Pannon Egyetem
Villamosmérnöki és Információs Tanszék

Digitális Áramkörök I.

(Villamosmérnök BSc)

8. hét – Kombinációs hálózatok megvalósítása memóriával

Előadó: Dr. Vörösházi Zsolt
voroshazi.zsolt@mik.uni-pannon.hu

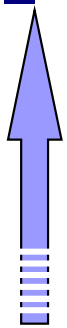
Kapcsolódó jegyzet, segédanyag:

- http://www.virt.uni-pannon.hu
  → Oktatás → Tantárgyak → Digitális Áramkörök I. (Villamosmérnöki BSc).

  - Fóliák, óravázlatok .ppt (.pdf)
  - Frissítésük folyamatosan *„ //frissítve ”*

Digitális tervezés építőelemei

- Absztrakciós szintek:
  - Rendszer szint
  - Algoritmikus szint
  - Funkcionális szint (pl. multiplexer, dekóder, ALU, stb.)
  - **Logikai szint** (kapuk – Boole algebra)
  - Fizikai áramkör szint (tranzisztor - erősen függ a gyártás-technológiától)



- Számítógép felépítéséhez az alacsonyabb absztrakciós szintről (kapuk) feljebb kell lépni a magasabb hierarchia szintek felé
- Itt helyezkednek el a következő alapvető építőelemeink, például
  - ALU, CU,
  - Regiszterek,
  - **Memóriák,**
  - Multiplexerek, Demultiplexerek
  - Kódolók, dekódolók, stb.

Integrált áramkörök osztályozása komplexitás szerint

- SSI (Small-Scale Integration): ~10 alacsony-szintű elemet (**kaput**) tartalmaz
- MSI (Medium-Scale Integration): 10-100
- LSI (Large-Scale Integration): 100-1000
- **VLSI** (Very-Large-Scale Int.): 1000-100000
- ULSI (Ultra-Large-Scale Int.): >100000
  - Mai CPU-k, mikroprocesszorok (# tranzisztor: ??)
  - Memóriatömbök

Kombinációs hálózatok / szekvenciális hálózatok (LSI/MSI):

- **1.) Memóriák: RAM, ROM – nagy memóriatömbök alkalmazása K.H.-ban**

- **2.) Programozható logikai áramkörök alkalmazása K.H., illetve S.H. felépítésére:**
  - PAL (Programmable AND Logic)
  - PLA (Programmable Logic Array)
  - PROM (Programmable OR – Read Only memory)
  - GAL (Generic Array Logic)

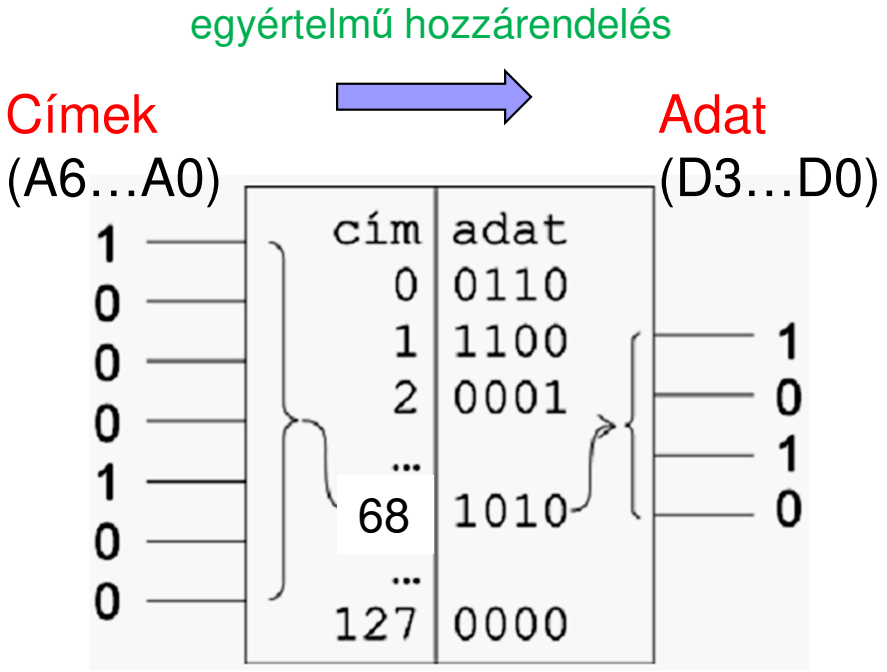
    ⇩
  - PLD / CPLD (Complex Programmable Gate Array)

    ⇩
  - FPGA (Field Programmabla Gate Array)

Kombinációs hálózatok megvalósítása memóriákkal

Memória működése röviden

- Egy adott rekesz tartalmát úgy tudjuk kiolvasni, hogy a ***cím****bemenetekre* (Address pins) adjuk annak sorszámát (bináris formában), amelyre az ***adat****kimeneteken* (DATA pins) a véges ún. ***hozzáférési idő*** (access time) elteltével megjelenik a rekeszben tárolt szám.
  - *Arató könyvben *ciklus időnek* van definiálva, amelyet a szakirodalomban inkább tekintenek két egymást követő olvasási, vagy írási tranzakció között eltelt időnek
- Beírás hasonló módon történhet.



Memória tulajdonságai

- A memória kapacitása a tárolható szavak számát jelöli. Ha ‘n’ darab *címvezetékünk* van, a memória 2^n db rekeszt tartalmaz. A tárolás jellege, és elérési módja alapján kétféle típust különböztetünk meg:
  - RAM: Random Access Memory – Véletlen hozzáférésű memória (== írható/olvasható memória!)
  - ROM: Read-only Memory – Csak olvasható memória (kivétel PROM, EPROM, EEPROM fajtákat)
- Az egy rekeszben tárolható bitek száma adja a memória **szóhosszúságát (word length/width)**.

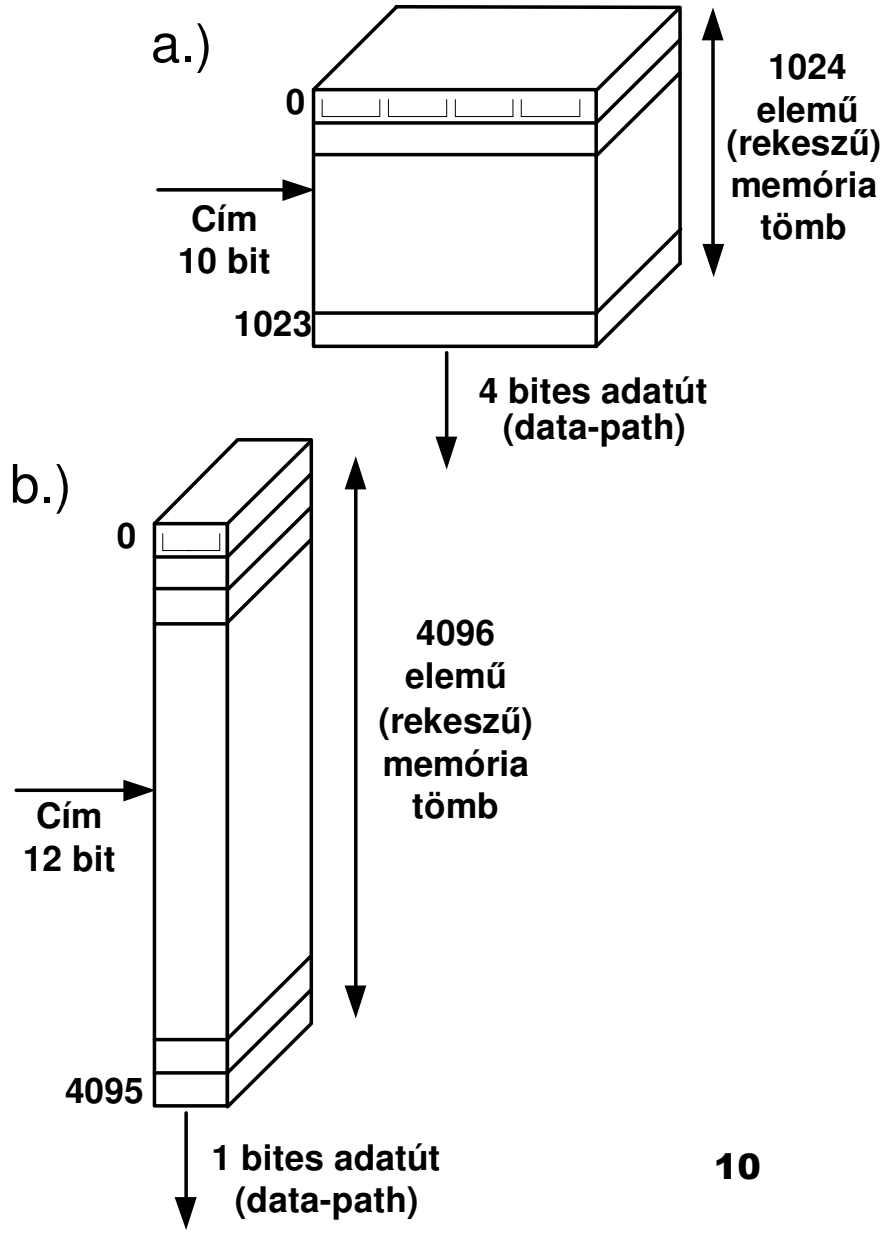
1.) ROM: Read Only Memory

- Csak egyszer írható (általában a gyártó által), utána már csak olvasható memória.
- Kikapcsoláskor megőrzik tartalmukat!
- Szervezése a RAM-hoz hasonló (de itt nem kell Write/Read vonal)
- Fontos alkalmazásai:
  - *Firmware*: elektronikai eszközök (pl. számítógép ROM-Bios funkcióinak tárolására)
  - *Kód konverter*: pl. BCD generáló 7 szegmenses kijelzőre
  - *Logikai függvény generátor*: tetszőleges logikai fgv. szintézisénél (előállításánál) ROM-ban tároljuk az igazságtáblázatot
- Programozható ROM fajtái:
  - PROM*: egyszer programozható
  - EPROM*: programozható, és UV-fénnyel törölhető
  - EEPROM*: elektromosan programozható/törölhető (Flash)

*Lásd: programozási módok

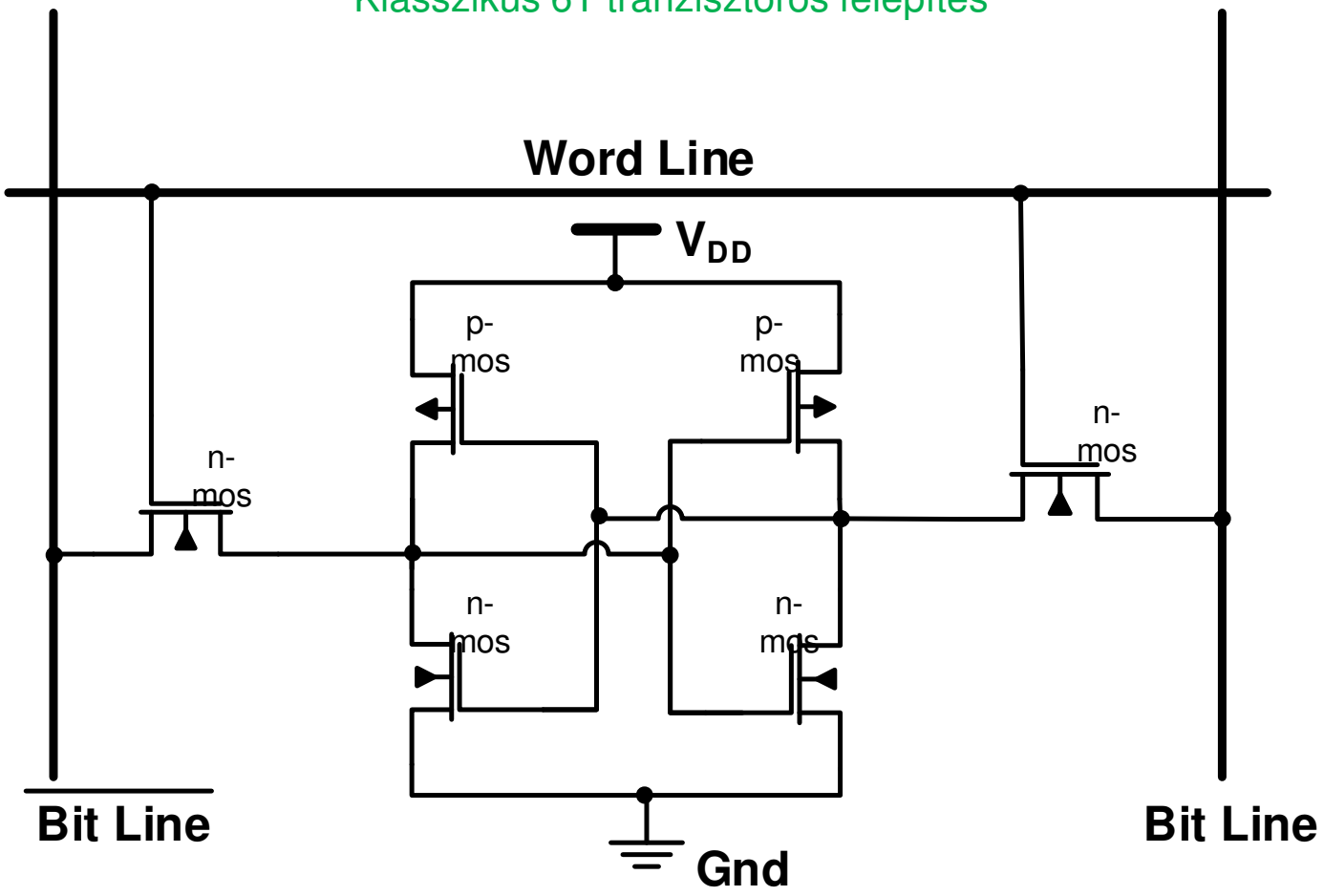
2.) RAM: Random Access Memory

- Véletlen hozzáférésű, írható és olvasható memória.
- Címzésnél: dekódoló és multiplexer áramköröket használunk
  - Pl. 10 lábbal -> 1024 (1K) cellát tudunk megcímezni
- Jelölés: RAM celláinak száma (4096) / tároló kapacitás 4K. Példák:
  - a.) 4K= 1K x 4 RAM tartalmaz: 1024 számú 4 bites szót (word)
  - b.) 4K= 4K x 1 RAM tartalmaz: 4096 számú 1-bites szót (word) (de itt az 1 bit/szó szervezéssel lábszámot spórolunk!) 12+1

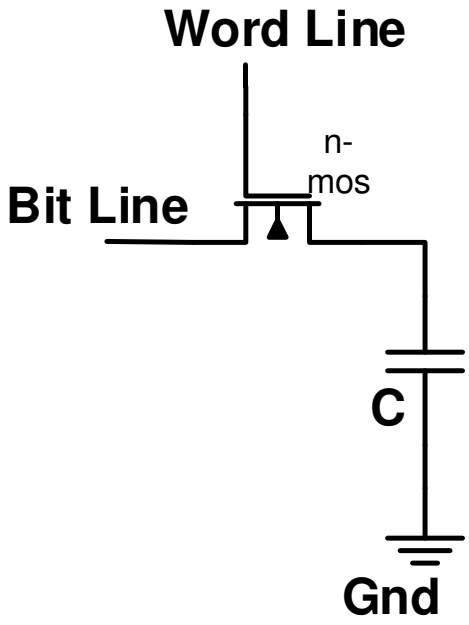


RAM: **SRAM** (**Statikus**) és **DRAM** (**dinamikus**) memória cellák felépítése:

Klasszikus 6T tranzisztoros felépítés



SRAM: n-mos és p-mos (n és p csatornás tranzisztorokból épül fel) 2-2 db, + 2 db áteresztő tranzisztor (össz. CMOS tranzisztor)



DRAM: Tárolás: egy kis méretű C kondenzátor töltése és kisütése.

a.) SRAM tulajdonságai

- Az információ a tápfeszültség alatt megmarad, mert nem kell frissíteni. Tápfeszültség kikapcsolásával viszont elveszti a tartalmát (volatile).
- CS Chip Select - CE: Chip Enable vezérlő jelek
- Megvalósítható bipoláris (0,1) SRAM cellával, nMOS tranzisztorokkal, vagy CMOS tranzisztorokból (de min. 6 tranzisztor kell).
- Kisebb összkapacitású, de gyorsabb a DRAM-nál, mivel tápfeszültség alatt sem kell frissíteni.
  - SRAM esetén a ciklusidők T(R/W Cycle)≈T(Access Time) közel azonosak.
- Nagy a fogyasztása. Integritási sűrűsége 4x rosszabb (több tranzisztor miatt).
- Felhasználása:
  - Cache memóriákban, digitális oszcillátorokban, logikai analizátorokban, spec. gyors operatív tárakban (de nem a hagyományos PC memória), merevlemezek gyorsító pufferében, nyomtatók memóriájában.

b.) DRAM tulajdonságai

- Általában CMOS technológiával készülnek.
- A tápfeszültség alatt is frissíteni kell, mivel idővel elvesztik tartalmukat (C kondenzátoron tárolt töltés).
  - Pl. DDR3 RAM esetén a Refresh rate = 7.8 µs (mai memóriák esetén),
- Kicsi a fogyasztása!
- Nagyobb összkapacitású, mint egy SRAM, de lassabb (frissítés!)
  - A hozzáférési idő ált. kétszer nagyobb a memória R/W ciklus idejénél: 2*T(R/W Cycle)=T(Access Time).
- Egyszerűbb felépítésű (1 tranzisztor + kondenzátor), szemben az SRAM-al. Integritási sűrűsége **4x** jobb. (IRAM: az időzítő elektronika a DRAM-ra van integrálva).
- Itt lényegében a CS=Chip Select (korábban CE: Chip Enable!) jelet két részre osztották fel: **RAS=sorkijelölő**, és **CAS=oszlopkijelölő** komponensekre.
- Felhasználása: operatív memória (DDR-, DDR-II, DDR3-DDR4 SDRAM)

Kombinációs hálózatok és a memóriák kapcsolata

- A K.H-ban egy adott *bemeneti kombinációra* az igazságtábla ugyanazon sorában feltüntetett *kimeneti bináris kombináció a válasz*.
  - (Tehát beadunk egy bináris számot, amire válaszul egy másik bináris számot várunk a kimeneteken).
- A memóriák feladata is teljesen ugyanez: kiolvasáskor minden egyes *cím megadásakor* egy előzőleg betöltött *adat* jelenik meg. Vagyis ha egy memóriát egy vele azonos számú be-, és kimenettel rendelkező K.H. igazságtáblája szerint töltünk fel, akkor ez a **memória helyettesítheti a kombinációs hálózatot**.

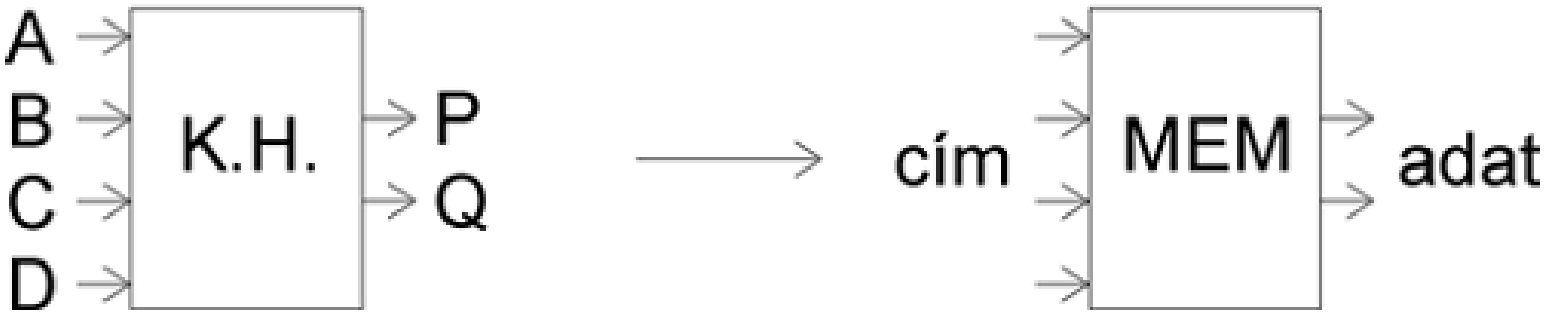
K.H. – Memória ekvivalencia

Függvény: egyértelmű hozzárendelés

A	B	C	D	P	Q
0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	1	0
0	0	1	0	0	1
	...				
1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0

Memória: egyértelmű hozzárendelés

cím	adat
0000	11
0001	10
0010	01
...	
1110	10
1111	00



n=4 m=2

A memória elemmel történő megvalósítás **előnyei**:

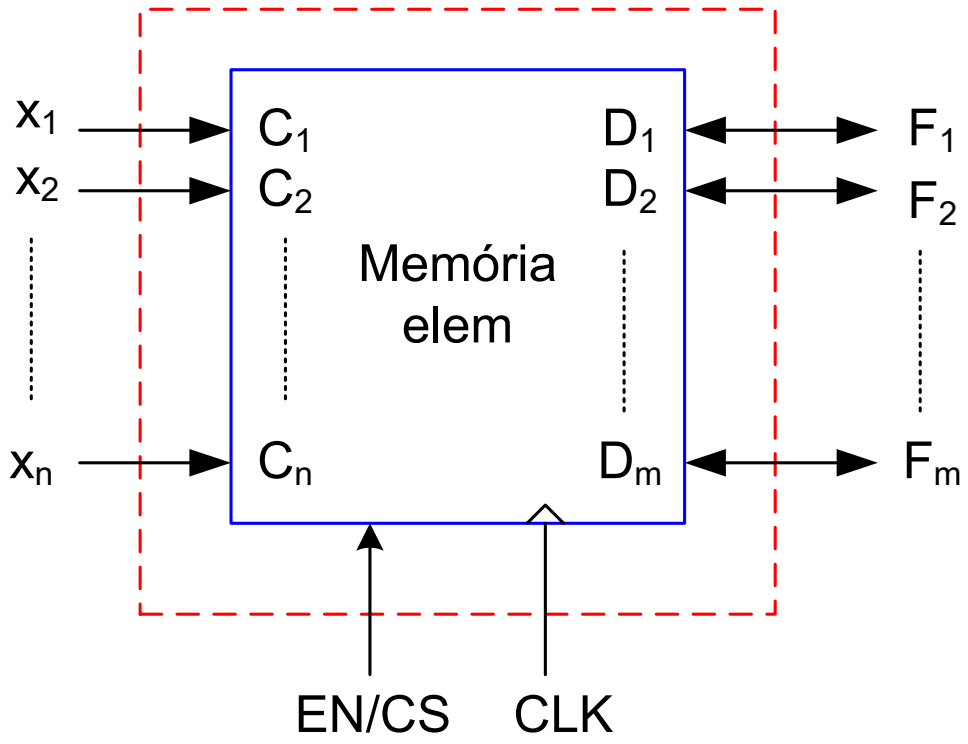
- könnyen átprogramozható, így a fejlesztési szakaszban nem kell újraépítenünk kapukból az egész áramkört, még apró változtatásnál sem,
- nem igényel függvény-egyszerűsítést (minimalizálást),
- **nem fordulhat** elő benne *statikus és dinamikus* hazárd
  - mivel nem kapukból és huzalozással építjük fel, hanem az igazságtábla alapján direkt módon határozzuk meg (betöltjük) a beírandó adatokat!
- !DE itt is lehet *funkcionális hazárd*, amit pl. szinkronizációval szüntethetünk meg (nem szomszédos bemeneti címváltozásokra → kimeneti adatváltozások)
  - Erre megoldás az EN engedélyező/tiltó bemenet.

A memóriaelemmel történő megvalósítás **hátrányai**:

- Egy memória-áramkör sokkal lassabb lehet, mint a logikai kapukból összeállított huzalozott / dedikált kombinációs hálózat (főleg ha több hierarchia szinten összekötött memória áramkörök késleltetését tekintjük),
- speciális időzítési feltételekkel fogadhat csak jeleket (pl. a címnek bizonyos ideig stabilnak kell maradnia, hogy előálljon a kimenet),
- míg a függvény-egyszerűsítéssel kapott megoldás esetleg csak néhány kapuból állna, addig a memóriába a teljes igazságtáblázatot be kell programozni (tárolni):
  - n darab bemenethez mindenképp egy 2^n kapacitású memóriát kell választani (katalógus),
- a memóriaelem a legtöbb esetben drágább is.

Memória elem alkalmazása több kimenetű K.H. megvalósítására

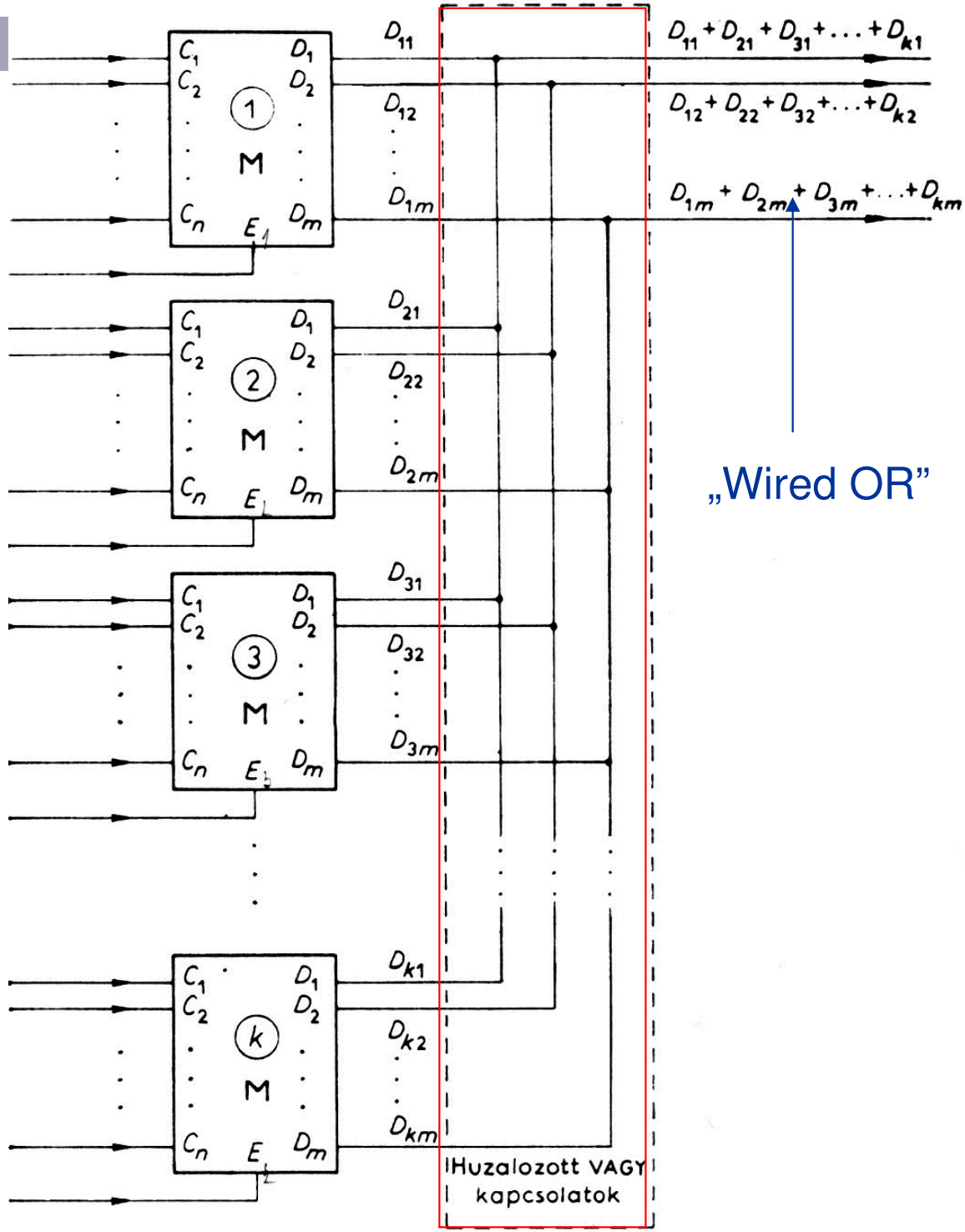
- K.H. ↔ Memória
  - Bemeneti kombináció ↔ *címek*
  - Kimeneti kombináció ↔ *adat* kimenetek
- EN/CS (Enable, más néven Chip Select) – memória elem engedélyezése, vagy tiltása1
  - ***Huzalozott VAGY kapcsolat****:* akár több memória elem kimenete is összekapcsolható „huzalozott” módon.



Memória:

„Huzalozott VAGY” kapcsolatok

- Mindig csak egy memóriaelem bemenete engedélyezett egyszerre, a többié tiltott!
  - EN_i = ‘1’ engedélyezés.
  - $EN_{j\neq i}$ = ‘0’ tiltás

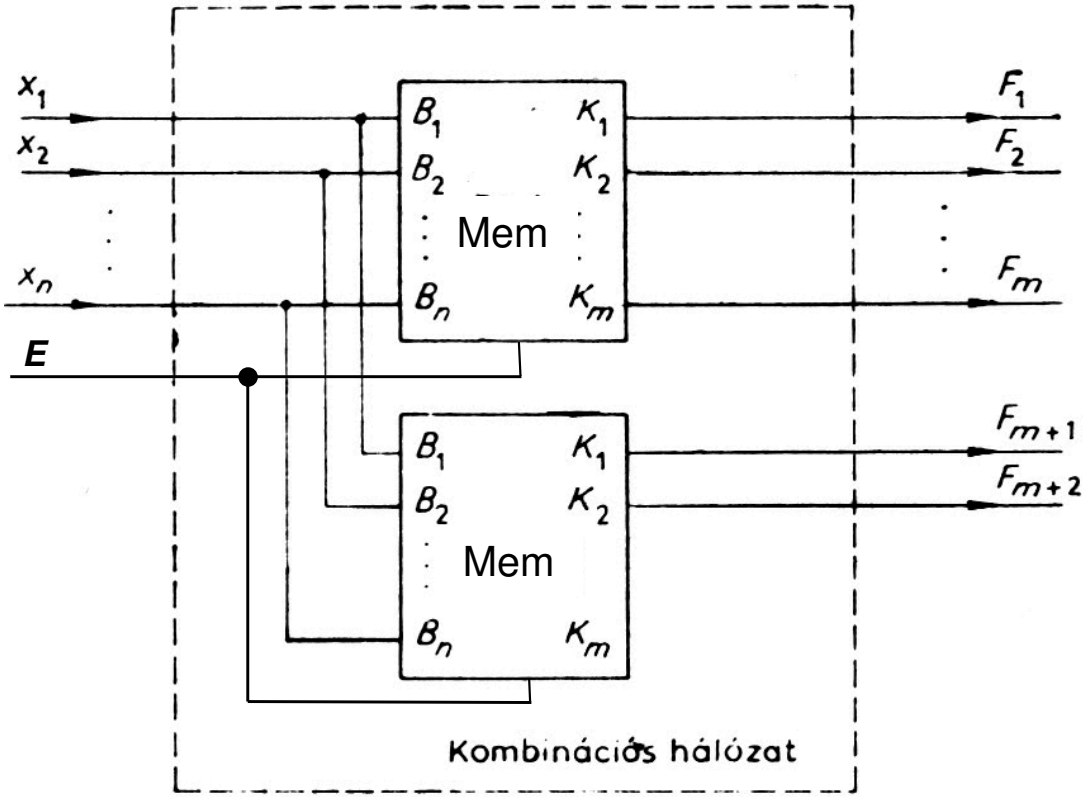


K.H. megvalósítása memóriával – lehetséges esetek

- 1.) megvalósítandó K.H. *bemenete* kevesebb, mint a memória címbemenete (nem használjuk a memória plusz cím bemeneteit, GND lekötés)
- 2.) megvalósítandó K.H. *kimenete* kevesebb, mint a memória adatkimenete (nem használjuk a memória plusz adat kimeneteit, GND lekötés)
- **3.) megvalósítandó K.H. *kimenete* több, mint a memória adatkimenete (több memória elem kell)**
- **4.) megvalósítandó K.H. *bemenete* több, mint a memória címbemenete (több memória elem, és dekóder kell)**
- **5.) megvalósítandó K.H. *bemenete* és *kimenete* is több, mint a memória címbemenete, ill. adatkimenete (több memória elem, és dekóder kell)**

3.) K.H. megvalósítása memóriával

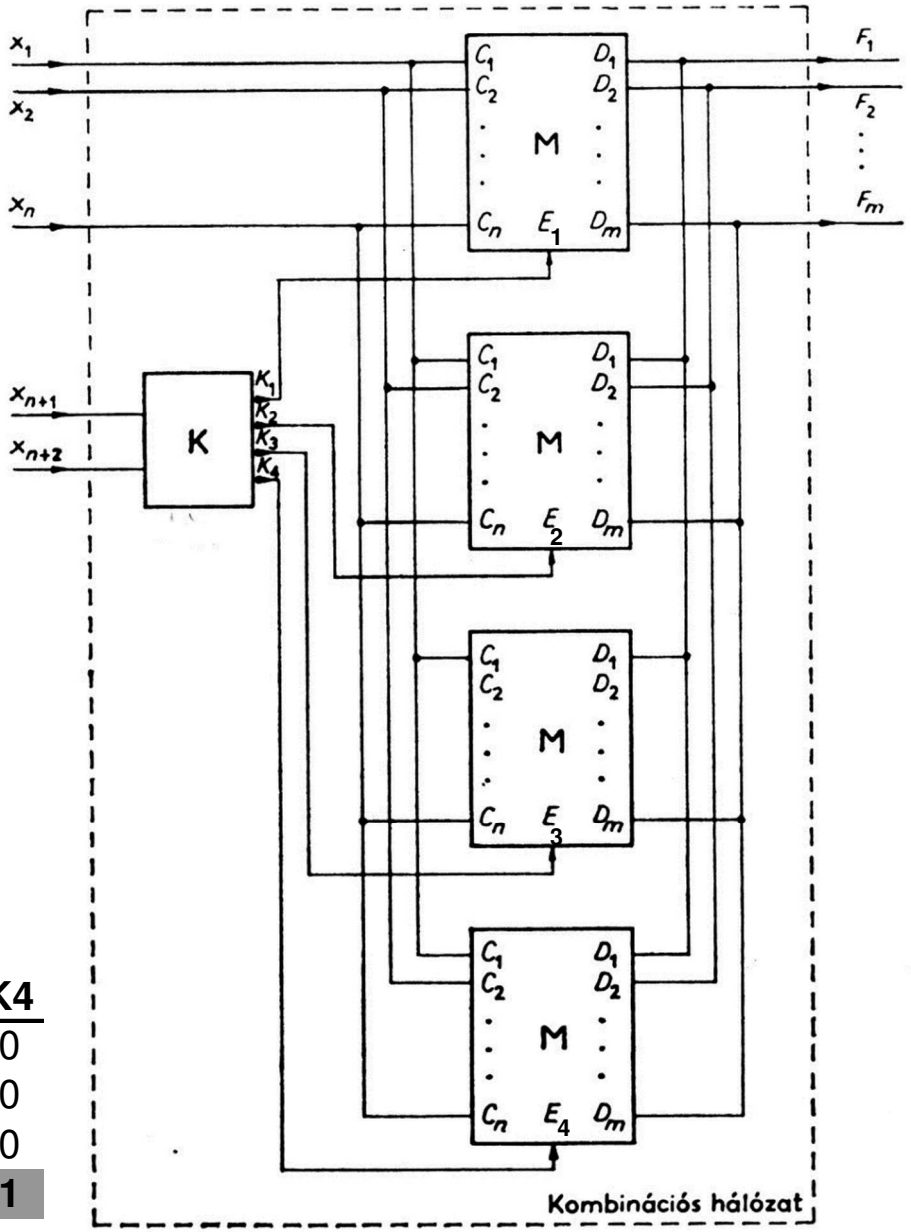
- Ha a megvalósítandó K.H. *kimeneteinek* száma több (pl. m+2) , mint a memória adatkimeneteinek száma (pl. m):
  - Egyetlen memória elem nem elegendő! Bővíteni kell.



4.) K.H. megvalósítása memóriával

- Ha a megvalósítandó K.H. *bemeneteinek* száma (n+2) több, mint a memória cím-bemeneteinek száma (n):
  - Egyetlen memória elem nem elegendő! Bővíteni.
  - Mivel 2^n számú bináris kombináció helyett 2^{n+2}-t kell tárolni (azaz $4*2^n$)
  - Bővíteni: 'K' átkódoló K.H. beépítése vezérli a memóriák E engedélyezését
    - $K_{1...4}$ kimeneteken „*n-ből 1 kód*" (one-hot-code)

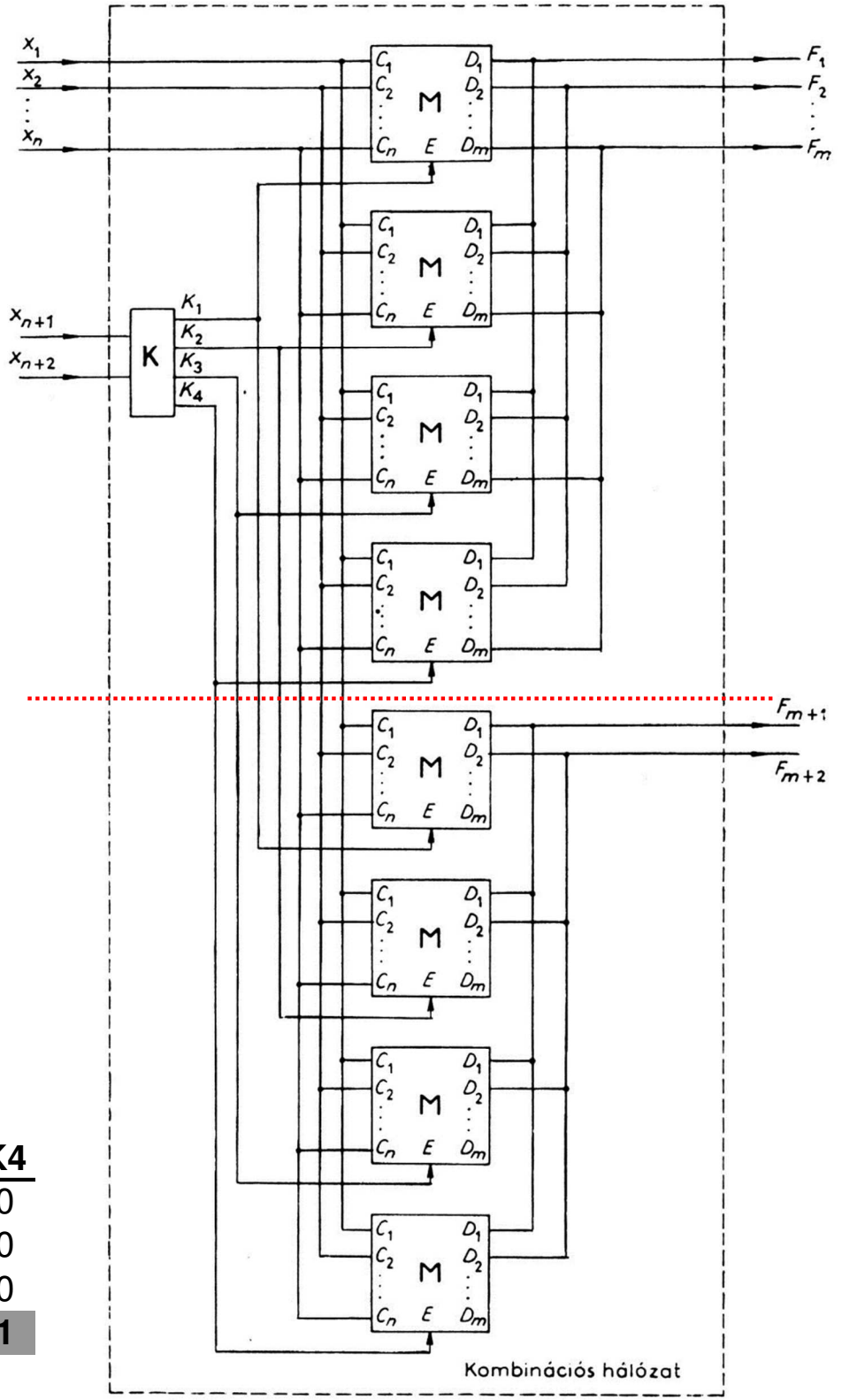
x(n+1)	x(n+2)	K1	K2	K3	K4
0	0	**1**	0	0	0
0	1	0	**1**	0	0
1	0	0	0	**1**	0
1	1	0	0	0	**1**



5.) K.H. megvalósítása memóriával

- Ha a megvalósítandó K.H. *bemeneteinek* (n+2) és *kimeneteinek* száma (m+2) is több (tfh. 2-vel), mint a memória cím-bemeneteinek (n), és adatkimeneteinek száma (m):
  - Egyetlen memória elem nem elegendő! Bővíteni.
  - Előző 3.) és 4.) módszereket együttesen kell alkalmazni a bővítéshez.

x(n+1)	x(n+2)	K1	K2	K3	K4
0	0	**1**	0	0	0
0	1	0	**1**	0	0
1	0	0	0	**1**	0
1	1	0	0	0	**1**



K.H. megvalósítása memóriával

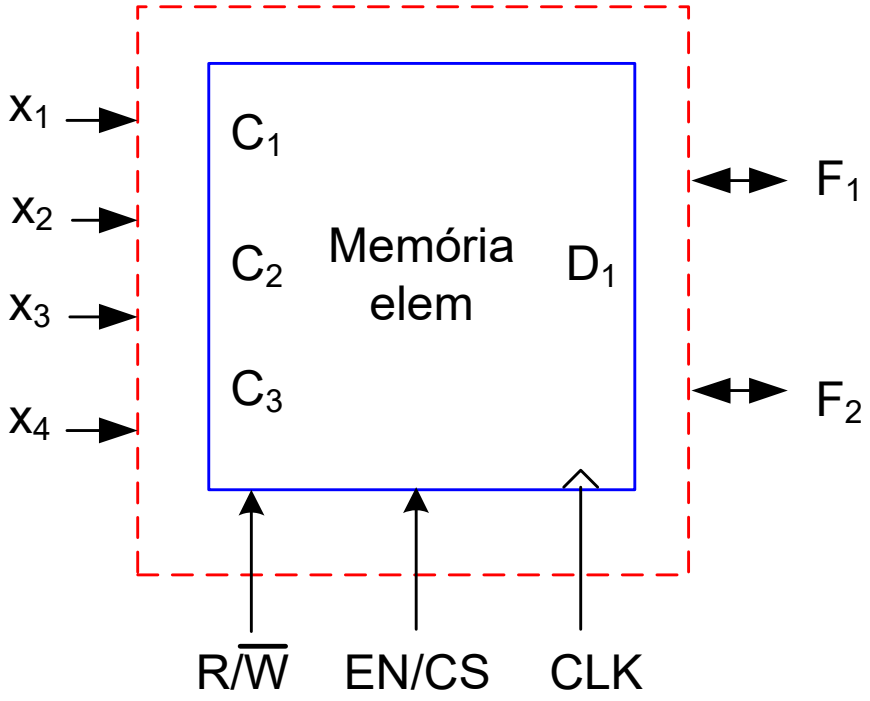
- **Megjegyzés**: nincs akadálya annak, hogy a ‘K’ átkódoló vagy elő-feldolgozó logikai hálózatot memóriával (tipikusan ROM-al) valósítsanak meg.
- **De** ekkor a több-szintű, sorba kapcsolt memória hálózat miatt *csökkenhet* a megvalósított hálózat működési sebessége (cím -> érvényes adat megjelenése a kimeneten stb.).

Példa 1.):

- A megadott Memória elem segítségével realizáljon egy K.H.-ot, ha adottak az alábbi függvényei:

$$F^{n=4}{}_1(x_1, x_2, x_3, x_4) = \sum_{i=0}^{2^n-1} (0,1,4,15)$$

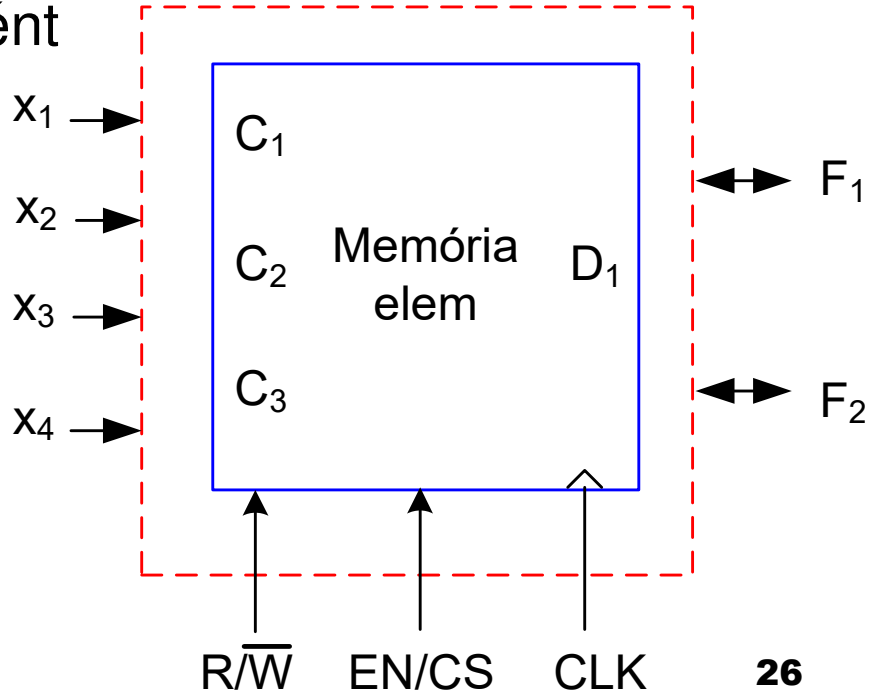
$$F^{n=4}{}_2(x_1, x_2, x_3, x_4) = \sum_{i=0}^{2^n-1} (0,1,8,9,11)$$



- a.) Ha szükséges, adja meg a dekódoló logika ('K') igazságtáblázatát is !
- b.) Adja meg pontosan a memória feltöltését is!

Példa 1. (folyt.):

- Mivel a Memória elem cím-bemeneteinek száma (n=3) 1-el *kevesebb*, illetve az adat-kimenetének száma (m=1) is 1-el *kevesebb*, mint a realizálandó K.H. bemeneteinek (n=4), ill. kimeneteinek (m=2) száma, ezért bővíteni kell:
  - Több memória elem
    - 1-1 memória elem kimenetenként
  - Dekódoló logika ‘K’
    - $2^{n+1} = 2*2^n$ (1 → 2 dekóder), azaz K1, K2 engedélyezők



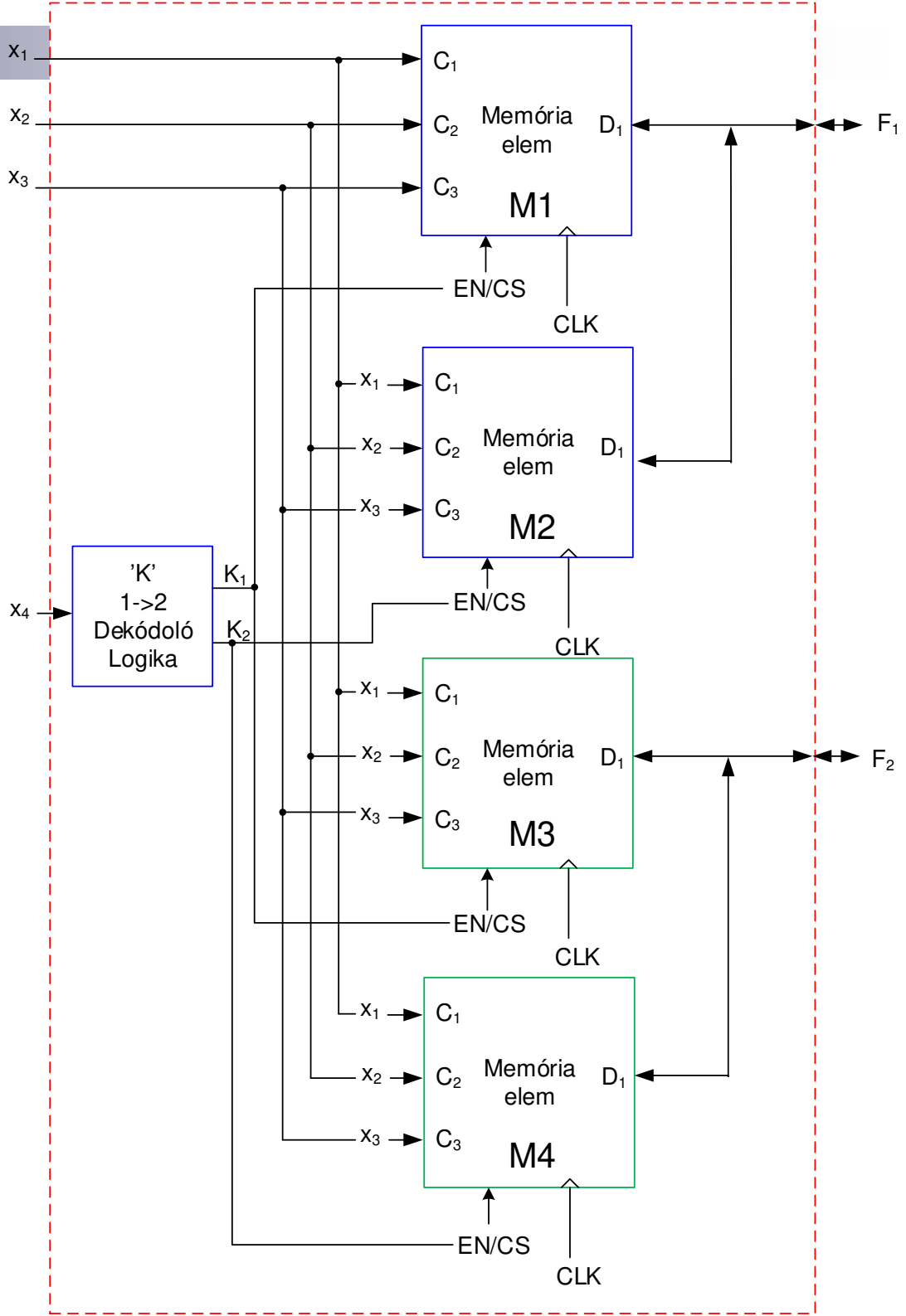
Összesen 4 db memória elem kell!

Példa 1. Megoldás

- a.) K: dekódoló logika

x(4)	K1	K2
0	**1**	0
1	0	**1**

  - K1: M1, M3
  - K2: M2, M4



b.) A memória elemek feltöltése

$$F^{n=4}{}_1(x_1, x_2, x_3, x_4) = \sum_{i=0}^{2^n-1} (0,1,4,15)$$

$$F^{n=4}{}_2(x_1, x_2, x_3, x_4) = \sum_{i=0}^{2^n-1} (0,1,8,9,11)$$

MEM#1

Cím	F1
0	**1**
1	**1**
2	0
3	0
4	**1**
5	0
6	0
7	0

MEM#2

8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	**1**

MEM#3

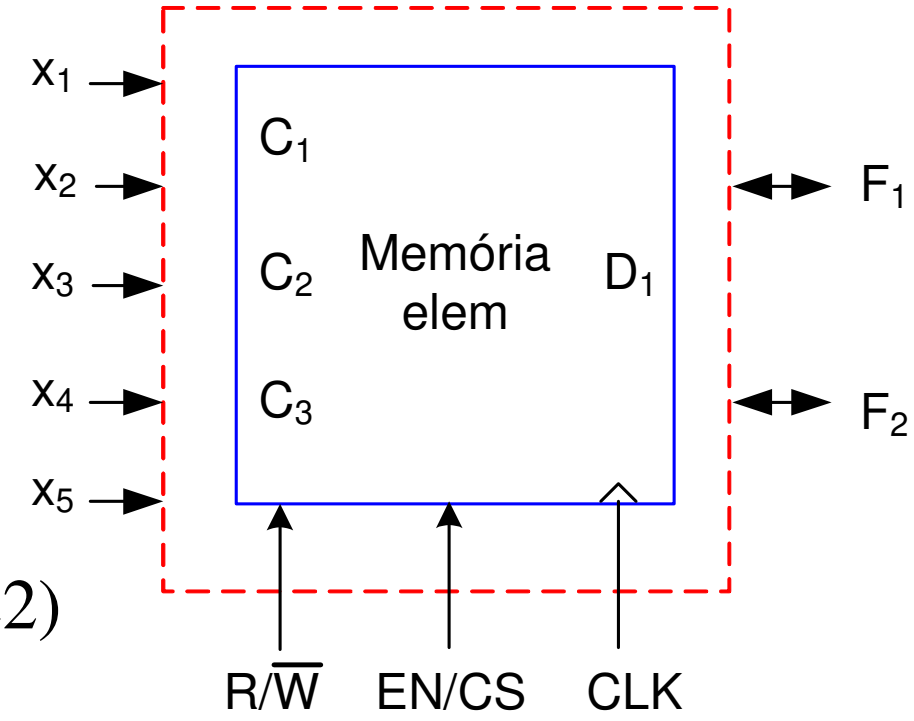
Cím	F2
0	**1**
1	**1**
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0

MEM#4

8	**1**
9	**1**
10	0
11	**1**
12	0
13	0
14	0
15	0

Példa 2.): HF!

- A megadott Memória elem segítségével realizáljon egy K.H.-ot, ha adottak az alábbi függvényei:



$$F^5_1(x_1,..,x_5) = \sum_{i=0}^{2^n-1}(0,1,4,31)$$

$$F^5_2(x_1,...x_5) = \sum_{i=0}^{2^n-1}(0,1,4,15,16,17,21,22)$$

- a.) Ha szükséges, adja meg a dekódoló logika (‘K’) igazságtáblázatát is !
- b.) Adja meg pontosan a memória feltöltését is!