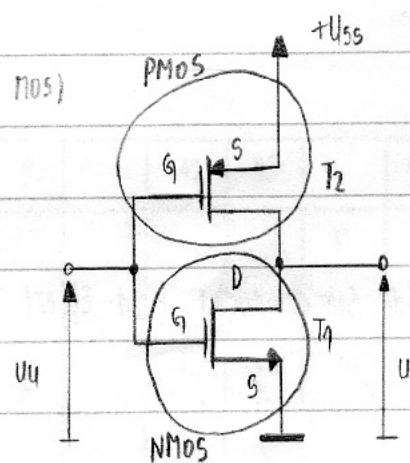
Izvedba inverzora

- izvedba inverzora s MOSFET (tipično n-kanalni, NMOS)



- izvedba inverzora s CMOS (Complementary MOS)

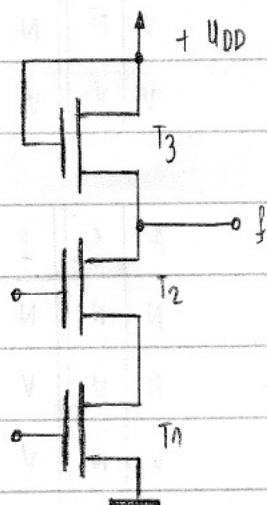
=> model sklopke "u protuspoju"



Izvedbe univerzalnih sklopova

- izvedba sklopa NI (pozitívna logika)

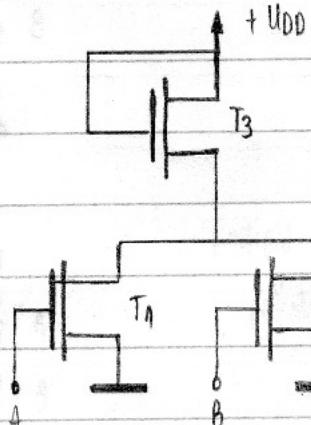
=> sérijský spoj tranzistorov (kaskoda)



$$f = \overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$$

- izvedba sklopa NLI (pozitívna logika)

=> paralelní spoj tranzistorů



6) Modeliranje jezikom VHDL

- Very high speed integrated circuits HDL
- HDL \Rightarrow Hardware Description Language

Opcionita strukturalna modelacija digitalnog sklopa

- entitet :

deklaracija entiteta \Rightarrow sučelje

arhitektura \Rightarrow unutarnje ostvarenje sklopa

Osnove sintakse jezika VHDL

- podatkovni objekti :

signali \Rightarrow logički signali (npr. vodovi digitalnog sklopa)

konstante \Rightarrow nepromjenjive vrijednosti kao pokrate, nisu vodovi digitalnog sklopa

varijable \Rightarrow "programska" pomagala

leksika imena podatkovnih objekata :

slova, znamenke, i podcrt -

me razlikuju se velika i mala slova !

moraju započeti slovom

ne smiju : biti ključne riječi VHDL-a

zavisavati podcrtom -

zadizavati dviye podcrite --

- dodjela vrijednosti \Rightarrow masedba pridruživanja :

pridruživanje vrijednosti signalu \Leftarrow

pridruživanje vrijednosti konstanti :=

pridruživanje vrijednosti varijabli :=

- operatori kombiniranja unutar mafedbe pribuzivanja :

izmedu pojedinih grupa postoje prioriteti !

memor prednosti operatora unutar pojedine grupe \Rightarrow potisiti zgrade !

prioritet	klasov operatora	operator
najviši	miješani operatori	*, /, abs, mod
	operatori množenja	* /, mod, rem
	operatori predznaka	+ -
	operatori izrajanja	, -, &
	relacijski operatori	=, !=, <, <=, >, >=
najniži	logički operatori	and, or, mand, nor, xor, xnor

- struktura VHDL opisa :

navođenje konštenih biblioteka

definiranje štaklja sklopa

definiranje arhitekture sklopa

Strukturalni opis

- stvaranje primjera/ komponente

(sklop) : entity (wotr. sklopNUT) port map (C, C-mot);

ime primjera
komponente

kujućna riječ

ime komponente

udruživanje signalova

(udruživanje mjestom)

udruživanje mjestom \Rightarrow redoslijed deklariranja pristupa u deklaraciji komponenti

udruživanje imenima \Rightarrow redoslijed navođenja signalova nije bitan

... port map (a => C-mot,

y => izlaz2,
b => d);

Paketi i biblioteke

- paketi \Rightarrow skladišta VHDL deklaracija opće namjene:

tipova i podtipova

konstanti

komponenti

signala

funkcija i procedura

primjer:

ieee.std_logic_1164

Biblioteke:

dodatno grupiranje jedinica VHDL koda

organizirane u podrazdelenosti dodatačnog sustava

druge vrste biblioteka:

sustavne (mpf. ieee)

korišćene (mpf. work)

primjer uključivanja paketa:

use ieee.std_logic_1164.all;

Istodobno pridruživanje

- maseba jednostavnog pridruživanja \Leftarrow
- maseba izbornog pridruživanja when ...
- maseba uvjetnog pridruživanja when ... else ...

Slijedno pridruživanje

- algoritamski pristup \Rightarrow bitan redoslijed izvršavanja
- obuhvaćanje blokom process begin -- slijedno izvršavanje ... end process;

masebe grananja process (a, b, k) begin if ... then ... else ... end if; end process;

vista osjetljivosti \Rightarrow popis signala kod čije će se promjene odnosni izraz ponud

masebe petlje \Rightarrow for i in 1 to 3 loop ... end loop;

7. Standardni kombinacijski moduli

- osnovivanje složenijih kombinacijskih funkcija:

dekoder i pretvornici koda

štupovi za odabir podataka

koder

komparator

antimediji moduli

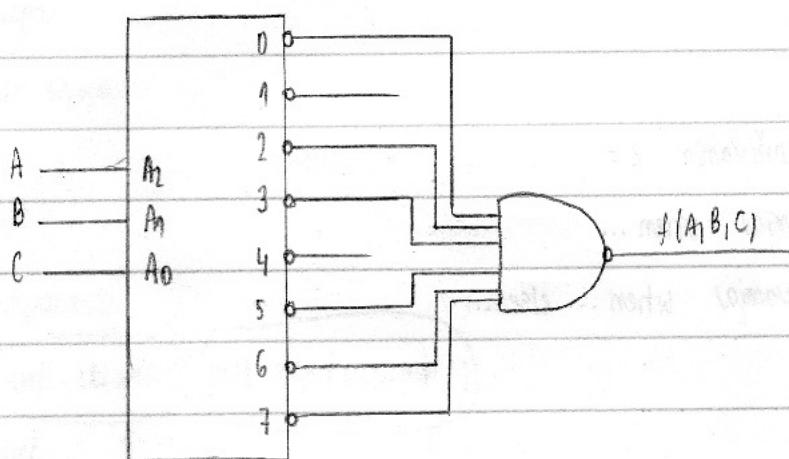
Deškoder

- funkcija deškodiranja \Rightarrow identificiranje podne njezi mekog koda

- aktiviran samo jedan izlaz, onaj koji "odgovara" maksimálnoj podnoj njezi

m ulaza $\rightarrow 2^m$ izlaza

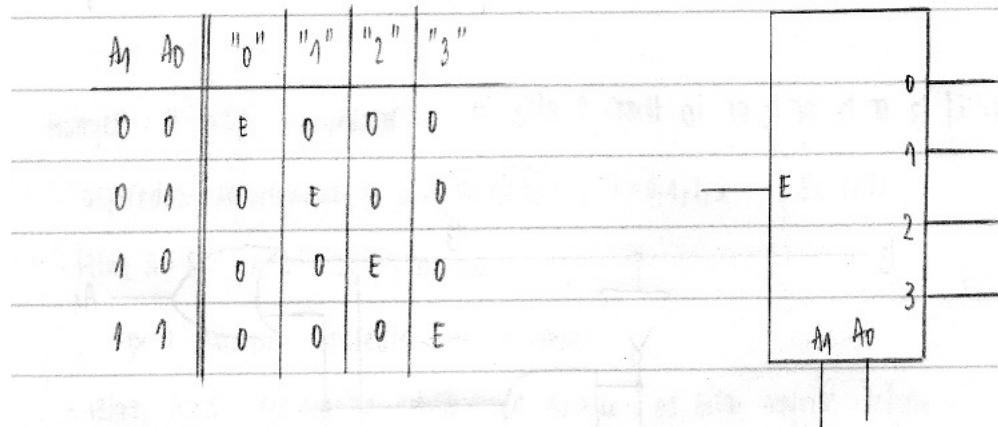
primjer: $f(A_1B_1C_1) = \sum m\{0, 2, 3, 5, 6, 7\} \rightarrow$ deškoder 3/8



Demultiplexor

- ulaz za omogućavanje dekodera \Rightarrow funkcija ulaza za podatke

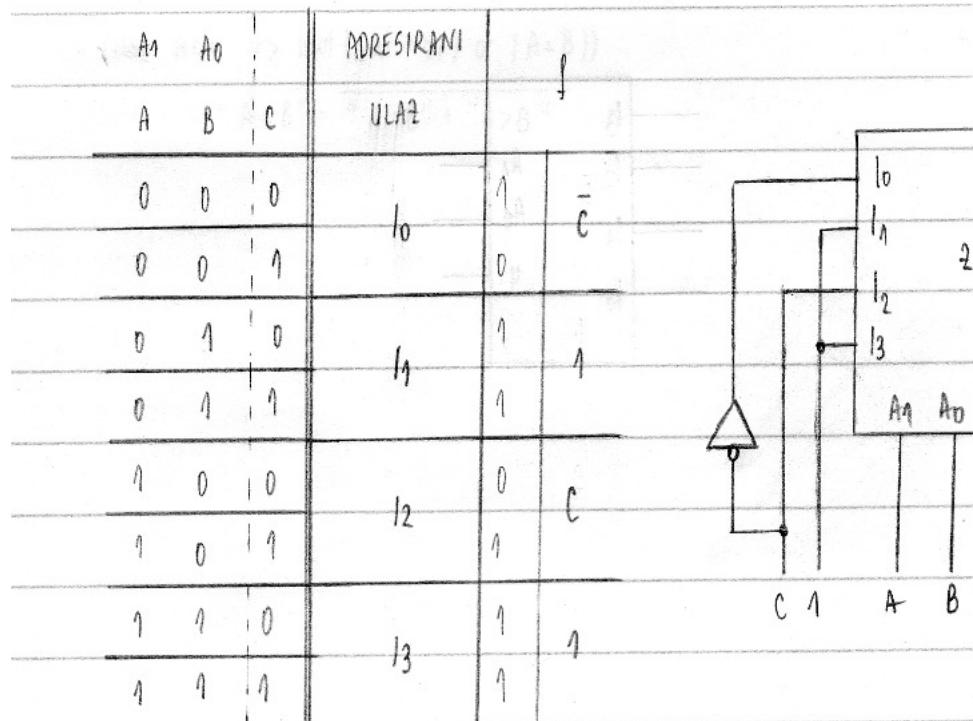
- "usmjeravanje" / "raspodjela" ulaza na odabranu izlaz \Rightarrow "demultiplexiranje"



Multiplexor

- "multiplexiranje" \Rightarrow odabir podataka

$$f(A_1 B_1 C) = \sum m(0, 2, 3, 5, 6, 7)$$



prioritetni koder

- funkcija kodiranja \Rightarrow generisanje binarne kodne riječi nekog koda

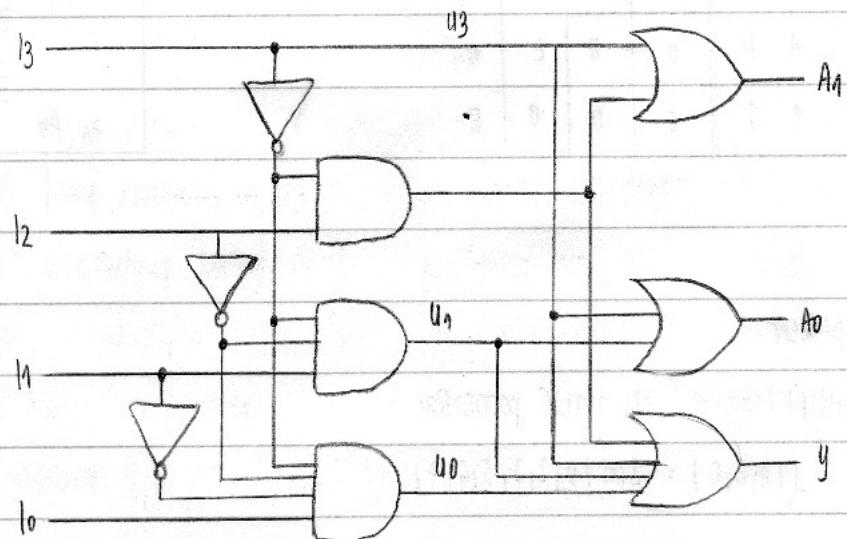
- aktivan samo jedan ulaz : 2^m ulaza $\rightarrow m$ izlaza \Rightarrow koder

- prioritetski koder \Rightarrow rješenje problema više aktivnih ulaza

djeli se ulaz najvišeg prioriteta

svi ulazi = 0 ? \Rightarrow poseban izlaz $y = \text{if } l_3 \text{ or } l_2 \text{ or } l_1 \text{ or } l_0 \text{ then } 1 \text{ else } 0$

l_3	l_2	l_1	l_0	A_1	A_0	y
0	0	0	0	X	X	0
0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	X	0	1	1
0	1	X	X	1	0	1
1	X	X	X	1	1	1



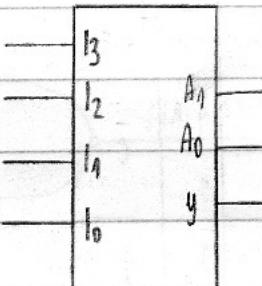
$$u_3 = l_3$$

$$u_2 = \bar{l}_3 \cdot l_2 \Rightarrow A_1 = u_3 + u_2$$

$$u_1 = \bar{l}_3 \cdot \bar{l}_2 \cdot l_1 \quad A_0 = u_3 + u_1$$

$$u_0 = \bar{l}_3 \cdot \bar{l}_2 \cdot \bar{l}_1 \cdot l_0$$

$$y = u_3 + u_2 + u_1 + u_0$$



Komparator

skup za usporedbu dva m-bitna broja (mpf. A i B)

- obično ujeli brojevi bez predznaka

- mogućnosti: $A=B$, $A>B$, $A<B$

primjer: 4-bitni komparator

- usporedba po bitovima: $u_i = \overline{a_i \oplus b_i}$, $i=0,1,2,3$ EX-NLU

- izlaz $A=B$: " $A=B$ " = $u_3 \cdot u_2 \cdot u_1 \cdot u_0$

\Rightarrow 1 funkcija usporedba po bitovima

- izlaz $A>B$ rezultivno utvrđivanje $a_i > b_i$, od bita majviše težine

$$"a_3 > b_3" = a_3 \cdot \overline{b_3}$$

$$"a_2 > b_2" = a_2 \cdot \overline{b_2} \cdot u_3$$

$$\Rightarrow "A > B" = "a_3 > b_3" + "a_2 > b_2" + "a_1 > b_1" + "a_0 > b_0"$$

$$"a_1 > b_1" = a_1 \cdot \overline{b_1} \cdot u_3 \cdot u_2$$

$$"a_0 > b_0" = a_0 \cdot \overline{b_0} \cdot u_3 \cdot u_2 \cdot u_1$$

- izlaz $A < B \Rightarrow \text{not } ((A_i > B_i) \text{ or } (A=B))$

$$"A < B" = "\text{not } (A=B)" + "\text{not } (A > B)"$$

⑧ Aritmetički sklopovi

- obavljanje aritmetičkih i logičkih operacija

- "radni" dio procesora \Rightarrow ALU

Gradac ALU:

binarno zbrojalo - zbrojavanje, oduzimanje, množenje, dijeljenje

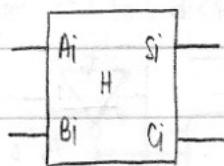
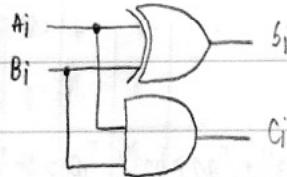
jedinicu za logičke operacije - I, ILI, NE, EX-ILI

sklop za posmak - množenje, dijeljenje

Binarno zbrojalo

- zbrojavanje dva bita

(poluzbrojalo)

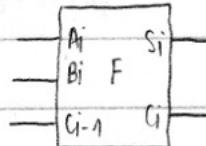


$$S_i = A_i \bar{B}_i + \bar{A}_i B_i = A_i \oplus B_i$$

$$C_i = A_i \cdot B_i$$

- zbrojavanje tri bita (potpuno zbrojalo):

kaskadiranje dva poluzbrojala

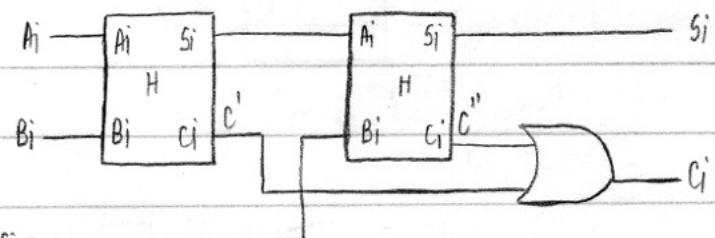


$$S' = A_i \oplus B_i$$

$$C' = A_i \cdot B_i$$

$$S_i = S' \oplus C_{i-1}$$

$$C_i = S' \cdot C_{i-1} + C' = C'' + C'$$



$$G_i = A_i B_i$$

$$P_i = A_i \oplus B_i$$

- višebitno paralelno zbrojalo

kaskadiranje (ostvarivanje m-bitnih zbrojala)

serijsko rasprostirivanje prijenosa (uspoređivanje rada) - rješenje je izdvajanje generisanja prijenosa $C_i = G_i + P_i \cdot C_{i-1}$

Zbrajanje u kodu

BCD kod

korekcijski pojav (aritmetičkog) preljeva:

$$12 \text{ 4-bitni prikaz} = -10 = -16 + 6$$

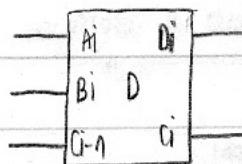
oduzimanje 10 = pribajanje 6

Bimerno oduzimanje

- potpuno odbijalo na macim potpunog zbrajala

$$d_i = s_i = A_i \oplus B_i \oplus G_{i-1}$$

$$G_i = \bar{A}_i B_i + (\bar{A}_i \oplus B_i) \cdot G_{i-1}$$



Bimerno množenje

$$M \times N = (M \cdot m_2 \cdot 2 + M \cdot m_1) \cdot 2 + M \cdot m_0, \quad m_i \in \{0, 1\}$$

Sklop za posmaku

logički \Rightarrow posmaku cijelih brojeva bez predznaka/uzorka bitova

posmaku udesno : umetanje 0 s lijeva

posmaku uljevo : umetanje 0 s desna

aritmetički \Rightarrow posmaku cijelih brojeva s predznakom

posmaku udesno : poravljanje najznačajnijeg bita (bita predznaka)

posmaku uljevo : umetanje 0 s desna

kružni \Rightarrow "rotiranje" bitovnog uzorka

posmaku udesno za k mjestu : posmaku uljevo za $(m-k)$ mjeseta (m - broj bitova nješi)

posmaku uljevo : posmaku u smjeru viših težina

⑨ Programirljivi moduli

⇒ programirljive maprave - PLD (Programmable Logic Devices)

- logički sklopovi (vrata)
- logički blokovi ⇒ skupovi logičkih sklopoval
- programirljive sklopke ⇒ tvornički izvedeni kontakti povezivanjem logičkih sklopoval

Podjela programirljivih modula

- jednostavni PLD (Simple PLD, 5PLD)

programirljivo logičko polje - PLA

poluprogramirljivo logičko polje - PAL

- složeni PLD ⇒ više programirljivo povezanih 5PLD u modulu (CPLD)

- programirljiva polja logičkih blokova ⇒ Field Programmable Gate Arrays (FPGA)

Permanentna memorija

⇒ sklop s permanentno upisanim sadržajem

- dva polja ⇒ izvođeno diodna matica:

ulazno ili dekodersko polje - generisanje potrebnog broja internih adresnih linija (1 polje)

izlazno ili kodesersko polje - generisanje bitova adresisane "nječi" ("podiranje" pojedinih simbola) (1 ili polje)

- broj memorijskih nječi = 2^m

- broj bitova / nječ = b

- kapacitet : $W = 2^m \times b$

Izveđbe - tehnologija :

ROM - bez mogućnosti programiranja (Read Only Memory)

PROM - s mogućnošću jednokratnog programiranja (Programmable ROM)

EPROM - s mogućnošću rišekratnog programiranja i brišanja UV snjetom (Erasable PROM)

EAROM, EEPROM - višekratno programiranje i brišanje električkim putem (Electrically Alterable ROM - EARM)

Programabilno logičko polje , PLA

- posebna logička struktura s obav programabiliva polja

- izvedba FPLA (Field-Programmable Logic Array) :

(višekratno) programiranje na licu mjestu

Potpriogramabilno logičko polje , PAL

- programira se samo 1 polje

- povećavanje fleksibilnosti \Rightarrow makrocijevi (dodatno sklopolije na izlazu ili sklopu)

Složeni programabilni moduli , CPLD

- programiranje u sustavu u kojem se koniste (In-System Programming , ISP)

Programabilno polje logičkih blokova , FPGA

- PLD za ostvarivanje relativno velikih digitalnih sklopova

Tipična struktura FPGA :

- LB organizirani u dvodimenzionsko polje

- WL blokovi za sučelje (s izradima IC)

- vodovi i programabilne sklopke

- "dodatačna logika" \Rightarrow makrocijevi

element za pамćenje (D bistabil : memorira 1 bit)

odabir izlaza - izlazni MUX

Programiranje FPGA - također ISP

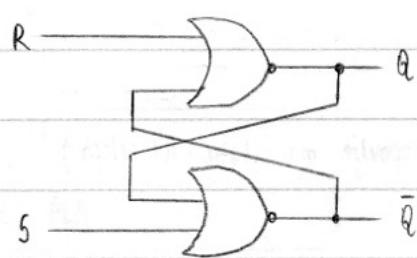
- memoriske cijevi LUT \Rightarrow nestalne (volatile) : (EA) ROM za pohranjivanje sadržaja LUT

- automatsko " punjenje " (loading) sa priblizom uključivanja učitaja

10. Bistabil (flip-flop)

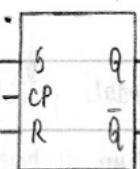
- karakteristični digitalni sklop (memorijski element)
- ostaje u jednom od dva moguća stanja i bez djelovanja vanjske pobude
- promjena stanja bistabila \Rightarrow okidanje impulsonom

Dynamski bistabil, SR



S	R	Q^{m+1}
0	0	Q^m
0	1	1
1	0	0
1	1	X

Simbol:



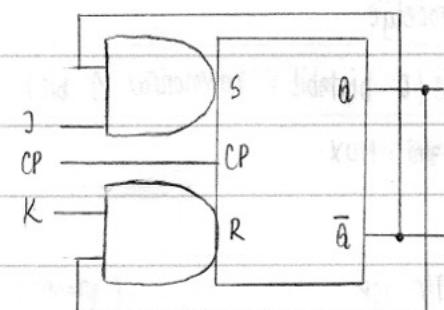
Q^m	Q^{m+1}	S	R
0	0	0	X
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	X	0

$$Q^{m+1} = S + \bar{R} \cdot Q^m$$

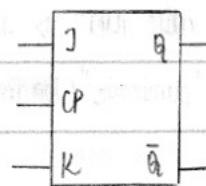
$$S \cdot R = 0$$

JK bistabil

J	K	Q^{m+1}	Q^m	Q^{m+1}	J	K
0	0	Q^m	0	0	0	X
0	1	0	0	1	1	X
1	0	1	1	0	X	1
1	1	\bar{Q}^m	1	1	X	0



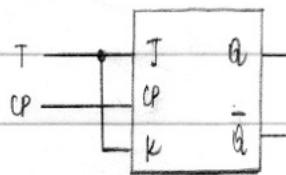
Simbol:



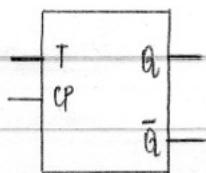
$$Q^{m+1} = J \cdot \bar{Q}^m + \bar{K} \cdot Q^m$$

T bistabil (toggle) - samo mijenja stanje

T	Q^{m+1}	Q^m	\bar{Q}^m	T
0	Q^m	0	0	0
1	\bar{Q}^m	0	1	1
		1	0	1
		1	1	0



jednostavno se dobiva
iz JK bistabila



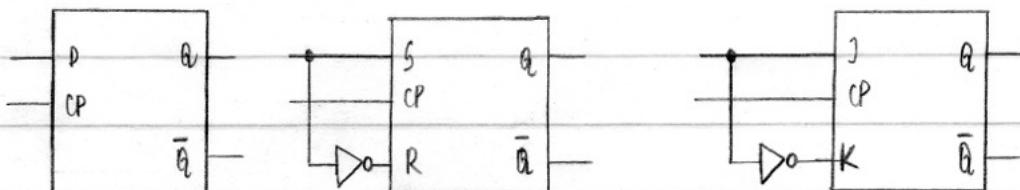
$$Q^{m+1} = \bar{T} \cdot Q^m + T \cdot \bar{Q}^m$$

$$\bar{Q}^{m+1} = \bar{T} \cdot \bar{Q}^m + T \cdot Q^m$$

D bistabil (delay)

J	K	Q^{m+1}	D	Q^{m+1}	Q^m	\bar{Q}^m	D
0	0	Q^m	0	0	0	0	pariti podatak manjunut
0	1	0	1	1	0	1	na ulazu
1	0	1	1	0	1	0	
1	1	\bar{Q}^m	$Q^{m+1} = D^m$	1	1	1	

pariti podatak manjunut
na ulazu



(M) sekvenički sklopovi

- digitalni sklopovi koji imaju sposobnost pamténja

Definicije

- strojevi stanja : m bistabila $\rightarrow 2^m$ stanja

- strojevi s končnim brojem stanja : Mooreov stroj, Mealyjev stroj

- algoritamski stroj stanja \Rightarrow sljedci operacija u sekveničkom sklopu (ugrađeni algoritam)

- automat \Rightarrow digitalni automat, končni automat

Simroni sekvenički sklopovi

- rad (promjena stanja) simroniziran s impulsima CP

Mooreov model - izlaz ovisi samo o unutarnjem stanju

Mealyjev model - izlaz ovisi o unutarnjem stanju i o ulazu

mješoviti model - izdujeni izlazi Mooreovog i Mealyjevog modela

Mimimiziranje memorije (Huffman-Mealyjeva metoda)

- klasa ekvivalentnih (međuslučnih) stanja zamjenjuje unutarnja stanja

\Rightarrow nastaje automat s reduciranim brojem unutarnjih stanja (mimimizirana memorija)

- stanja u istoj klasi imaju iste izlaze

- algoritam dalje dijeli dobivene klase na podklase, tako da stanja iz iste klase prelaze u ekvivalentna stanja/klasu

Kodiranje stanja

pridruživanje binarne kodne riječi pojedinom stanju

trivijalno kodiranje \Rightarrow prirodnim binarnim kodom

sekvenički moduli - cijelne koje sadrže kombinacijski sklop/memoriju (mz/skup bistabila ili registora)

standardni moduli (n-bitni) : brojila, registri

univerzalni moduli - ostvarivanje proizvoljnih sekveničkih sklopoval

Analiza sekveničkih sklopova - simfoni sekvenički sklop

- ponašanje (rad) postojecog sklopa

- formalni opis :

tablica stanja - prijelazi u sljedeća stanja, izlazi

dijagram stanja - grafički prikaz tablice stanja

jednadžbe stanja - opis uvjeta za promjenu stanja bistabila

$$B_i^{m+1} = f(B_0^m, B_1^m, \dots, B_{T-1}^m, X_0, \dots, X_{t-1})$$

Vremenski odnosi u sekveničkom sklopu

- dve značajne veličine :

maksimalna frekvencija rada sekv. sklopa - majveća frekvencija CP

rastvorak, razdešenost ritma - majveće dozvoljeno raširenje vrednosti bistabila u sklopu

(12) Standardni sekv. moduli

- m-bitni moduli \Rightarrow m bistabila

- pohranjivanje podataka \Rightarrow registri

- brojanje \Rightarrow brojila

Registri u užem smislu

- pohranjivanje višebitnih podataka \Rightarrow registriranje

- uređeni skup nepovezanih bistabila \Rightarrow paralelni upis i ispis (čitanje) podataka

Pomoćni registri

- serijski upis i ispis \Rightarrow pomicanje (bitova) podataka od ulaza prema izlazu

- izlaz prethodnog bistabila može ulaz sljedećeg po redu

- ispravnost upisa \Rightarrow osigurati kašnjenje između bistabila

- uobičajeni smjer posmatra je madesno (prema "normalnom" izlazu), može i maljivo, ili kombinacija (dvostruki)

Brojila

- pod utjecajem ulaznih impulsa (obično CP) prolazi kroz utvrđeni niz stanja i vraća u početno stanje
- ciklus brojanja \Rightarrow niz stanja kroz koje brojilo prolazi
- sklop "broji" ulazne impulse, koji ne moraju biti periodički
- bazal brojanja \Rightarrow baza brojevog sustava u kojem brojilo broji (broj stanja u ciklusu brojanja)
- brojanje u "modulu" - stanje brojila je ostatak cijelobrojnog dijeljenja bazom

Osnovna funkcionalna podjela brojila

- brojila u užem smislu \Rightarrow važan je redoslijed izmjene stanja u ciklusu i mogućnost ispravnog čitanja (dekodiranja) svakog stanja : counters
- djelitelji frekvencije (scalers) \Rightarrow važan samo broj stanja, me i redoslijed mijenjene

Vremenski odnosi prilikom promjene stanja

- sinkroni brojila \Rightarrow (svi) bistabili mijenjaju stanja sinhrono s malaskom ulaznim impulsom (takta)
- asinkroni brojila \Rightarrow promjena stanja prvog bistabila uzdržuje seriju promjenu stanja sljedećih u mizu čitanje (dekodiranje) stanja - tipični problemi
serijsko okidanje bistabila : transiente pogreška dekodiranja \Rightarrow pojava hazarda
potpuno dekodiranje \Rightarrow dekodiranje svih 2^n stanja

bimarno brojilo - brojilo broji u bimarnom brojevnom sustavu

reversno (bimarno) brojilo - brojilo unatrag (smanjivanje sadržaja brojila)

brojilo naprijed-matlag \Rightarrow up-down counter (daje veću fleksibilnost)

Generatori sekvencije

- generiranje propisane sekvencije bitova \Rightarrow ponavlja se
- duljina sekvencije \Rightarrow broj uzastopnih bitova, koji se ponavljaju
- sekvencija \Rightarrow izlaz posmatračnog registra

Primjena generatora sekvencije

- generiranje pseudoslučajne sekvencije bitova (Pseudo-Random Sequence Generator)

čitanje stanja posmatračnog registra \Rightarrow generator pseudoslučajnih brojeva (PRNG)

Memorija

- digitalni (pod) sustav za pамćenje većeg broja podataka

- osnovna jedinica informacije \Rightarrow memorijskav rječ

- paralelni pristup podatima \Rightarrow paralelno svakoj rječi

- serijski pristup podatima \Rightarrow serijski po rječima (i bitovima)

čitanje i pisanje:

RAM - "upisno-ispisne memorije" (memorije promjenjivog sadržaja)

ROM - ispisne memorije (permanente memorije)

13.) Svečanje s analognom elektronikom

na ulazu digitalnog sustava \Rightarrow uzorkovanje + kvantizacija (ADC)

na izlazu digitalnog sustava \Rightarrow broj daje (analogni) napon (DAC)

Parametri pretvorbe

rezolucija (razlučivanje)

točnost \Rightarrow mjeru za razliku stvarnog analognog izlaza i izlaza u idealnom slučaju

pogreška kvantizacije \Rightarrow rezultat diskretnog karaktera procesa konverzije

vrijeme pretvorbe \Rightarrow od početka konverzije do pojave konacne vrijednosti na izlazu