Pannon Egyetem
Villamosmérnöki és Információs Tanszék

Digitális Áramkörök

(Villamosmérnök BSc /
Mechatronikai mérnök MSc)

7. hét – Több-szintű kombinációs hálózatok dekompozíciója

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

Kapcsolódó jegyzet, segédanyag:

- http://www.virt.uni-pannon.hu → Oktatás → Tantárgyak → Digitális Áramkörök (Villamosmérnöki BSc / Mechatronikai mérnöki BSc/MSc).
  - Fóliák, óravázlatok (.ppt)
  - Frissítésük folyamatosan

Logikai függvények dekompozíciója

Több szintű K.H. tervezésének néhány alapgondolata

- Legegyszerűbb DNF alak → nem biztos, hogy a legegyszerűbb algebrai alak is egyben,
- Szintek számával arányosan növekszik a jelterjedési idő (T) → ezáltal csökken a hálózat működési sebessége (f),
- Intuitív/próbálgatásos egyszerűsítési eljárások helyett → *szisztematikus* eljárások kellenek a többszintű hazárdmentes hálózatok tervezéséhez (pl. dinamikus hazárd: szintenkénti statikus hazárd megszüntetése).
- **Megoldás**: többváltozós függvény *felbontása* **dekompozícióval.**

Függvény dekompozíció:

- Egyszerű diszjunkt dekompozíció (EDD)
  - Karnaugh tábla
  - EDD felosztási tábla alapján
- Összetett diszjunkt dekompozíció
  - Többszörös diszjunkt dekompozíció (TDD)
  - Iteratív diszjunkt dekompozíció (IDD)
  - Komplex diszjunkt dekompozíció (KDD)

- Esetleg: tisztán NAND, NOR (funkcionálisan teljes) kapuk felhasználásával, algebrai eljárások alkalmazásával.

Alapfogalmak

- **Dekompozíció**: logikai függvények felbontása egyszerűbb részfüggvényekre
  - Részfüggvények lehetséges további felbontása egyszerűbb részfüggvényekre (hierarchikus felépítésű K.H.-t kapunk).
- A dekomponálás sokféleképpen elvégezhető, attól függően, hogy milyen *követelményeket* támasztunk a részfüggvényekkel szemben.
- Hazárd esetén a dekompozícióval kialakított részfüggvényeket elegendő önmagukban hazárdmentesíteni → teljes hazárdmentesség.

Alapfogalmak

- **Diszjunkt dekompozíció**: Jelöljük az n-változós F függvény változóinak halmazát Q-val. Képezzük a változók két diszjunkt részhalmazát Q_1 és Q_2-t, melyekre:

$$Q_1 \cup Q_2 = Q$$

$$Q_1 \cap Q_2 = \emptyset$$

  - Az F függvény minden változóját tartalmazza valamelyik részhalmaz (únió), de egy változó csak egy részhalmazban szerepelhet (metszet üres = diszjunkció feltétele).

A.) Egyszerű diszjunkt dekompozíció (EDD)

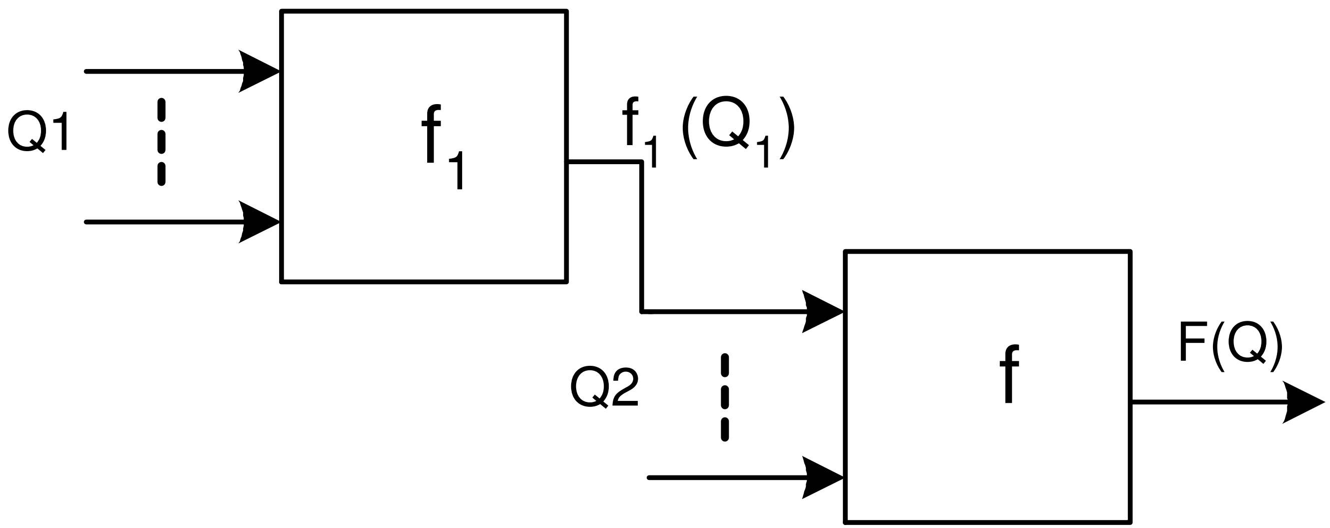
- Ha az összes változón értelmezett F(Q) kifejezhető az alábbi módon:

$$F(Q) = f\left[f_1(Q_1), Q_2\right]$$

akkor az f és f_1 részfüggvényeket az F logikai függvény ***egyszerű diszjunkt dekompozíciójának*** **(EDD)** nevezzük.
- Pl. Hazárdmentesítéshez elegendő az f és f_1 függvényeket önmagukban hazárdmentesíteni ahhoz, hogy az egész F hálózat hazárdmentes legyen, mivel a két részfüggvénynek a dekompozícióval *nem lesz közös bemenetük*.

Egyszerű diszjunkt dekompozíció felépítésének vázlata

- F függv. EDD-je: f1 és f részfüggvények
- Q1, Q2: diszjunkt változók halmazai



$$F(Q) = f\left[f_1(Q_1), Q_2\right]$$

Egyszerű diszjunkt dekompozíció

$$F(Q) = f\left[f_1(Q_1), Q_2\right]$$

- A diszjunkt dekompozíció esetén
  - a **Q_1** részhalmazban lévő változókat **kötött változóknak**,
  - míg a **Q_2** részhalmazban lévő változókat **szabad változóknak** nevezzük (ezekkel *emelünk* ki a dekompozíció során).
- Megj: az elnevezések arra utalnak, hogy Q_1 részhalmazban lévő (kötött) változók csak ***közvetve***, míg Q_2 részhalmazban lévő (szabad) változók ***közvetlenül*** hatnak a kimeneti szinten.

Példa 1.: EDD-re (*intuitív módszer)

- Adott a következő DNF alak:

$$F^4(A,B,C,D)=\sum_{i=0}^{2^n-1}(0,5,11,14)=m_0+m_5+m_{11}+m_{14}=$$

$$=\overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}\,\overline{D}+\overline{A}B\overline{C}D+A\overline{B}CD+ABC\overline{D}$$

- Adja meg az F egy **EDD**-jét (**<u>E</u>**gyszerű **<u>D</u>**iszjunktív **<u>D</u>**ekompozícióját), ha az F-ből az AC illetve $\overline{A}\,\overline{C}$ prímimplikánsokat emeljük ki.

$$F(A,B,C,D)=\overline{A}\,\overline{C}\;\underbrace{(\overline{B}\,\overline{D}+BD)}_{B\odot D=\overline{B\oplus D}=\overline{f_1(B,D)}}\;+AC\,\underbrace{(\overline{B}D+B\overline{D})}_{B\oplus D=f_1(B,D)}$$

$$\text{Tehát}\quad F(A,B,C,D)=\overline{A}\,\overline{C}\cdot\overline{f_1(B,D)}+AC\cdot f_1(B,D)\qquad \text{ahol}: f_1(B,D)=B\oplus D$$

$$\text{Kifejezhető}: F(Q)=f\left[f_1(B,D),A,C\right],\text{ahol}\quad :Q_1=(B,D),Q_2=(A,C)$$

Ez egy intuitív módszer, és nem mindig vezet célra: tudnunk kell, mit emelünk ki!

Példa 2.: EDD-re „Felosztási tábla” segítségével (szisztematikus módszer!)

- Adott a következő DNF alak:

$$F^4(A,B,C,D)=\sum_{i=0}^{2^n-1}(4,5,6,7,8,13,14,15)=$$

$$=\overline{A}B\overline{C}\overline{D}+\overline{A}B\overline{C}D+\overline{A}BC\overline{D}+\overline{A}BCD+A\overline{B}\overline{C}\overline{D}+AB\overline{C}D+ABC\overline{D}+ABCD$$

Tegyük fel, hogy: *//F-nek létezik EDD-je, a következő alak szerint:*

$$F(Q)=F(A,B,C,D)=f\left[f_1(A,D),B,C\right]$$

Ekkor:

$Q_1=(A,D)$ ***Kötött változók***

$Q_2=(B,C)$ ***Szabad változók (velük emelünk ki)***

- A diszjunkt dekompozíció feltételei teljesülnek (Q: Q_1 és Q_2 uniója a Q összes eleme, de a metszetük üres)

DEF: Felosztási tábla

- A Q_1 *kötött*, illetve Q_2 *szabad* változók felosztása szerint peremezett Karnaugh táblát ***felosztási táblának*** nevezzük.
- Az F logikai függvény felosztási táblája pontosan akkor felel meg a függvény EDD-jének, ha a táblán az **oszlopfajták száma nem nagyobb (≤) mint 2** !!

DEF: oszlopfajta

- Ha egy F-nek létezik EDD-je, akkor a **felosztási tábla** sorai
  - vagy csak ‘0’-kat,
  - vagy csak ‘1’-eseket,
  - vagy f_i
  - vagy csak $\overline{f_i}$ értékeket tartalmazhatnak.
- A csupa ‘0’-t és ‘1’-et tartalmazó oszlopokat csak 1-szer kell számolni, nem növelik az oszlopfajták számát, hiszen minden oszlopban azonosak.
- Ha egy oszlop ‘1’-t (‘0’-t) tartalmaz egy f_i-nek ($\overline{f_i}$-nek) megfelelő *sorban*, akkor ugyanez az oszlop ‘0’-t (‘1’-t) tartalmaz egy $\overline{f_i}$-nek (f_i-nek) megfelelő *sorban*.

Összes lehetséges Felosztási tábla (n=4 változó esetén)

$$F^4(A,B,C,D)=\sum_{i=0}^{2^n-1}(4,5,6,7,8,13,14,15)$$

1sz-3k

a.) [X] Oszlopfajta = 4

B		0				1			
CD		00	01	11	10	00	01	11	10
A	0	0	1	3	2	4	5	7	6
	1	8	9	11	10	12	13	15	14

b.) [OK] Oszlopfajta = 2

A		0				1			
CD		00	01	11	10	00	01	11	10
B	0	0	1	3	2	8	9	11	10
	1	4	5	7	6	12	13	15	14

c.) [X] Oszlopfajta = 4

A		0				1			
BD		00	01	11	10	00	01	11	10
C	0	0	1	5	4	8	9	13	12
	1	2	3	7	6	10	11	15	14

d.) [X] Oszlopfajta = 4

A		0				1			
BC		00	01	11	10	00	01	11	10
D	0	0	2	6	4	8	10	14	12
	1	1	3	7	5	9	11	15	13

2sz-2k

e.) [OK]

Oszlopfajta = 2

CD / AB	00	01	11	10
00	0	1	3	2
01	4	5	7	6
11	12	13	15	14
10	8	9	11	10

f.) [OK]

SOR

Sorfajta =2 (de Oszlopfajta = 4)

BD / AC	00	01	11	10
00	0	1	5	4
01	2	3	7	6
11	10	11	15	14
10	8	9	13	12

g.) [OK]

SOR

Sorfajta =2 (de Oszlopfajta = 4)

BC / AD	00	01	11	10
00	0	2	6	4
01	1	3	7	5
11	9	11	15	13
10	8	10	14	12

**** f.), és g.) esetén a SORokat tekintjük oszlopnak***

Fontos következtetések:

Felosztási táblák (lásd előző ábrák)

- 1-3 felosztás (1 szabad-3 kötött változó):
  - b.)–ben létezik B szabad változó szerinti EDD [ok]
  - a.), c.), d.) -kben nem létezik EDD [x]
- 2-2 felosztás (2 szabad, 2-kötött változó):
  - Oszlop szerint:
    - létezik a.)-ban AB szabad változók szerinti EDD [ok]
    - nem létezik b.),c.)-kben EDD [x]

DE!

  - 2-2 (sz-k) felosztás esetén egy felosztási tábla lényegében két felosztási táblát képvisel, hiszen a szabad-kötött változók szerepének felcserélése esetén csak *sor-oszlopot kell cserélni. (**szabad és kötött változók szerepe megcserélődik**!)*
  - *Ekkor a változók 2-2 felosztása szerinti felosztási tábla **sorait tekinthetjük oszlopoknak.***
  - Sorok szerint:
    - e.)-ben nem létezik CD szabad változók szerinti EDD (ha AB lesz kötött), csak fordítva, azaz sor-oszlopcsere nélkül
    - f.)-ben létezik BD szabad változók szerinti EDD (ekkor AC lesz kötött)
    - g.) ben létezik BC szabad változó szerinti EDD (ekkor AD lesz kötött)

B.) Összetett diszjunkt dekompozíció

- Eddig: az ismert (EDD) Egyszerű Diszjunkt Dekompozíció csupán két részfüggvényre bontotta szét az F-et.
- Most: F kiindulási függvényt további részfüggvényekre (m-számú) bonthatjuk szét. Ezt nevezzük összetett diszjunkt dekompozíciónak.
  - Hierarchikus, egymásba ágyazott eljárás,
  - Változók Q halmazát 2-nél több diszjunkt részhalmazra osztjuk: $Q_1 \cap Q_2 \cap \ldots \cap Q_m = \emptyset$

Összetett diszjunkt dekompozíció

- Lehetséges összetett dekompozíciók:
  - 1.) Többszörös diszjunkt dekompozíció (TDD)
  - 2.) Iteratív diszjunkt dekompozíció (IDD)
  - 3.) Komplex diszjunkt dekompozíció (KDD)
- Összefüggések az egyszerű-, és összetett diszjunkt dekompozíciók között:
  - a.) EDD → IDD állítás
  - b-c.) EDD → TDD állítások

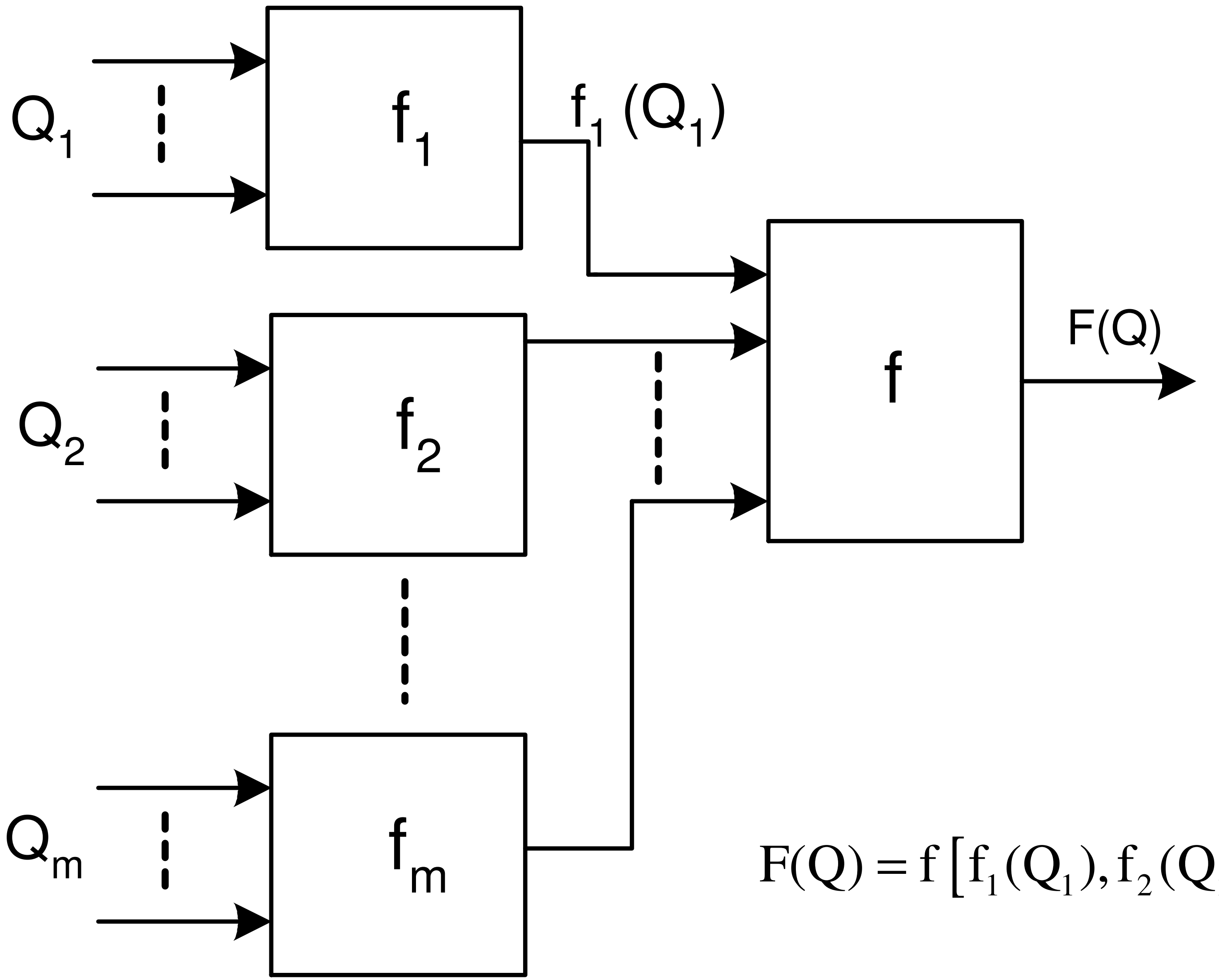
1.) **Többszörös** diszjunkt dekompozíció (TDD)

- Ha az F logikai függvény változói diszjunkt részhalmazokba sorolhatók a következő formula szerint:

$$F(Q) = f\left[f_1(Q_1), f_2(Q_2), \ldots, f_m(Q_m)\right]$$

akkor az F felírható az f_1, f_2, …,f_m részfüggvények **többszörös diszjunkt dekompozíciójaként.**

1.) Többszörös diszjunkt dekompozíciót (TDD) megvalósító hálózat



$$F(Q) = f\left[f_1(Q_1), f_2(Q_2), \ldots, f_m(Q_m)\right]$$

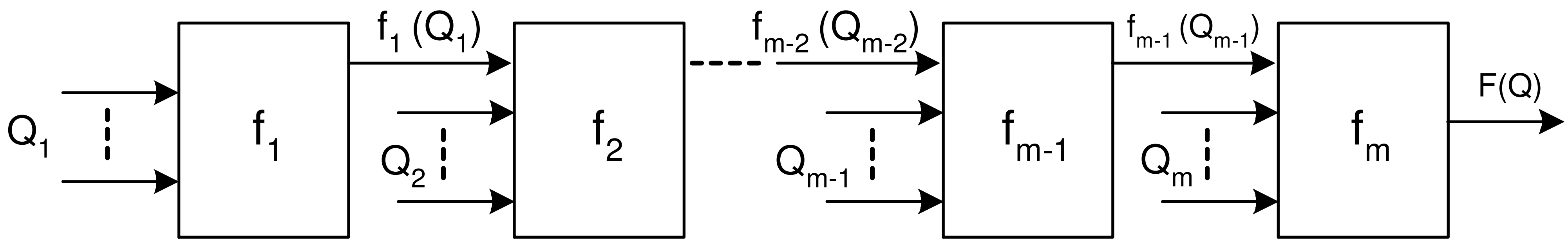
2.) **Iteratív** diszjunkt dekompozíció (IDD)

- Ha az F logikai függvény változói diszjunkt részhalmazokba sorolhatók a következő formula szerint:

$$F(Q) = f_m(Q_m, f_{m-1}(Q_{m-1}, f_{m-2}(Q_{m-2}, ..., f_1(Q_1)...)))$$

akkor az F felírható az f_1, f_2, …, f_{m-2} , f_{m-1} , *és* f_m részfüggvények **iteratív diszjunkt dekompozíciójaként**.

2.) Iteratív diszjunkt dekompozíciót (IDD) megvalósító hálózat



„Egymásba ágyazott" dekomponált f_k függvények sorozata:

$$F(Q) = f_m(Q_m, f_{m-1}(Q_{m-1}, f_{m-2}(Q_{m-2}, \ldots, f_1(Q_1)\ldots)))$$

3.) **Komplex** diszjunkt dekompozíció (KDD)

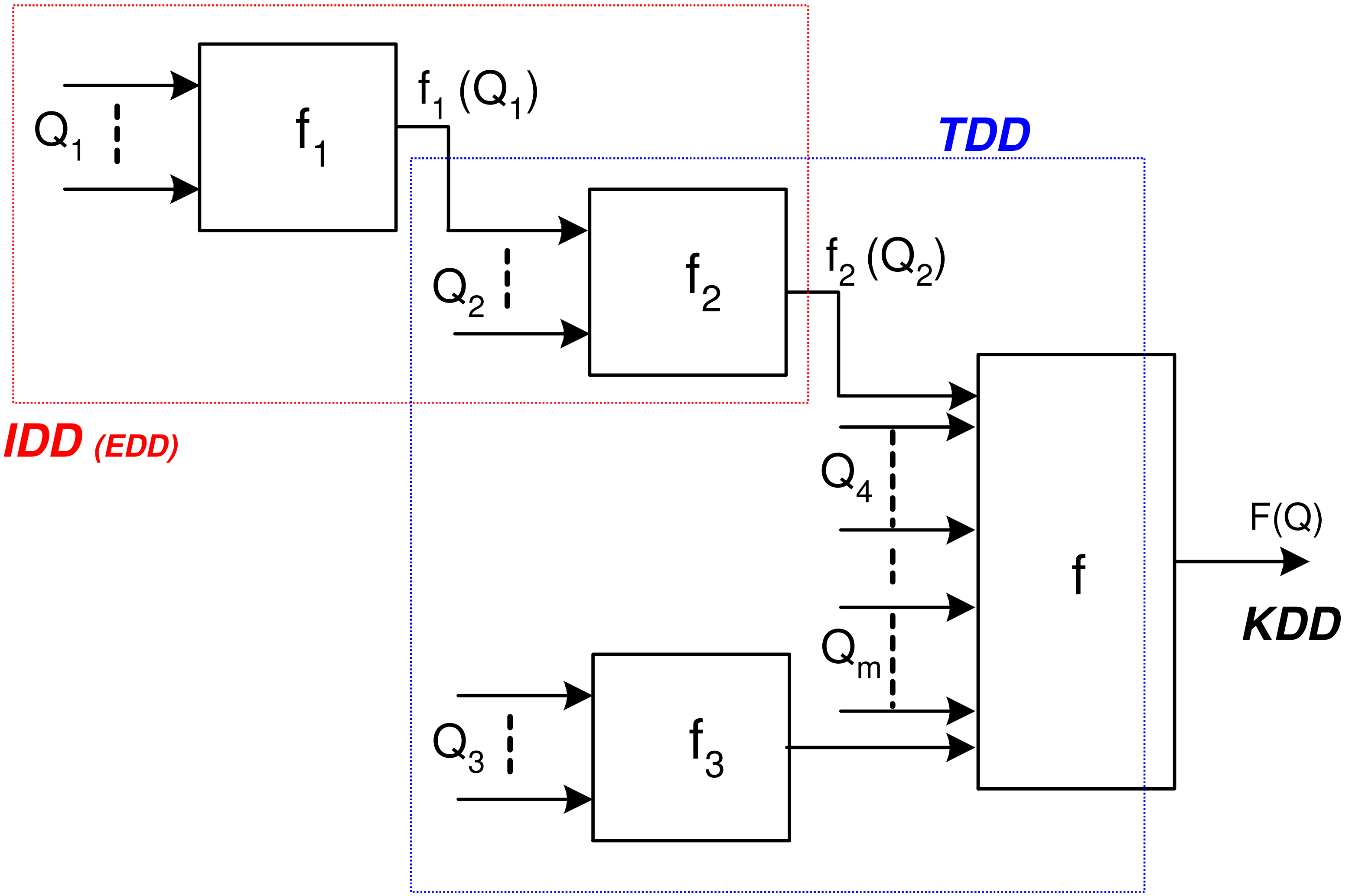
- Ha az F logikai függvény változói diszjunkt részhalmazokba sorolhatók a következő formula szerint:

$$F(Q) = f\left[f_2\left\{f_1(Q_1), Q_2\right\}, f_3(Q_3), Q_4, \ldots, Q_m\right]$$

akkor az F felírható az f_1, f_2, …, f_m részfüggvények **komplex diszjunkt dekompozíciójaként**.

- Kompex DD = többszörös DD + iteratív DD

3.) Komplex diszjunkt dekompozíciót (KDD) megvalósító hálózat



$$F(Q) = f\left[f_2\left\{f_1(Q_1), Q_2\right\}, f_3(Q_3), Q_4, \ldots, Q_m\right]$$

Összefüggések az Egyszerű- és, Összetett diszjunkt dekompozíciók között

- **Állítások**: Ha adott alakban létezik az F függvény EDD-je, akkor felírható és létezik az IDD-je, illetve TDD-je.
  - a.) EDD $\rightarrow$ IDD
  - b-c.) EDD $\rightarrow$ TDD

a.) Összefüggés: EDD → IDD

- Állítás: Ha egy F(Q) logikai függvénynek létezik az alábbi két egyszerű diszjunktív dekompozíciója:

$$F(Q) = f_\alpha\left[f_1(Q_1, Q_2), Q_3\right] = f_\beta\left[f_1(Q_1), Q_2, Q_3\right]$$

- akkor létezik az alábbi *__iteratív__* diszjunkt dekompozíciója (IDD) is:

$$F(Q) = f_\alpha\left[f_3\{f_1(Q_1), Q_2\}, Q_3\right]$$

- ahol:

$$f_3\{f_1(Q_1), Q_2\} = f_2(Q_1, Q_2)$$

Példa a.): EDD $\rightarrow$ IDD

- Adott a következő DNF alak:

$$F^5(A,B,C,D,E)=\sum_{i=0}^{2^n-1}(5,10,11,14,17,21,26,30)$$

- Megoldása: Arató könyv: 123.oldal (gyakorlat)

b.) Összefüggés: EDD → TDD

- Állítás: Ha egy F(Q) logikai függvénynek létezik az alábbi két egyszerű diszjunktív dekompozíciója:

$$F(Q) = f_\alpha\left[f_1(Q_1), Q_2, Q_3\right] = f_\beta\left[f_2(Q_2), Q_1, Q_3\right]$$

- akkor létezik az alábbi többszörös diszjunkt dekompozíciója is:

$$F(Q) = f_\gamma\left[f_1(Q_1), f_2(Q_2), Q_3\right]$$

Példa b.): EDD → TDD

- Adott a következő DNF alak:

$$F^5(A,B,C,D,E)=\sum_{i=0}^{2^n-1}(1,2,4,7,8,11,13,14,16,19,21,22,25,26,28,31)$$

- Megoldása: Arató könyv: 125.oldal (gyakorlat)

c.) Összefüggés: EDD → TDD

- Állítás: Ha egy F(Q) logikai függvénynek létezik az alábbi két egyszerű diszjunktív dekompozíciója:

$$F(Q) = f_\alpha\left[f_1(Q_1), Q_2\right] = f_\beta\left[f_2(Q_2), Q_1\right]$$

- akkor létezik az alábbi többszörös diszjunkt dekompozíciója is:

$$F(Q) = f_\gamma\left[f_1(Q_1), f_2(Q_2)\right]$$

Példa c.): EDD → TDD

- Adott a következő DNF alak:

$$F^4(A,B,C,D)=\sum_{i=0}^{2^n-1}(0,3,5,6,9,10,12,15)$$

- Megoldása: Arató könyv: 127.oldal (gyakorlás)
- Vizsgáljuk meg CD-AB változók szerint az felosztási táblát!

2sz-2k

[OK]

Oszlopfajta = 2

CD / AB	00	01	11	10
00	0	1	3	2
01	4	5	7	6
11	12	13	15	14
10	8	9	11	10

Felosztási alapján 2 lehetséges EDD-je is van!

Vizsgálat: oszlopok alapján a **CD**, míg a sorokat tekintve oszlopnak az **AB** változók tekinthetők kötött változóknak.

$$F^4(A,B,C,D)=\sum_{i=0}^{2^n-1}(0,3,5,6,9,10,12,15)$$

Példa c.) (folyt.) ***EDD -> TDD igazolása.***

- Legyen: ***AB-CD (2sz-2k): azaz oszlop leolvasással (sor-oszlop csere nélkül)***

$$Q_2=(A,B),\ \textit{szabad/kiemel} \qquad Q_1=(C,D)\ \textit{kötött}$$

$$F^4(A,B,C,D)=f_\alpha\left[f_1(Q_1),Q_2\right]=(\overline{A}\,\overline{B}+AB)\cdot\overline{f_1(C,D)}+(A\overline{B}+\overline{A}B)\cdot f_1(C,D)=$$

$$=\overline{(A\oplus B)}\cdot\overline{f_1(C,D)}+(A\oplus B)\cdot f_1(C,D)\ \overset{EQ=\overline{AV}}{=}\ \overline{\underbrace{(A\oplus B)}_{f_2(A,B)}\oplus f_1(C,D)},$$

$$\text{ahol}\qquad f_1(C,D)=\overline{C}D+C\overline{D}=C\oplus D$$

- Legyen: ***CD-AB (2sz-2k): azaz sor-oszlop cserét végzünk a leolvasásnál!***

$$F^4(A,B,C,D)=f_\beta\left[f_2(Q_2),Q_1\right]=(\overline{C}\,\overline{D}+CD)\cdot\overline{f_2(A,B)}+(C\overline{D}+\overline{C}D)\cdot f_2(A,B)=$$

$$=\overline{(C\oplus D)}\cdot\overline{f_2(A,B)}+(C\oplus D)\cdot f_2(A,B)\ \overset{EQ=\overline{AV}}{=}\ \overline{f_2(A,B)\oplus\underbrace{(C\oplus D)}_{f_1(C,D)}},$$

$$\text{ahol}\qquad f_2(A,B)=\overline{A}B+A\overline{B}=A\oplus B$$

Összevetve a két eredményt:

$$F^4(A,B,C,D)=\overline{f_2(A,B)\oplus f_1(C,D)}=\underline{f_\gamma\left[f_2(A,B),f_1(C,D)\right]}.$$

Legyen: $\overline{f_2}$

f_2

Legyen: $\overline{f_1}$

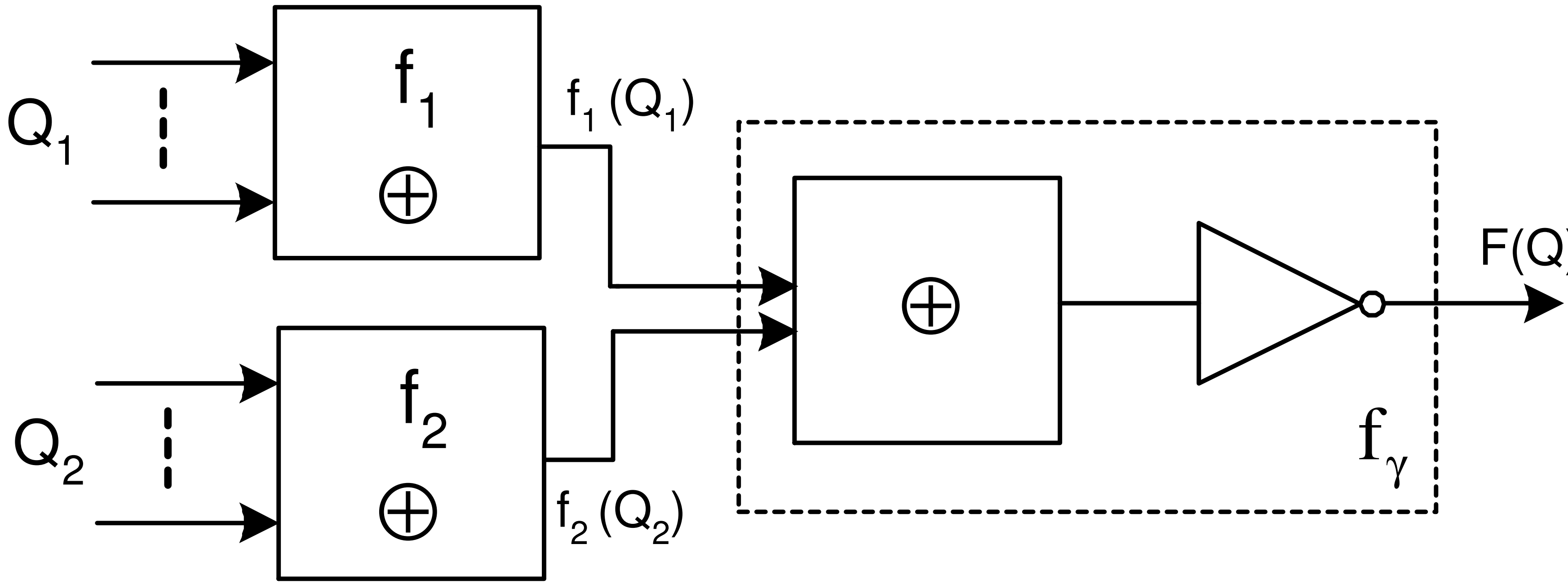
f_1

AB \ CD	00	01	11	10
00	0	1	3	2
01	4	5	7	6
11	12	13	15	14
10	8	9	11	10

Példa c.) (folyt.)

- TDD kapcsolási rajz:

$$F^{n=4}(A,B,C,D)=\overline{f_2(A,B)\oplus f_1(C,D)}=f_\gamma\left[\underbrace{f_2(A,B)}_{A\oplus B},\underbrace{f_1(C,D)}_{C\oplus D}\right]$$



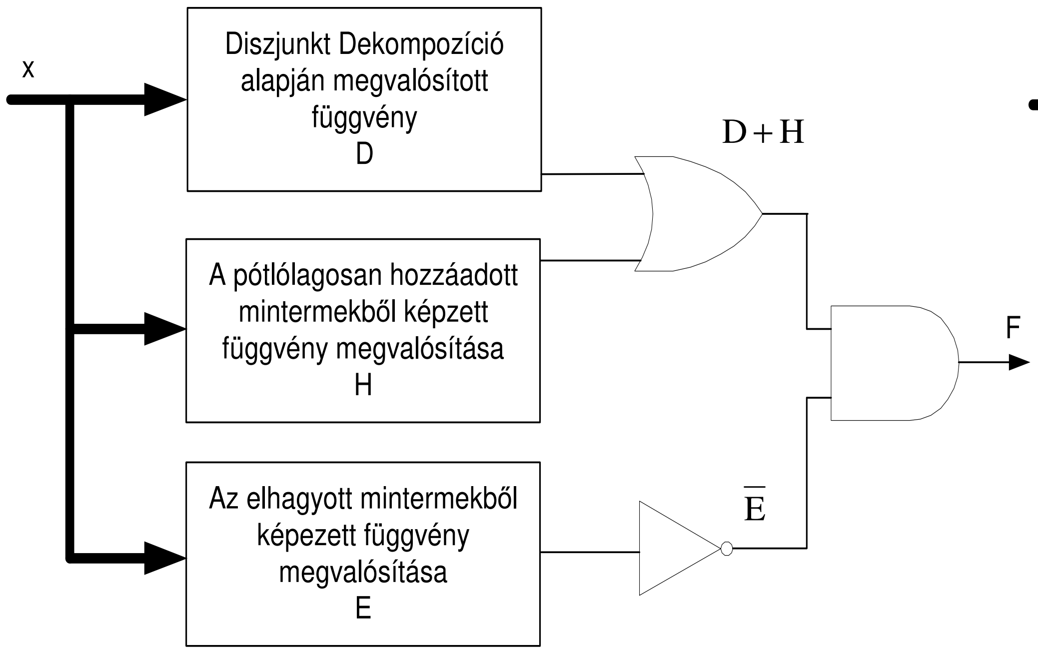
Dekomponált függvénnyé tehető TSH/NTSH függvény minimalizálása

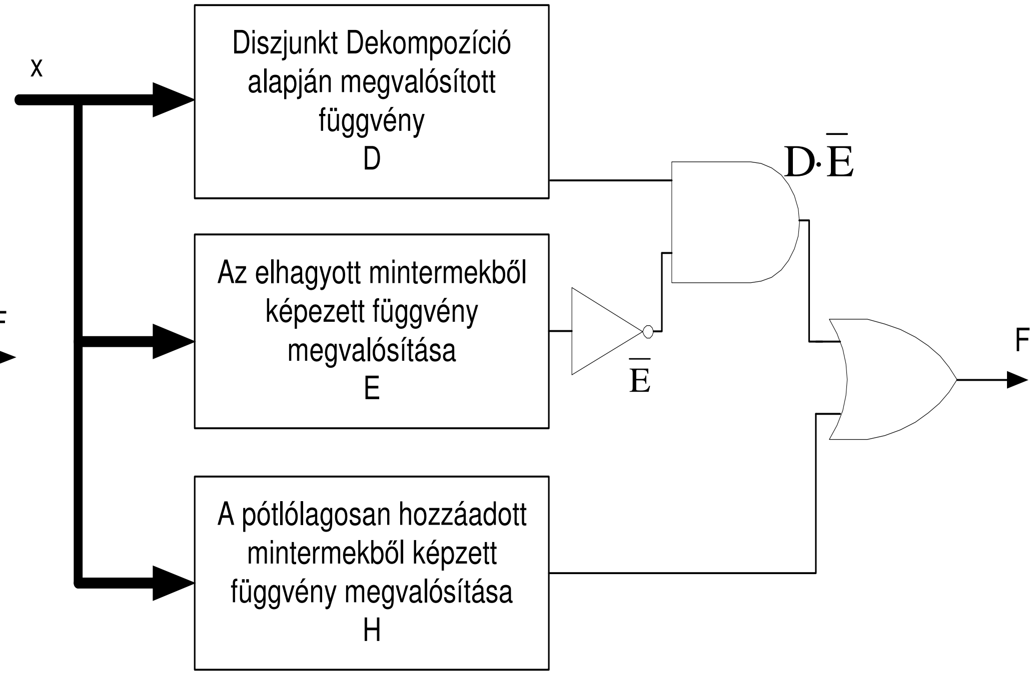
- NTSH-ban hasonlóan kell eljárni mint az TSH hálózatok esetén, egyedül a don’t care értékeket (mintermeket) kell kezelni
  - Úgy választjuk meg x=0/1 –nek, hogy a felosztási tábla oszlopfajtái (sorfajtái) lehetőleg ≤ 2 !!
- Hasonlóan fejezzük ki F-et a dekomponált D függvény (építőelem) segítségével úgy, hogy D-hez mintermeket adunk hozzá (h), illetve mintermeket veszünk el (e).
  - Megj: Hasonlóan történik mint az S szimmetrikus függvények esetén vizsgáltuk.

Általánosan: Dekomponálttá tehető TSH/NTSH függvény minimalizálása

$$F = (D + H) \cdot \overline{E}$$

$$F = D \cdot \overline{E} + H$$





Mintermek elhagyásával (E), ill. hozzávételével (H) diszjunkt dekompozíciós függvényként kifejezett F függvény megvalósításának általános felépítése.

Általánosan: Dekomponálttá tehető TSH/NTSH függvény minimalizálása

- Hátrány: Dekompozíciós függvénnyel kifejezett F függvény esetén nem biztos, hogy hazárdmentes hálózatot kapunk.
  - Mivel nem állíthatjuk, hogy az előző ábrán D-vel, E-vel és H-val jelölt hálózatok bemenetei között nincsenek azonosak!, annak ellenére hogy D biztosan hazárdmentes
  - Ezért kevésbé alkalmas hazárdmentes függvények előállításához

Többszintű, többkimenetű hálózatok EDD-je

- Az EDD-k képzését minden egyes kimeneti függvényre meg kell vizsgálni.
  - Figyelni arra, hogyha több kimenet esetén azonos *részhálózatok* adódnak, akkor ezeket csak egyszer kell megvalósítani.
- Kevésbé szisztematikus módszer.

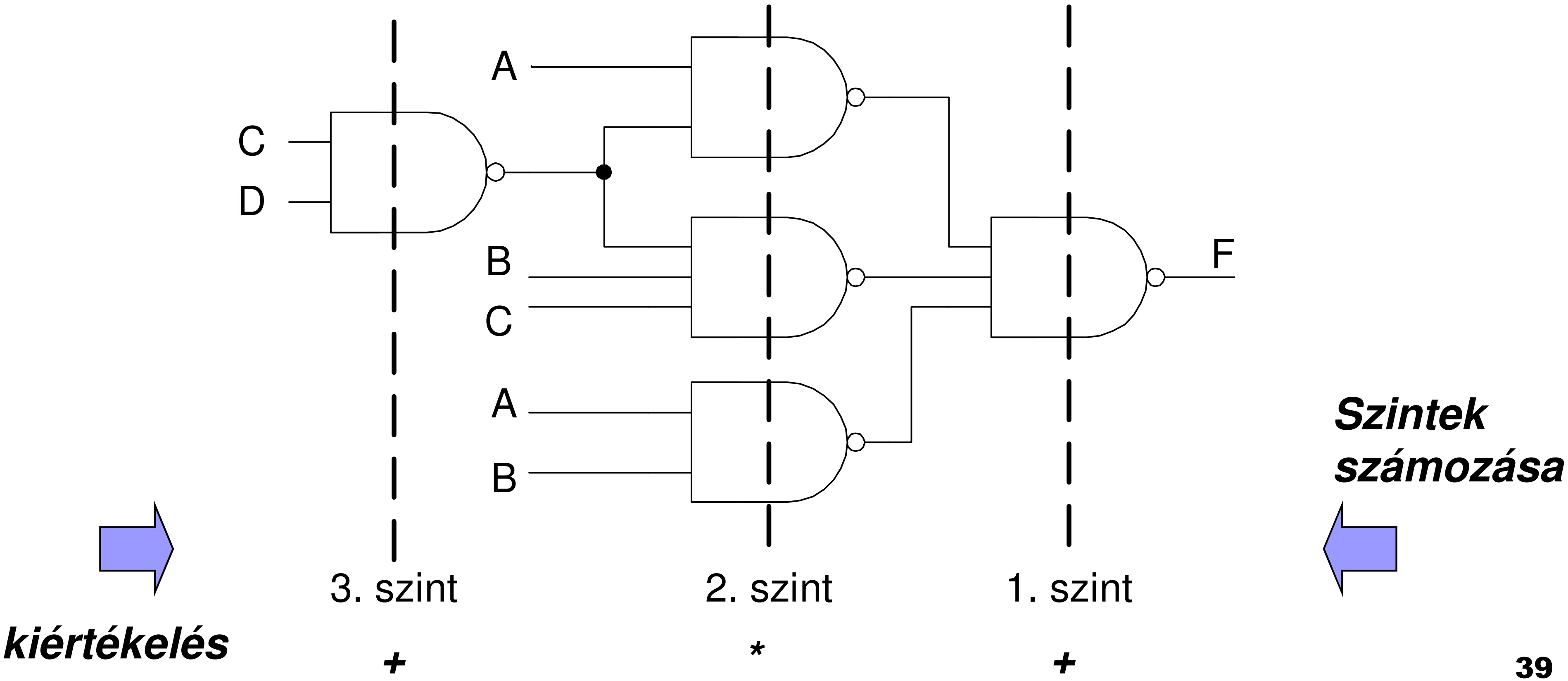
Többszintű hálózatok NAND, NOR kapukból történő felépítésének módszerei

TÖRVÉNYSZERŰSÉGEK:

- **I. NAND kapus megvalósítás esetén:** A *páros (páratlan)* szinteken lévő kapuk a bemeneteikre kapcsolódó változók *ponáltjai (negáltjai)* közötti *ÉS (VAGY)* kapcsolatokat valósítják meg.
- **II. NOR kapus megvalósítás esetén:** A *páros (páratlan)* szinteken lévő kapuk a bemeneteikre kapcsolódó változók *ponáltjai (negáltjai)* közötti *VAGY (ÉS)* kapcsolatokat valósítják meg.
- *FONTOS: Szintek számozását* az F függvény kimenetétől *visszafelé* haladva kell megadni! Szintek egymás után kapcsolódhatnak csak:
  - Ez kedvező a hazárdok szintenkénti vizsgálatánál

Példa 1.: NAND

- Adott a következő többszintű (3) NAND kapukkal felépített függvény (szintek számozása F-től visszafelé)



Példa 1. (folyt): NAND

- **Hagyományos módszer**: Leolvasott logikai függvény, és algebrai átalakításai után az alábbi DNF alakot kapjuk:

$$F^4(A,B,C,D) = \overline{\overline{A\cdot\overline{CD}}\cdot\overline{BC\cdot\overline{CD}}\cdot\overline{AB}} \underset{D.M}{=} A\cdot\overline{CD} + BC\cdot\overline{CD} + AB =$$

$$= A(\overline{C}+\overline{D}) + BC(\overline{C}+\overline{D}) + AB = A\overline{C} + A\overline{D} + BC\overline{D} + AB$$

- **I. Törvényszerűség szerint leolvasva NAND-kapuk felhasználásával**:

$$F^4(A,B,C,D) = A(\overline{C}+\overline{D}) + BC(\overline{C}+\overline{D}) + AB = A\overline{C} + A\overline{D} + BC\overline{D} + AB$$

Ezzel a módszerrel egyből, algebrai átalakítások nélkül, megkapjuk a végleges alakot

Példa 2.: NOR

- **II. Törvényszerűség szerint írja fel NOR-kapuk felhasználásával az alábbi F függvényt:**

$$F^{2}(A,B)=\left[A+(\overline{A}\,\overline{B})\right]\cdot\left[B+(\overline{A}\,\overline{B})\right]=\overline{\overline{\left[A+(\overline{A}\,\overline{B})\right]}}\cdot\overline{\overline{\left[B+(\overline{A}\,\overline{B})\right]}}$$