Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Digitális technika VIMIAA02

2. EA

Fehér Béla, Benesóczky Zoltán
BME MIT

Digitális technika

Adatábrázolás *kódokkal*

- A digitális információfeldolgozó gépek bemenetükre érkező információt **bináris kód**ként kapják.
  - **Aritmetikai kódok** (számok)
    - Akkor alkalmazzuk, ha **a kódolt információnak nagysága van**. Pl. Fizikai mennyiség (feszültség, hőmérséklet, stb.) kódolása.
    - Ilyenkor **összehasonlíthatók és aritmetikai műveletek végezhetők közöttük**.
    - Analóg jelből analóg/digitális konverzióval (A/D konverter) állítják elő.
  - **Egyéb jelek, kódok** (nem, vagy korlátozottan végezhető aritmetika művelet)
    - Nyomógomb állapota, határérték túllépése (1 biten kódolhatók).
    - Halmaz elemeinek megkülönböztetése. (Pl. alma:00, körte:01, sárgabarack:10, őszibarack:11)
    - Közlekedési lámpa állapotai (**PSZ**: 100, 110,001,010)
    - Karakterek kódolása (Pl. ASCII kód, 8 bites, sorbarendezésre alkalmas)
    - Speciális egyéb kódok (nem részletezzük)

Számábrázolási módszerek

- A megszokott **súlyzott helyiértékes (pozicionális) számrendszerek**ben, megegyezés szerint, a balról jobbra egymás után a leírt számok **i**-edik számjegyének ($\boldsymbol{d_i}$) *értéke* ***r*** alapú számrendszerben:
  $\boldsymbol{d_i * r^i}$ **(**Pl. **9**35-ben a 2. számjegy értéke $9*10^2$)
- A $\boldsymbol{d_i}$ számjegyek a **0-tól a r-1** értékűek lehetnek:
  $\boldsymbol{d_i \in \{0,1...r-1\}}$ **(**Pl. 10-es számrendszerben $d_i \in \{0,1...9\}$)
- $\boldsymbol{r^i}$-t a $\boldsymbol{d_i}$ számjegy **súlyának** nevezik.
- A teljes szám értéke a $\boldsymbol{d_i * ri}$–k összege: **(Pl.** $\mathbf{935_{10} = 9*10^2 + 3*10^{1+} 5*10^0}$**)**
  $\boldsymbol{D=d_{N-1}*r^{N-1}+d_{N-2}*r^{N-2}+\ldots..+d_2*r^2+d_1*r^1+d_0*r^0}$

  Rövid matematikai alakban: $$\boldsymbol{D = \sum_{i=0}^{N-1} d_i * r^i}$$

A fenti képletet tetszőleges számrendszerű szám decimális konverziójára szoktuk használni.

Számábrázolási módszerek

- **Digitális technikában fontos számrendszerek**
- **Tízes/Decimális/Dekadikus** **r = 10**

  d_i = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,
- **Kettes/Bináris** **r = 2**

  d_i = 0, 1, (a nevük bit, **bi**nary digi**t == bit)**
- **Tizenhatos/Hexadecimális** **r = 16**
  - A számjegyek 9-ig a megszokottak, utána az ABC betűit használják az A-tól kezdve (10:A, 11:B,...15:F).

    d_i = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F

    d_i = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, a, b, c, d, e, f
  - A számjegyek fenti szimbólumait a digitális gépek bináris bitsorozatokkal reprezentálják.

Konverzió számrendszerek között

- **A Bináris → Decimális konverzió**

  - A már ismert képletet használjuk r=2 esetére:

$$D = \sum_{i=0}^{N-1} d_i * 2^i$$

$$1110_2 = 1*2^3 + 1*2^2 + 1*2^1 + 0*2^0 =$$

$$= 8 + 4 + 2 + 0 = 14_{10}$$

Tehát $1110_2 = 14$

Verilogban a fenti szám 2-es számrendszerben:

4 biten **4'b1110** *8 biten* **8'b00001110** vagy **8'b0000_1110** (az aláhúzás jellel tagolhatjuk), vagy **8'b1110** (a vezető 0-ák elhagyhatók)

Konverzió számrendszerek között

- **Hexadecimális → Decimális konverzió**
  - A már ismert képletet használjuk r=16 esetére:

$$D = \sum_{i=0}^{N-1} d_i * 16^i$$

$1A0_{16} = 1*16^2 + 10*16^1 + 0*16^0 =$

$= 1*256 + 10*16 + 0*1 = 416_{10}$

Tehát $\mathbf{1A0_{16} = 416}$

(A szám számrendszerét sokszor a szám utáni alsó index-szel jelöljük, de 10-es számrendszer esetén nem szokás kitenni.)

Verilogban (előjel nélküli egyész számok estén):

<bitek_száma>'<számrendszer><numerikus_konstans>

A ***16-os*** számrnedszer jele: **h**, a ***bináris*** számrendszeré: **b**

pl. A 12 biten ábrázolt $1A0_{16}$ Verilogban **12'h1A0**

Konverzió számrendszerek között

- **Hexadecimális → Bináris konverzió**

Mivel 16 = 2^4, 1 db hexadecimális számjegy 4 bináris digit (bit)
Most felírjuk **a hexidecimális számjegyek értékét 4 bites bináris számokként**:

$0_{16} = 0000_2$ $1_{16} = 0001_2$ $2_{16} = 0010_2$ $3_{16} = 0011_2$ $4_{16} = 0100_2$ $5_{16} = 0101_2$ $6_{16} = 0110_2$ $7_{16} = 0111_2$ $8_{16} = 1000_2$ $9_{16} = 1001_2$ A_{16} (10) = 1010_2, B_{16} (11) = 1011_2 , C_{16} (12) = 1100_2 D_{16} (13) = 1101_2 E_{16} (14) = 1110_2 F_{16} (15) = 1111_2

A konverzió során egyszerűen **a hexadecimális számjegyeket a számjeggyel egyező értékű 4 bites bináris számra kell cserélni**:

2_{16} A_{16}

Pl. $2A_{16} = 00101010_2$

A vezető (bal oldali) 0-ákat elhagyhatjuk: 101010

Konverzió számrendszerek között

- **Bináris → Hexadecimális konverzió**

  Ha a bináris szám bitszáma nem 4 többszöröse, akkor először balról kiegészítjük megfelelő számú 0-val.

  Ezután **4 bites csoportokat képzünk**, majd a 4 bites bináris számokat a **hexadecimális megfelelőjükkel helyettesítjük**.

  Pl. 101101101_2

  Kiegészítés 0-kkal a baloldalon és 4-es csoportok képzése:

  0001_0110_1101

  Hexa számjegyek hozzárendelése: **1 6 D**

  Tehát $\mathbf{1\_0110\_1101_2 = 16D_{16}}$

Konverzió számrendszerek között

A Decimális → Bináris konverzió

- Az eddigieknél bonyolultabb az algoritmusa.
- A konvertálandó decimális számot **addig kell osztogatni 2-vel, amíg nullává nem válik a hányados**.
- Az egyes **osztások maradékai adják a bináris szám bitjeit, a legkisebb** (0.) **bittől** (Least Significant Bit, **LSB**) **kezdődően**.
  - Pl. 13_{10} átalakítása:

osztandó	osztó	hányados	maradék
13	2	6	**1 (LSB)**
6	2	3	**0**
3	2	1	**1**
1	2	0	**1**

  - Az eredmény: $\mathbf{13_{10} = 1101_2}$

Digitális technika

- **Néhány fontosabb bináris érték**

2^7	2^8	2^{10}	2^{16}	2^{20}	2^{30}	2^{32}
128	256	1024	65536	1048576	1073741824	4294967296
~száz		~ezer		~millió	~milliárd	

- Apró kellemetlenség, $1000 \neq 1024$ ($10^3 \neq 2^{10}$)
- A korábban elterjedt k, M, G, T nagyságrendi jelölések nem teljesen precízek.

SI (decimális)				IEC (bináris)			
jel	név	érték		jel	név	érték	
k	kilo	10^3	1000^1	Ki	kibi	2^{10}	1024^1
M	mega	10^6	1000^2	Mi	mebi	2^{20}	1024^2
G	giga	10^9	1000^3	Gi	gibi	2^{30}	1024^3
T	tera	10^{12}	1000^4	Ti	tebi	2^{40}	1024^4

- Az új szabványos jelölés lassan terjed, mi is nehezen tanuljuk, de egy informatikusnak illik tudni róla.

Műveletek bináris számokkal

- **Bináris pozitív egész számok**
  - A pozitív egész bináris számokat előjel nélküli bináris számoknak is szokás nevezni.
  - **N** biten, a **pozitív egészek értéktartománya 0-tól 2^N-1** terjed. (Pl. 8 biten 0-tól 255, 16 biten 0-65535)
- **Aritmetikai műveletek**
  - **Bináris összeadás**

    Szabályok 1 bites operandusokra:

    0 + 0 = 0, 1 + 0 = 0 +1 = 1, 1 + 1 = 10, ahol az 1 az átvitel a következő helyiértékre. (Úgy is mondhatjuk, hogy **1 + 1 = 0 maradt az 1**)
    - Példa: 6 + 3 = 9, 4 biten
    - Átvitel a 2. és a 3. pozíción
    - Túl nagy számok esetén az eredmény nem fér el a rendelkezésre álló számú biten. (Pl. 9 + 8 = 17)

	1	1				
	0	1	1	0		6
+	0	0	1	1	+	3
	1	0	0	1		9

Műveletek bináris számokkal

Bináris szorzás

- **Szabályok egy bites operandusokra**. (Ez a Boole algebrai szorzás művelet, vagyis ÉS, AND):
  0 * 0 = 0, 1 * 0 = 0, 0 * 1 = 0, 1 * 1 = 1
- Bináris számoknál **a szorzó és szorzandó számjegyei 2 hatványok**. Ezért **fontos a 2-vel és 2 hatvánnyal szorzás szabálya**.
- A 2-vel szorzás után az egyes számjegyek (digitek, d_{Ni}) 1-el nagyobb hatvánnyal szorzódnak mint a szorzás előtt és a legkisebb számjegy 0 lesz:
- $N*2 = (d_{Nn-1}*2^{n-1} + ... + d_{N1}*2^1 + d_{N0}*2^0)*2 =$

  $= d_{Nn-1}*2^n + d_{Nn-2}*2^{n-1} + ... + d_{N1}*2^2 + d_{N0}*2^1 + \mathbf{0*2^0}$

  Pl. 0011*10 = 0110 (3*2 = 6)
- **2-es számrendszerben egy N szám 2-vel szorzásnál 1-el balra toljuk (shifteljük) a számjegyeket és a legkisebb számjegy 0 lesz.**
- **2-es számrendszerben egy N szám 2^k –al szorzása k-szori balra shiftelésnek felel meg és jobbról k darab 0 lép be.**

  Pl. 0101*1000 = 0101000

  5 * 8 = 40

Műveletek bináris számokkal

N szorozva M, ahol $M = d_{Mn}*2^{n\cdots} + d_{M1}*2^1 + d_{M0}*2^0$ $d_i \in \{0,1\}$ számmal.

$N*M = N*d_{Mn}*2^{n\cdots} + N*d_{M1}*2^1 + N*d_{M0}*2^0$

A szorzás i-edik lépésében **ha a szorzó i-edik számjegye $d_{Mi} = 1$, akkor a szorzandó (N) i-szer balra shifteltjét (2^i-szeresét) hozzáadjuk az eddigi szorzatösszeghez**. Ha $d_i = 0$, akkor 0-át adunk hozzá (semmit nem csinálunk).

Az eredmény 2 db k-bites szám esetén maximum 2*k bites lehet.
(pl. 11*11=1001, 3*3=9)

Példa: $14_{10} * 10_{10} = 140_{10}$

4 bites bináris számokkal, ***a szorzó legkisebb bitjével (LSB)kezdve***:

	1110 * 1010	részösszegek 10-es számrendszerben mutatva
+	0000	0. résszorzat: **0***1*14 = 0
+	11100	1. résszorzat : **1***2*14 = 28
+	000000	2. résszorzat : **0***4*14 = 0
+	1110000	3. résszorzat : **1***8*14 = 112

$=\mathbf{10001100}_2 = 128_{10} + 8_{10} + 4_{10} = 140$

Műveletek bináris számokkal

Példa:

4 bites bináris számokkal, **a szorzó legnagyobb helyiértékű bitjével kezdve (MSB) kezdve**:

	1110 * 1010	részösszegek 10-es számrendszerben mutatva
+	1110000	0. résszorzat : **1***8*14 = 112
+	000000	1. résszorzat : **0***4*14 = 0
+	11100	2. résszorzat : **1***2*14 = 28
+	0000	3. résszorzat : **0***1*14 = 0

= $\mathbf{10001100}_2 = 128_{10} + 8_{10} + 4_{10} = 140$

Előjeles számábrázolás

- Eddig csak pozitív egész számokkal foglalkoztunk, azonban negatív számokra is szükségünk van.
- **Előjeles számok**
  - Normál jelölésben van előjel (+ **és** - jel, előbbit nem szoktuk jelölni)
  - Bináris számoknál csak „0” és „1” szimbólum van.
  - A bináris előjeles számok ábrázolására több formátum is létezik (pl. 1-es komplemens, **2-es komplemens**, offset stb.).
  - Mi ezekből csak a **kettes komplemens** számábrázolással foglalkozunk részletesen. Ezt **2’s C**-vel is szokás jelölni.

Előjeles számábrázolás

- **Egyes komplemens (1's C)**
  - Képzési szabálya (egy szám -1-szerese): Minden bináris számjegyet invertálunk (0→1,1→0)
- **Kettes komplemens (2's C)**
  - Képzési szabálya (egy szám -1-szerese): **Minden bitet invertálunk** (1's C) majd az így kapott számhoz **hozzáadunk 1-et** és csak **az eredeti számú bitet őrizzük meg.**
- Pl. +3: **0011** invertálás: 1100

  1 hozzáadása: + 0001

  $\mathbf{1101}_2 = -3_{10}$

Mégegyszer alkalmazva visszakapjuk az eredeti számot.

1101 inv→ 0010 +1 → **0011**

Bináris	2's C
0111	+7
0110	+6
0101	+5
0100	+4
0011	+3
0010	+2
0001	+1
0000	0
1111	-1
1110	-2
1101	-3
1100	-4
1011	-5
1010	-6
1001	-7
1000	-8

Előjeles számábrázolás

- **Kettes komplemens számábrázolás**
  - A pozícionális számábrázolás definíciója alapján:

$$D = -b_{N-1} * 2^{N-1} + \sum_{i=0}^{N-2} b_i * 2^i$$

  - b_{N-1} a legnagyobb helyiértékű bit (MSB), b_i pedig a többi bit.
  - Az MSB negatív értékű, ha nem nulla. Másképp fogalmazva $\boldsymbol{b_{N-1}}$ **az előjel bit**. A szám pozítív vagy 0, ha $b_{N-1} = 0$, a szám negatív, ha $b_{N-1} = 1$
  - N biten a számábrázolási tartomány: -2^{N-1}... $(+2^{N-1} -1)$

    Pl. 4 biten: -8 ...+7

Előjeles számábrázolás

- **A 2's C számábrázolás tulajdonságai**
  A legnegatívabb számban csak az előjel bit 1 értékű.
  Pl. 4 biten a legnegatívabb szám: 1000_2 = -8
- **A legnegatívabb szám 2-es komplemense önmaga**, tehát nem önmaga -1-szeresét adja! (Az nem fér be a számtartományba.)
  Pl. 4 biten -8_{10} :1000→0111+1 = 1000 (számtartomány: -8...+7)
- A 2's C előjeles számokkal **az összeadás szabályai megegyeznek a normál pozitív számokra vonatkozókkal** (az eredmény is 2's C)

```
Pl:      0101  (+5)
        +1001  (-7)
        -------
         1110   (-2)
```

Előjeles számábrázolás

- **Kettes komplemens (2's C) méretkonverzió**
  - **Előjel kiterjesztés**: A bitjek számának a növelése
  - **Pozitív számokra** egyértelmű, **bal oldalon kiegészítés 0-kal**, a számérték természetesen nem változik.
    Pl: **+5** érték 4 biten **0101** és 12 biten **0000_0000_010**1
  - **Negatív szám esetén** a **bal oldalon kiegészítés 1-ekkel**.
    Pl: **–5** érték 4 biten **1011** és 12 biten **1111_1111_1011**

    Mert a 2's C szabályai szerint ennek bitjeit invertálva + 1, azaz 0000_0000_0100 + 1 = 0000_0000_0101
  - Tehát, ha kevesebb bitről **előjel kiterjesztéssel** méretet növelünk több bitre, **a szám értéke nem változik**
  - Jelentősége: pl. konverzió különböző méretű adatformátumok között (pl. 8 bites byte-ból → 32 bites szó)

Valós számok

Fixpontos számábrázolás

- Az eddigi pozícionális számrendszer a törtrészre is kiegészíthető, **negatív kitevőkkel:** r^{-1}, r^{-2}, ….. r^{-n}, tört helyiértékek, r^0 –tól jobbra **(½,¼…)**
- **Bináris előjeles (2-es komplemens) számrendszer 8 biten valós számokra, 3 db tört számjegy esetére:**

2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}
-16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125

Implicit (nem létező) „kettedes” pont a ↑ megfelelő helyen

- Példák a fenti formátumú számok decimális konverziójára:
  - **00110 101** = 6+0.5+0.125 = **6.625**
  - **11111 111** negatív, tehát 2-es kompl. képzés kell az abszolút értékhez: 00000 001 = 0.125 tehát 11111 111 = **-0.125**
- **Tetszőleges pontosság, bitszám növelésével elérhető.**

Fixpontos számábrázolás

- A teljes értéktartományt (FSR, Full Scale Range) a legnagyobb helyiértékű bit (MSB) értéke határozza meg, a példában az előjeles számokra ~ **$\pm 2^4$ = ~ ± 16**

2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}
-16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125

- Két érték közötti min. eltérést (felbontás, pontosság) a legkisebb helyiértékű bit (LSB) értéke határozza meg, a példában ~ **$\pm 2^{-3}$ = ~ ±0,125**
  - Nagy értéktartományhoz→ sok egész bit kell
  - Nagy pontossághoz → sok törtrész bit kell
  - Rögzített bitszámnál kompromisszum kell
  - Megoldás → Skálázó tényező alkalmazása

Lebegőpontos számformátum

- Középiskolából ismerjük a számok normál alakját (pl. $6.0*10^{23}$). A **lebegőpontos formátum** ezt modellezi, a választott számrendszer szerinti skálázó tényező ($\mathbf{r^k}$) használatával

$$\mathbf{D = (-1)^e * m * r^k}$$

- ahol **e** az előjel (pozítív: 0, negatív: 1), **m** a mantissza, **r** a számrendszer (radix) (2 vagy 10), **k** a kitevő (előjeles szám). A szabvány több méretet definiál (32/64/128 bit).
- Nagy értéktartomány, nagyon nagy és nagyon kicsi számok is ábrázolhatók.
- Egyenletes relatív pontosság

Pl. az IEE754 szabvány szerint, 32 biten a formátum a következő: e=1 bit, m=24 (23+1) bit, k=8 bit, és az érték

$$\mathbf{(-1)^e*(1+m)*2^{(k-127)}}$$

Értéktartománya: 32 biten maximum $\pm 3{,}4*10^{38}$ A legkisebb értékei $\pm 1{,}4*10^{-45}$

Decimális számábrázolás

- Bináris számábrázolás esetén a legegyszerűbbek a hardver műveletvégzők (összeadó, kivonó, szorzó, osztó). Ezért a digitális készülékek bináris számokkal számolnak.
- **Azonban szükség lehet a *decimális* értékre,** hardver esetén elsősorban a kijelzésnél.
- A bináris műveletvégzés után a kijelzés előtt BIN → DEC konverziót végzünk, amely előállítja a bináris szám decimális megfelelőjének a számjegyeit.

Decimális számábrázolás

- Decimális számjegyek (0-9) kódolása, ábrázolása
- Az **NBCD** (**N**atural **B**inary **C**oded **D**ecimal) kódban a bitek **számjegyenként 4 biten**, természetes 8-4-2-1 súlyozással szerepelnek
- Érvényes **NBCD kódok értéktartmánya**: **0000-1001** (Pl. 1010 nem érvényes kód)
- Pl. 1986 NBCD kódja:
  0001_1001_1000_0110
  1 9 8 6

Érték	BCD
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

Egyéb kódok

- A digitális technikában a kódoknak csak kis részét használják számok ábrázolására. Most két elterjedt másféle kódot ismertetünk.

1-az-n-ből kód

- Az n-bites kódban **az n db bitből 1 db 1 értékű**.
- Pl. 1-a-6-ból kód.
  Előnye, hogy digitális hardverrel könnyen generálható, és könnyen dekódolható.

1-a-6-ból
100000
010000
001000
000100
000010
000001

Egyéb kódok

ASCII kód

- Karakterek ábrázolására használják.
- Eredeti ASCII (American Standard Code for Information Interchange) karaktertáblázat 7 bites, 128 db kódszó, pl.

ASCII Code Chart

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	NUL	SOH	STX	ETX	EOT	ENQ	ACK	BEL	BS	HT	LF	VT	FF	CR	SO	SI
1	DLE	DC1	DC2	DC3	DC4	NAK	SYN	ETB	CAN	EM	SUB	ESC	FS	GS	RS	US
2		!	"	#	$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
4	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
5	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_
6	`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
7	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{	|	}	~	DEL

Egy karakter kódja hexadecimálisan úgy olvasható ki a táblázatból, hogy a karakter sorának elején és oszlopának tetején levő egy-egy hexadecimális számot egymás után írjuk.

Pl. ‚**A**’ = 41_{16} = 100_0001_2 ‚**0**’ = 30_{16} = 0011_0000_2

Hardver tervezés CAD rendszerrel

- A hardver tervezés során gyakran használnak programozható logikai elemeket (FPGA, CPLD stb.). A laborban FPGA-t használunk (Xilinx XC3S250E típusút).
- A programozható logikai elemek tervezését (is) CAD rendszerek segítik. Mi a XILINX ISE rendszert használjuk.

A terv bevitele

- A hardver terv bevitelére több lehetőség is van.
  - Grafikusan, a kapcsolási rajz bevitelével.
    Itt használhatunk előre elkészített könyvtári elemeket. (Az első laborban ezt ismertük meg.) Azonban lehetőség van saját logikai elem készítésére is.
  - Bevihetjük a tervet **hardver leíró nyelv** (Hardware Description Language, HDL) használatával. Erre a továbbiakban a **Verilog** HDL nyelvet fogjuk használni.

Hardver tervezés CAD rendszerrel

Szintézis

- A CAD rendszer a terv bevitele és szintaktikai ellenőrzése után, a megadott típusú programozható logikai eszközhöz előállítja az eszközbe programozandó információt. Ez nevezik **szintézisnek**.
- A szintézis több lépésből áll, ezeket nem részletezzük. (Többek között itt történik a logikai függvények egyszerűsítése is.)

Hardver tervezés CAD rendszerrel

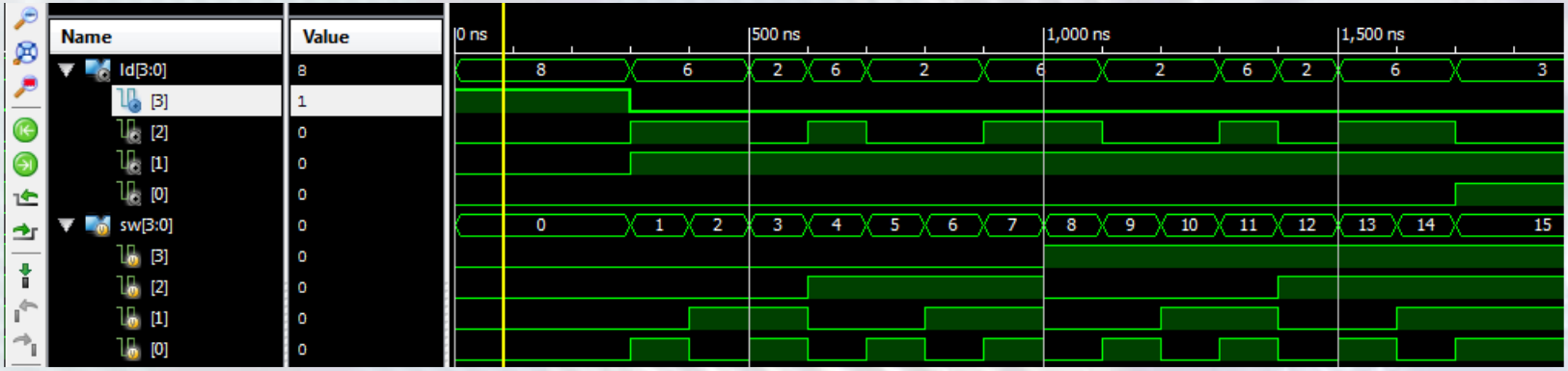
Szimuláció

- Az eszközbe programozás előtt lehetőség van hardver nélkül ellenőrizni (tesztelni) a tervet. Ezt a célt szolgálja a szimuláció.
- A CAD (Computer Aided Design) rendszer a szintézis által generált adatok alapján elkészíti a logika funkcionális és időzítés **modelljét**.
- A **teszteléshez a logika bementére** a valós működést szimuláló **tesztadatokat kell generálni**. (A tesztadatok megadása is a tervezés része.)
- A modell és tesztadatok alapján a CAD rendszer **szimulátor** része **kiszámítja, hogy milyen kimenő adatok jelennek meg a megtervezett logika kimenetén**.

Hardver tervezés CAD rendszerrel

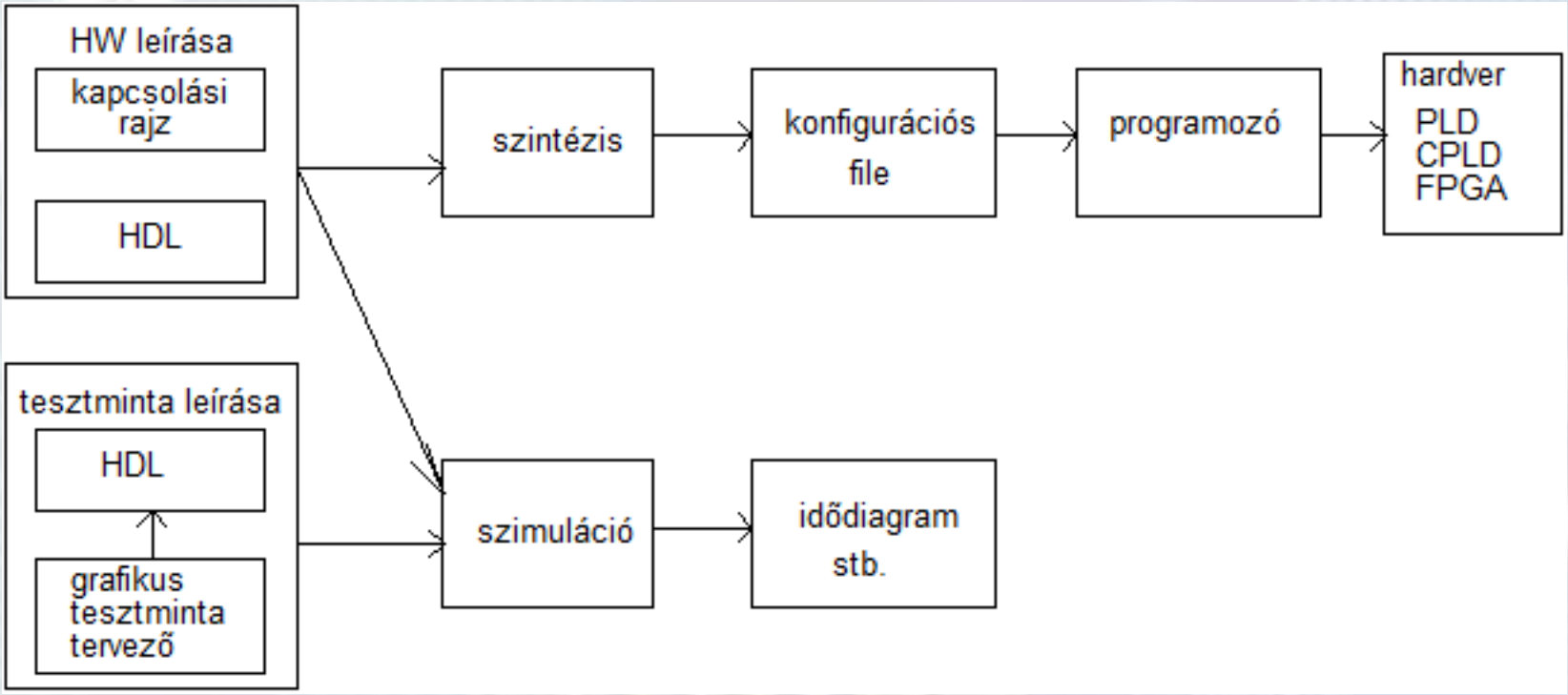
Szimulációs eredmény megjelenítése

- A szimulátor a **kimeneti adatokat meg tudja jeleníteni grafikusan** is.
- Így a szimulációs eredmények hasonló formában jelennek meg, mintha egy valós logika bementére adtuk volna az tesztadatokat és a be és kimeneti jeleket megfelelő műszer (logikai analizátor) képernyőjén néznénk:



Hardver tervezés CAD rendszerrel

Az alábbi egyszerűsített ábrán összefoglaltuk a hardver tervezéshez használt CAD rendszer fentiekben leírt működését:



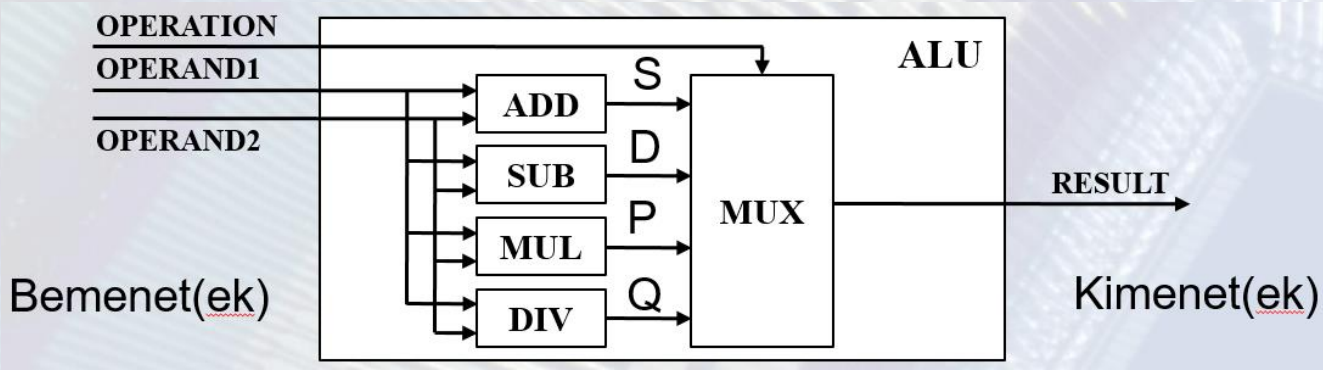
Hardverleíró nyelvek

A hardverleíró nyelveket (HDL) digitális áramkörök **tervezéshez** (tervbevitel), **modellezéséhez** és **szimulálásához** fejlesztették ki.

A nyelvi konstrukciók sokszor hasonlítanak a megszokott programozási nyelvekben találhatókhoz. Azonban mivel **a hardver különböző részei egyszerre működnek**, a HDL-el is ilyen (párhuzamos) működés írható le, csak **kapcsolási rajz helyett szövegesen**. Azonban a szimuláció tesztmintáinak (időben egymást követő bemetei jelek) leírására is képes.

A Verilog hardverleíró nyelv

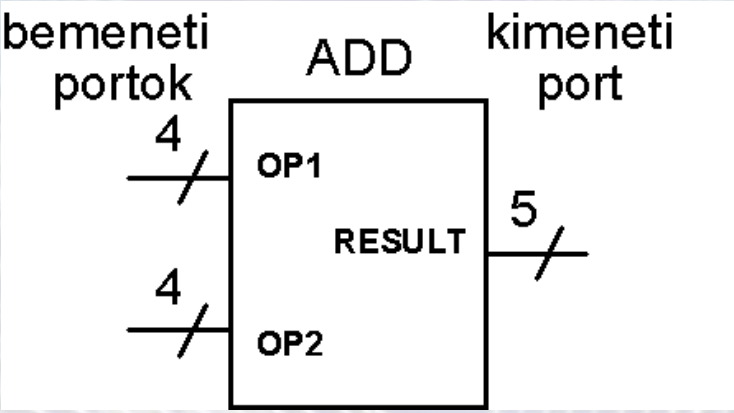
- A legismertebb HDL nyelvek az VHDL és a **Verilog.** Mi az utóbbit fogjuk használni.
- A Verilog nyelv **hierarchikus** (többszintű), funkcionális egység alapú tervezési megközelítést használ:
  - A teljes rendszer több kisebb egységekből, ***modulból*** épül fel.
    Pl. Az alábbi rendszer legfelső szintje az ALU modul az alatta levő szinten 5 db modult tarlamaz (ADD, SUB, MUL, DIV, MUX). Verilogban a teljes rendszert szövegesen írjuk le.



A Verilog hardverleíró nyelv

A **modul** a környezetével a *be és kimeneti jelein* keresztül tartja a kapcsolatot. Ezt nevezik a modul **interfészének**. A be és kimeneti jeleket a modul **portjainak**.

Egy 4 bites bemenetekkel és 5 bites kimenettel rendelkező összeadó modul Verilog leírása:




```
module ADD(input wire [3:0] OP1, OP2,
                    output wire [4:0] RESULT);
// a belső működés leírása:
assign RESULT = OP1 + OP2;
endmodule
```

Az **input** bemeneti, az **output** kimeneti portot jelöl. Ezek **típusát** (pl. wire) **nevét** és **méretét** (hány bites) utána kell megadni.

A **wire [3:0] op1, op2** 4 bites változókat jelöl, a **wire [4:0] RESULT** 5 bitest.

A Verilog hardverleíró nyelv

A több bites változókat vektor változóknak is szoktuk nevezni. A **bitvektor bit tartományát** a változó név elé írt **[i:j]** jelöli. Ebből a bitszám is egyértelmű.

A **wire** olyan változó, amelynek a deklarálása után, később értéket adni csak **assign**-nal lehet. Sokszor modulok között jelek összerendelésére használjuk (összekötés, **huzalozás**). A neve is erre utal.

Az **assign változó = kifejezés;** jobb oldalán Verilog változókkal és operátorokkal leírható kifejezés állhat. A **wire** változóval ***csak kombinációs hálózat valósítható meg***. Az értéke megváltozik, amint a fenti értékadás jobb oldali **kifejezése** megváltozik.
Mi leggyakrabban az alábbi operátorokat fogjuk használni:
Aritmetikai operátorok: **+, -, *** (ahogy eddig is ismertük)

Pl. **assign c = a - b;** **assign c = -b;** **assign c = a*b;**

A Verilog hardverleíró nyelv

Logikai operátorok: **&** (AND), **|** (OR), **^** (EXOR), **~** (NOT)
Ezeket n bites változók között használva az eredmény is n bites lesz, **a művelet az azonos sorszámú bitek között végződik el**.

Például:

```
wire [1:0] a,b,c,d;
        assign c = a & b;  // ugyanez: assign c[0] = a [0]& b[0];
                           //          assign c[1] = a [1]& b[1];
        assign d = ~a;     // ugyanez  assign d[0] = ~a[0];
                           //          assign d[1] = ~a[0];
```

További részletek a Verilog_bevező jegyzet 1-14 oldalán.

A Verilog hardverleíró nyelv

Az itt felsorolt logikai operátorok: **&** (AND), **|** (OR), **^** (EXOR) **Bitredukciós operátor**ként egyetlen vektor változóra is alkalmazhatók. Ekkor **a művelet eredménye 1 bites lesz**, **a művelet a vektor bitjei között végződik el**.

A bitredukciós operátorok elé negálás jel is (~) tehető.

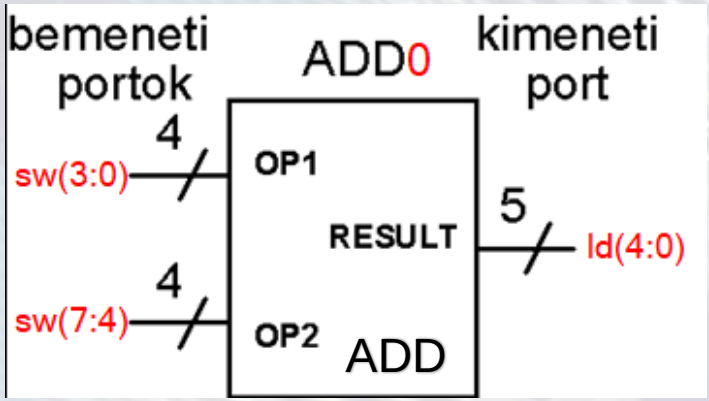
Például:

```
wire a, b, c;
wire [2:0] d, e, f;
        assign a = &d; //ugyanaz másképp:  a = d[0]&d[1]&d[2];
        assign b = |e;  //ugyanaz másképp:  a = e[0]|e[1]|e[2];
        assign c = ^f;   //ugyanaz másképp:   a = d[0]^d[1]^d[2];
```

A Verilog hardverleíró nyelv

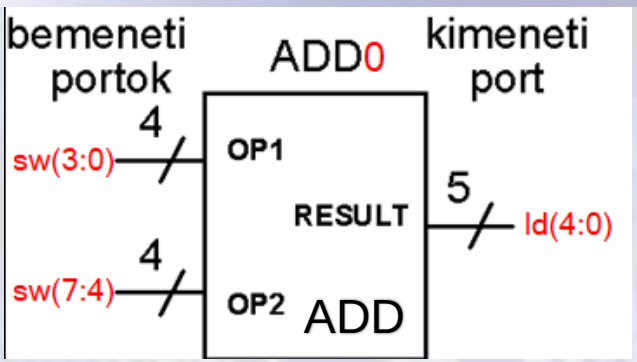
Modul példányosítása

- Egy már elkészített modulból tetszőleges számú példány felhasználható egy másik modulban.
- Pl. Készítünk egy topmodult, melynek bemenetei a kapcsolók (sw[7:0]), kimenetei a LED-ek (ld[4:0]).
- Ebben felhasználjuk a már definiált ADD modul ADD0 példányát. Az ADD0 OP1 bemenetére ráadjuk a topmodul sw[3:0] jeleit, az OP2 bemenetére ráadjuk az sw[7:4] jeleit a RESULT kimenetére az ld[4:0] jeleit, ahogy az alábbi rajz mutatja.
-



A Verilog hardverleíró nyelv

Modul példányosítása



module top_mod(input [7:0] sw, output [4:0] ld);
//példányosítás:

Modul eredeti neve

portok eredeti neve (előtte . kell)

ADD ADD0(.OP1(sw[3:0], .OP2(sw[7:4], .RESULT(ld[4:0])) ;

Példány neve

a portokra kapcsolt külső jelek neve (zárójelbe kell tenni)

endmodule

Külső jel összekötése a modul jelével: **.modul_jele(külső_jel)**

BME-MIT **További részletek a Verilog bevezető jegyzet 21-23 oldalán.**

1. EA vége