



7. Aritmetički sklopovi (1)



Sadržaj predavanja

- **binarno zbrajalo**
 - poluzbrajalo
 - potpuno zbrajalo
 - višebitno paralelno zbrajalo
 - izdvojeno generiranje prijenosa
 - MSI izvedbe
 - akumulator
- zbrajanje u kodu
- binarno oduzimanje
- binarno množenje
- sklop za posmak

Aritmetički sklopovi

- značajna funkcija digitalnog sustava
~ "obrada podataka":
obavljanje aritmetičkih i logičkih operacija
- važni podsustav
~ *procesor*:
 - obavljanje operacija
 - cijeli brojevi (engl. integers)
 - miješani (racionalni) brojevi
 - glavni registri
 - upravljačka jedinica
- algoritmi digitalne aritmetike



Aritmetički sklopovi

- "radni" dio procesora
 - ~ aritmetičko-logička jedinica, ALU (engl. Arithmetic-Logic Unit):
 - osnovna izvedba
 - ~ operacije nad cijelim brojevima
 - građa ALU:
 - binarno zbrajalo
 - ~ zbrajanje, oduzimanje, množenje, dijeljenje
 - jedinica za logičke operacije
 - ~ I, ILI, NE, EX-ILI
 - sklop za posmak
 - ~ množenje, dijeljenje

Binarno zbrajalo

- osnovni algoritam *binarnog* zbrajanja
~ zbrajanje *dva* bita

$a_i \backslash b_i$	0	1
0	0	1
1	1	10



A_i	B_i	2^0	2^1
		S_i	C_i
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

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

$$C_i = A_i \cdot B_i$$

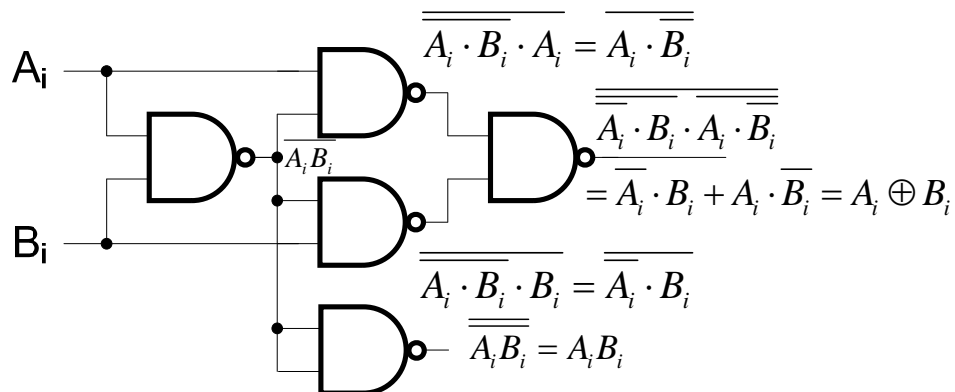
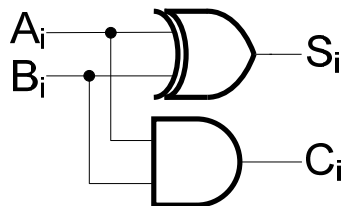
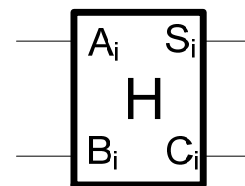
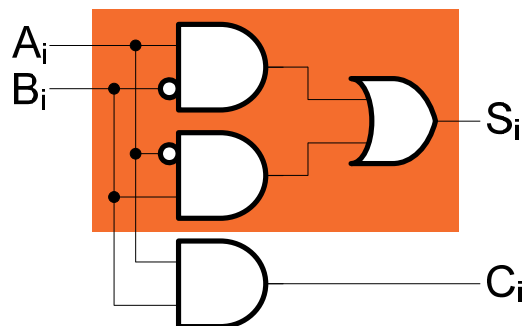
Binarno zbrajalo

- sklopovska izvedba zbrajanja dva bita
 \sim *poluzbrajalo* (engl. half-adder)

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

$$= A_i \oplus B_i$$

$$C_i = A_i \cdot B_i$$



Binarno zbrajalo

- zbrajanje s prijenosom
~ zbrajanje *tri* bita

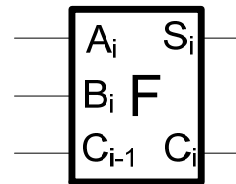
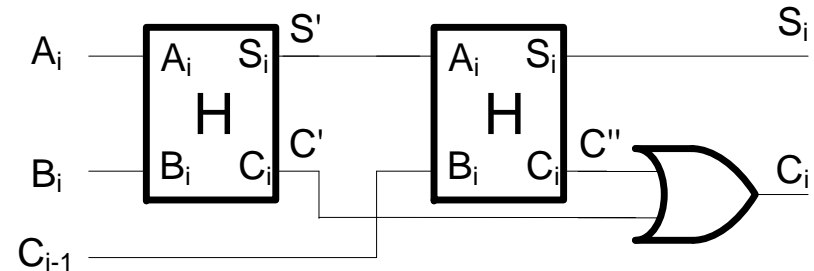
A_i	B_i	C_{i-1}	S_i	C_i
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

$$\begin{aligned} S_i &= \overline{A_i} \overline{B_i} C_{i-1} + \overline{A_i} B_i \overline{C_{i-1}} + A_i \overline{B_i} \overline{C_{i-1}} + A_i B_i C_{i-1} \\ &= (\overline{A_i} \overline{B_i} + A_i B_i) \cdot C_{i-1} + (\overline{A_i} B_i + A_i \overline{B_i}) \cdot \overline{C_{i-1}} \\ &= (\overline{A_i \oplus B_i}) \cdot C_{i-1} + (A_i \oplus B_i) \cdot \overline{C_{i-1}} \\ &= (A_i \oplus B_i) \oplus C_{i-1} \\ &= A_i \oplus B_i \oplus C_{i-1} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} C_i &= \overline{A_i} B_i C_{i-1} + A_i \overline{B_i} C_{i-1} + A_i B_i \overline{C_{i-1}} + A_i B_i C_{i-1} \\ &= (\overline{A_i} B_i + A_i \overline{B_i}) \cdot C_{i-1} + A_i B_i \\ &= (A_i \oplus B_i) \cdot C_{i-1} + A_i B_i \end{aligned}$$

Binarno zbrajalo

- sklopovska izvedba zbrajanja tri bita
~ *potpuno zbrajalo* (engl. full-adder):
kaskadiranje dva poluzbrajala!

$$\begin{aligned} S' &= A_i \oplus B_i \\ C' &= A_i \cdot B_i \\ \hline S_i &= S' \oplus C_{i-1} \\ C_i &= S' \cdot C_{i-1} + C' \\ &= C'' + C' \end{aligned}$$



Binarno zbrajalo

- VHDL *ponašajni* model potpunog zbrajala

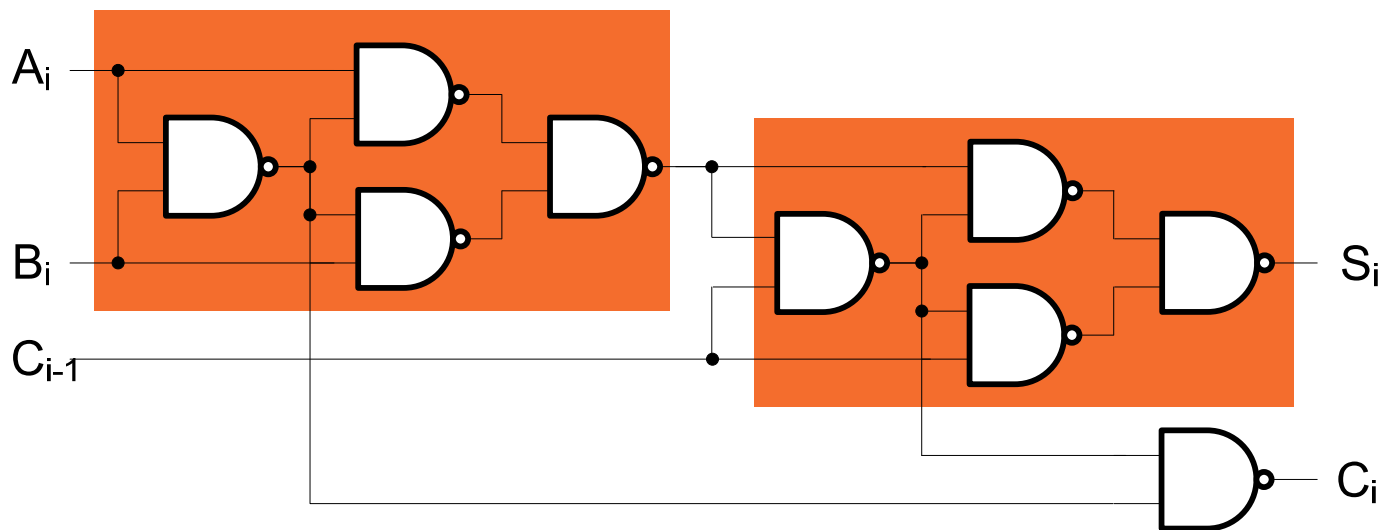
```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;

entity potpunoZbrajalo is
    port (a, b, cin: in std_logic;
          s, cout: out std_logic);
end potpunoZbrajalo;

architecture ponasajna of potpunoZbrajalo is
    begin
        s <= a xor b xor cin;
        cout <= (a and b) or (a and cin) or (b and cin);
    end ponasajna;
```

Binarno zbrajalo

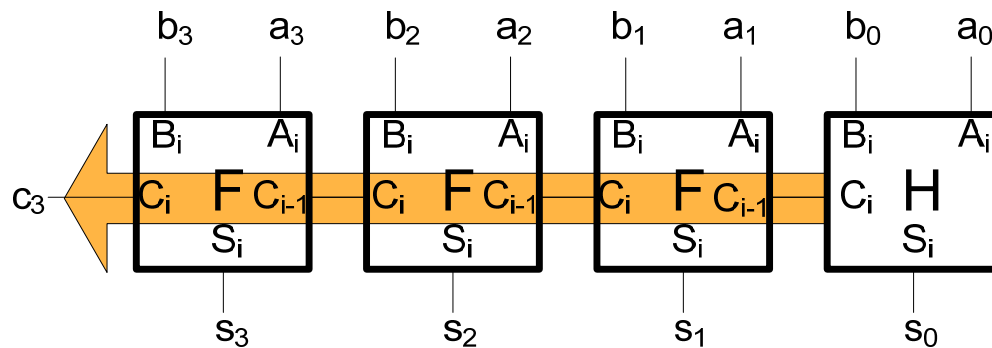
- izvedba potpunog zbrajala
samo sklopovima NI s 2 ulaza
~ C_i samo jednim dodatnim NI s 2 ulaza



$$\begin{aligned} C_i &= \overline{\overline{(A_i \oplus B_i)} \cdot C_{i-1} \cdot A_i B_i} \\ &= (A_i \oplus B_i) \cdot C_{i-1} + A_i B_i \end{aligned}$$

Binarno zbrajalo

- zbrajanje *više-bitnih* brojeva
~ *iteriranje* (jednobitnih) potpunih zbrajala:
 - iteriranje u prostoru
 - *paralelno* izvršavanje operacije zbrajanja
 - ipak se prijenos širi "serijski" (engl. ripple carry)
 - a_0 PLUS b_0
~ potpuno zbrajalo (uz $C_{i-1} = 0$)



- U. Peruško, V. Glavinić: *Digitalni sustavi*, Poglavlje 7:
Standardni kombinacijski moduli.
- binarno zbrajalo
(poluzbrajalo i potpuno zbrajalo): str. 287-290



Zadaci za vježbu (1)

- U. Peruško, V. Glavinić: *Digitalni sustavi*, Poglavlje 7:
Standardni kombinacijski moduli.
- binarno zbrajalo
(poluzbrajalo i potpuno zbrajalo): 7.35-7.37, 7.48-7.50



Zadaci za vježbu (2)

- M. Čupić: *Digitalna elektronika i digitalna logika. Zbirka riješenih zadataka*, Cjelina 8: Digitalna aritmetika. Cjelina 6: Standardni programirljivi moduli.
- binarno zbrajalo
(poluzbrajalo i potpuno zbrajalo):
 - riješeni zadaci: 8.15, 8.16, 6.12