BME KJIT
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Irányítástechnika I.

Előadó: **Dr. Bede Zsuzsanna**, adjunktus
Összeállította: **Dr. Sághi Balázs**, egy. docens
Dr. Tarnai Géza, egy. tanár

Irányítástechnika I.

Dr. Bede Zsuzsanna
bede.zsuzsanna@mail.bme.hu
St. I. em. 104.

Követelmények

- Tanszéki honlap: www.kjit.bme.hu/hallgatoknak/iranyitastechnika-i
- Gyakorlatok:

kedd	10:15-12:00	102
szerda	8:15-10:00	202
csütörtök	8:15-10:00	102
csütörtök	12:15-14:00	102

- Laborok:
  - felkészülés
  - füzet

1. mérés	5-6 héten
2. mérés	11-12 héten
3. mérés	13-14 héten

- HF:
  - 3. mérésre
- 2 ZH:
  - Pótlás a pótlási héten
- Félévközi jegy
  - Zh pontszámok átlaga

Tematika

- A rendszer- és irányításelmélet feladatai. Rendszerek leírása és modellezése
- Logikai változók, alapműveletek, kifejezések, függvények kanonikus alakjai és minimalizálása.
- Kombinációs hálózatok statikus viselkedése és tranziensei (hazárdok).
- Sorrendi hálózatok. Moore és Mealy automaták.
  - Szinkron sorrendi hálózatok tervezése.
  - Aszinkron sorrendi hálózatok tervezése.
  - Aszinkron sorrendi hálózatok dinamikai problémái (versenyhelyzetek).

Tematika

- A rendszer- és irányításelmélet feladatai. Rendszerek leírása és modellezése
- Logikai változók, alapműveletek, kifejezések, függvények kanonikus alakjai és minimalizálása.
- Kombinációs hálózatok statikus viselkedése és tranziensei (hazárdok).
- Sorrendi hálózatok. Moore és Mealy automaták.
  - Szinkron sorrendi hálózatok tervezése.
  - Aszinkron sorrendi hálózatok tervezése.
  - Aszinkron sorrendi hálózatok dinamikai problémái (versenyhelyzetek).

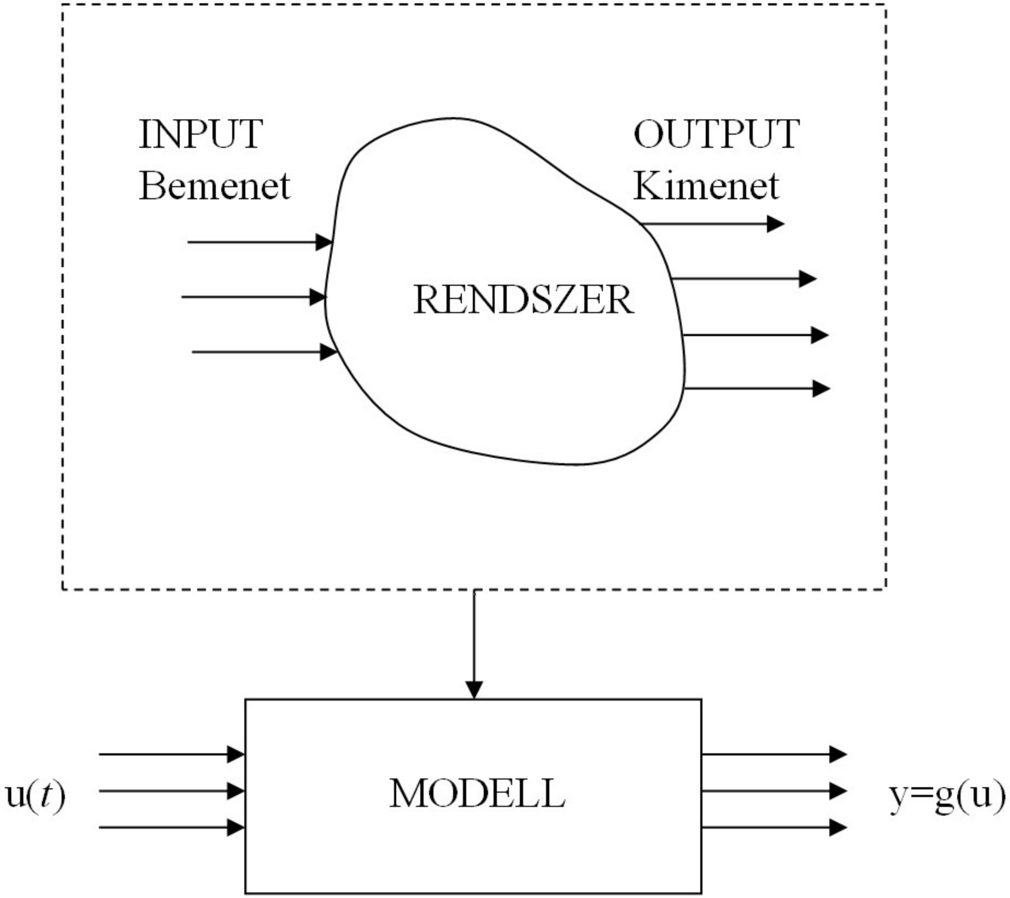
A rendszer fogalma

Egy lehetséges rendszerfogalom definíció az irodalomból:

A rendszer elemek olyan kombinációja, amely

- együttesen,
- az elemek együttműködése, illetve kölcsönhatása révén
- olyan funkció megvalósítására képes,
- amelyre az egyes elemek (vagy azok egyszerű összessége) nem képesek.

A rendszer fogalma

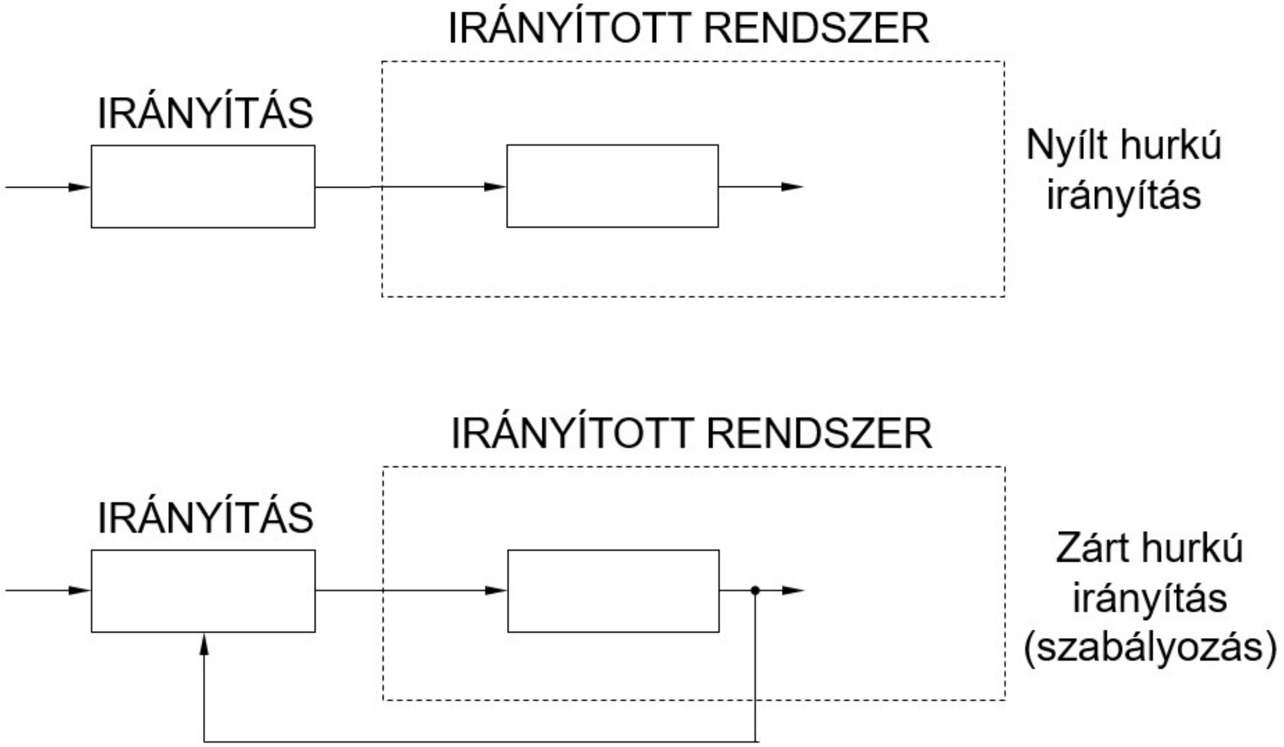


A rendszer- és irányításelmélet feladatai

1. Modellezés és analízis
2. Tervezés és szintézis
3. Irányítás
    - Kívánt viselkedés
    - Teljesítmény-értékelés
    - Optimálás

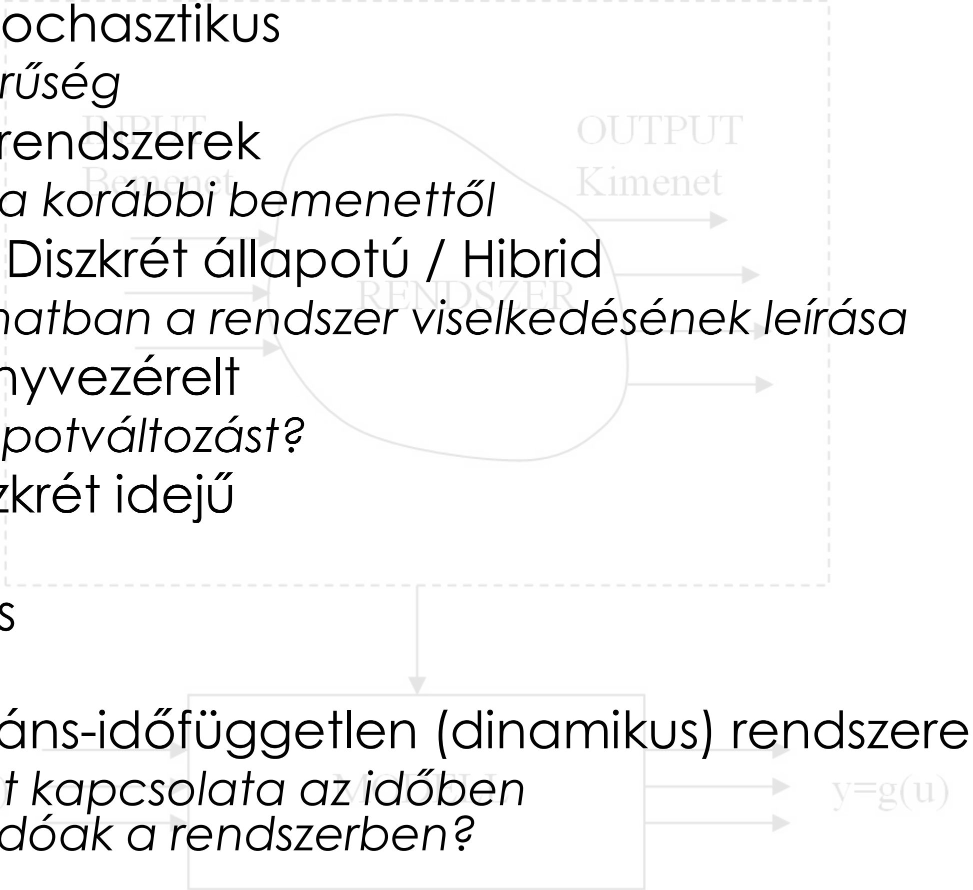
Az irányítás feladata a rendszer kívánt viselkedésének eléréséhez szükséges „helyes bemenetek" kiválogatása.

A rendszer- és irányításelmélet feladatai



Az irányítás feladata a rendszer kívánt viselkedésének eléréséhez szükséges „helyes bemenetek” kiválogatása.

A rendszer fajtái



- Determinisztikus / Sztochasztikus
  van-e véletlenszerűség
- Statikus / dinamikus rendszerek
  kimenet függése a korábbi bemenettől
- Folytonos állapotú / Diszkrét állapotú / Hibrid
  állapot: t időpillanatban a rendszer viselkedésének leírása
- Idővezérelt / Eseményvezérelt
  mi váltja ki az állapotváltozást?
- Folytonos idejű / Diszkrét idejű
  mintavételezés
- Lineáris / Nemlineáris
  szuperpozíció
- Időfüggő / Időinvariáns-időfüggetlen (dinamikus) rendszerek
  bemenet/kimenet kapcsolata az időben
  a szabályok állandóak a rendszerben?

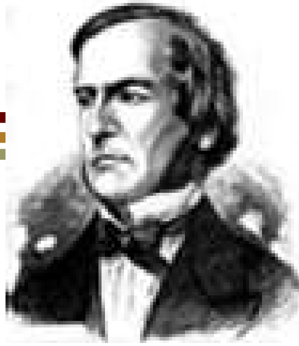
A rendszer fajtái

- **Determinisztikus** / Sztochasztikus
- **Statikus** / **dinamikus**
- Folytonos állapotú / **Diszkrét állapotú** / Hibrid
- **Idővezérelt** / **Eseményvezérelt**
- Folytonos idejű / **Diszkrét idejű**
- Lineáris / **Nemlineáris**
- Időfüggő / **Időinvariáns**

Tematika

- A rendszer- és irányításelmélet feladatai. Rendszerek leírása és modellezése
- Logikai változók, alapműveletek, kifejezések, függvények kanonikus alakjai és minimalizálása.
- Kombinációs hálózatok statikus viselkedése és tranziensei (hazárdok).
- Sorrendi hálózatok. Moore és Mealy automaták.
  - Szinkron sorrendi hálózatok tervezése.
  - Aszinkron sorrendi hálózatok tervezése.
  - Aszinkron sorrendi hálózatok dinamikai problémái (versenyhelyzetek).

Logikai hálózat / Boole-algebra



George Boole (1815-1864)

A Boole-algebrában három alapműveletet értelmezünk:

- NEGÁCIÓ (jelölése felülvonás, pl. $\bar{A}$; a hosszú felülvonással jelölt negáció zárójelet is helyettesít, azaz $\overline{AB} \neq \bar{A}\bar{B}$),
- logikai ÉS művelet (jelölése $\cdot$: $A \cdot B$),
- logikai VAGY művelet (jelölése +, pl. $A + B$).

Boole-algebra

- Logikai alapműveletek:

$$0 \cdot 0 = 0 \cdot 1 = 1 \cdot 0 = 0; \qquad 1 \cdot 1 = 1$$

$$0 + 1 = 1 + 0 = 1 + 1 = 1; \qquad 0 + 0 = 0$$

$$\overline{0} = 1; \quad \overline{1} = 0; \quad \overline{\overline{0}} = 0; \quad \overline{\overline{1}} = 1$$

Boole-algebra

Logikai algebrai kifejezések:

- kommutativitás, felcserélhetőség
- asszociativitás, csoportosíthatóság
- abszorbció, elnyelési tulajdonság
- disztributivitás, összekapcsolható

- De Morgan-azonosságok

Boole-algebra

- kommutativitás, felcserélhetőség

$$A + B = B + A$$
$$A \cdot B = B \cdot A$$

- asszociativitás, csoportosíthatóság

$$A + B + C = A + (B + C)$$
$$A \cdot B \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$$

- abszorpció, elnyelési tulajdonság

$$A + A \cdot B + A \cdot B \cdot C + \cdots = A$$
$$A \cdot A + B \cdot A + B + C \cdot \cdots = A$$

- disztributivitás, összekapcsolható

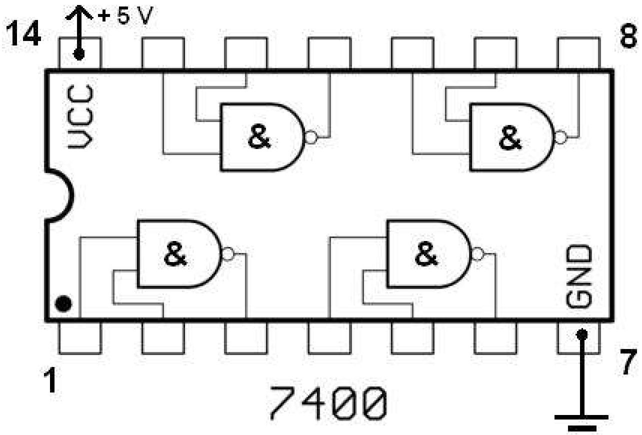
$$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$$
$$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$$
$$A \cdot A + A \cdot C + B \cdot A + B \cdot C = A \cdot (1 + C + B) + BC$$

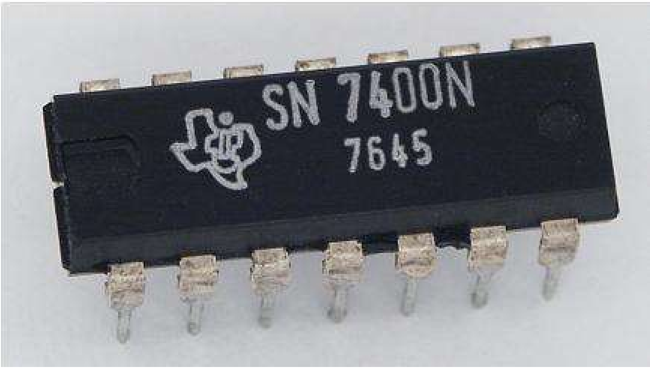
- De Morgan-azonosságok

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

Logikai függvények megvalósítása

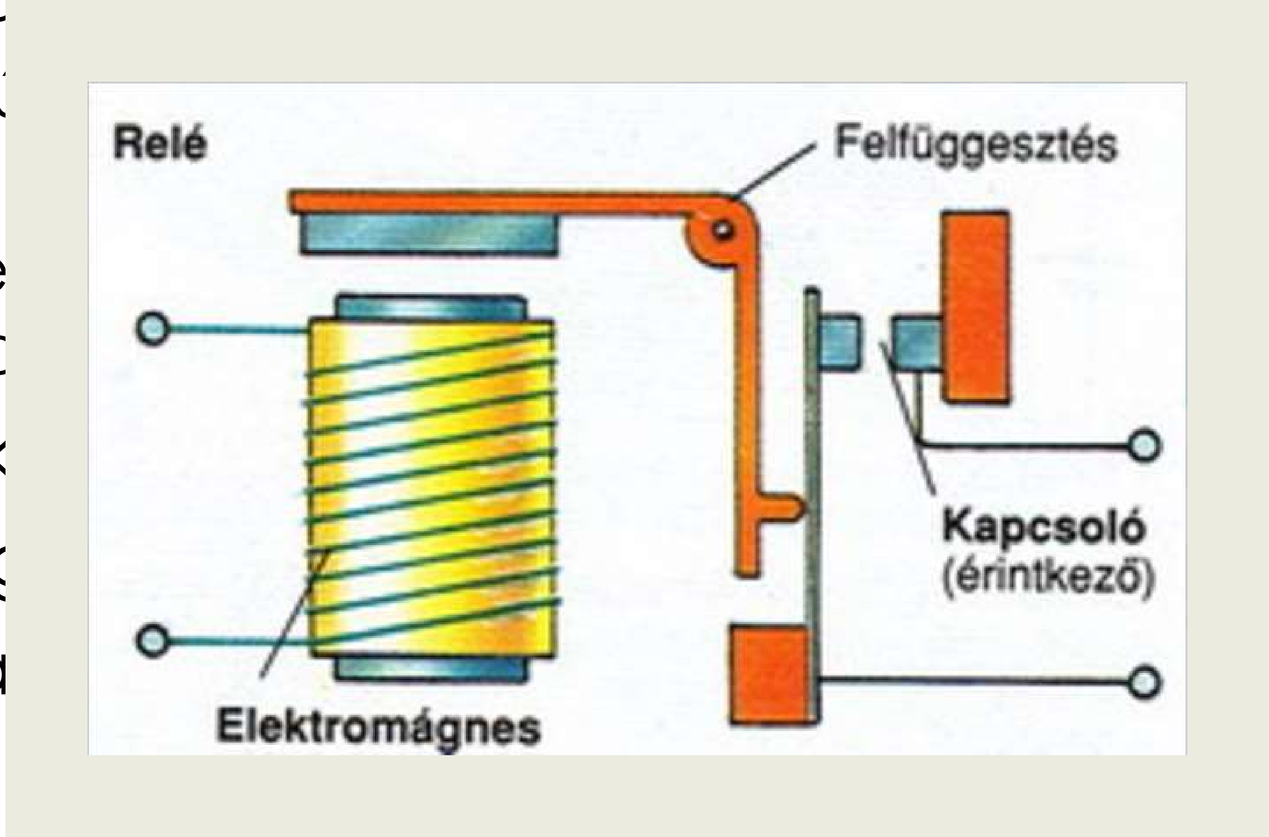
- Kapuáramkörök
  - alapműveletekhez
    - AND, OR, NOT
  - összetett műveletek
    - NAND, NOR, XOR (antivalencia), ekvivalencia
- Jelfogók (relé)
- Számítógépek
- Pneumatikus hálózatok
- …

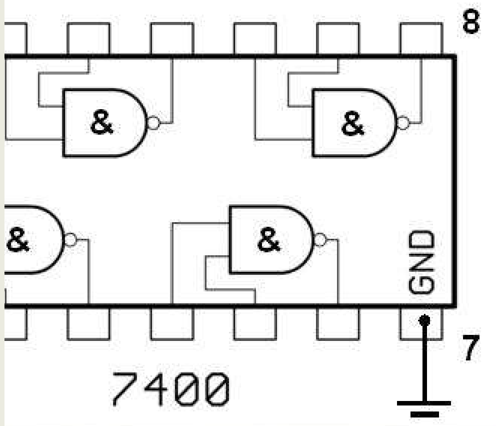


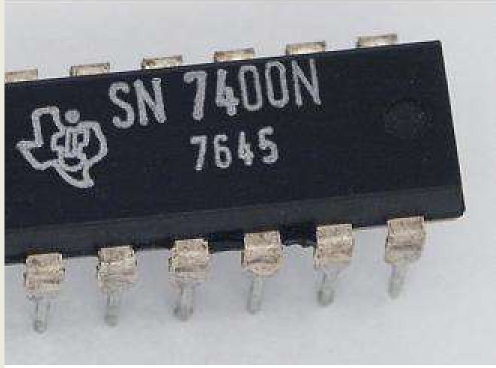


Logikai függvények megvalósítása

- Kapuáramkörök
  - alapmű
    - AND,
  - összete
    - NAND
- Jelfogók
- Számítóg
- Pneuma
- …







Kombinációs hálózatok

- **Determinisztikus** / Sztochasztikus
- **Statikus** / **Dinamikus**
- Folytonos állapotú / **Diszkrét állapotú** / Hibrid
- **Idővezérelt** / **Eseményvezérelt**
- Folytonos idejű / **Diszkrét idejű**
- Lineáris / **Nemlineáris**
- Időfüggő / **Időinvariáns**

Logikai függvények megadása

$$f\colon \{0,1\}^n \to \{0,1\}$$

- *A logikai függvény:*
  - *változói a rendszer bemenetei,*
  - *értékekei a rendszer kimenetei.*
- *A logikai függvény megadása igazságtáblázattal a* ***negáció****,* ***ÉS*** *és* ***VAGY*** *műveletek:*

A	$\bar{A}$
0	1
1	0

A	B	AB	$A+B$
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	1

Logikai függvények, igazságtáblázat

A	B	f_0	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
		0	$A \cdot B$					$A \oplus B$	$A + B$		$A \odot B$						1

Logikai függvények, igazságtáblázat

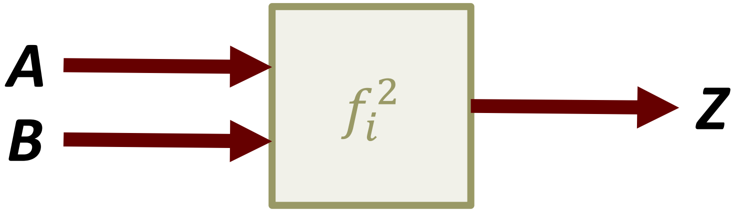
$$f_i^2(A,B) = \overline{f_{15-i}^2(A,B)}$$

A	B	f_0	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
		0	$\cdot$		A		B	$\oplus$	$+$		$\odot$	$\bar{B}$		$\bar{A}$			1

Logikai függvények, algebrai alak

A	B	f_{11}
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	1

$$f_{11}^2(A,B)$$



$$F = \bar{A}\cdot\bar{B} + A\cdot\bar{B} + A\cdot B$$

$$Z = f_{11}^2(A,B) = A + \bar{B}$$

Háromváltozós függvény algebrai minimalizálása

Példa:

A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

Logikai függvények kanonikus alakjai

	$A(2^2)$	$B(2^1)$	$C(2^0)$	F
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	1
3	0	1	1	1
4	1	0	0	1
5	1	0	1	0
6	1	1	0	1
7	1	1	1	0

MINTERM (diszjunktív kanonikus alak)

A minterm alak általános jellemzői összefoglalva a következők:

- a minterm alak logikai szorzatok logikai összege,
- mindegyik szorzatban az összes független változó szerepel ponált vagy negált alakban,
- mindegyik szorzat olyan független-változó kombinációt képvisel, amelyhez tartozó függvényérték 1.

MAXTERM (konjunktív kanonikus alak)

A maxterm alak jellemzői a következők:

- a maxterm alak logikai összegek logikai szorzata,
- mindegyik összegben az összes független változó szerepel ponált vagy negált alakban,
- mindegyik összeg olyan független-változó kombinációt képvisel, amelyhez tartozó függvényérték 0.

Áttérés

- Negált függvény felírása, az *F* függvény értéke 0:

$$\bar F = \bar A\bar B\bar C + \bar A\bar B C + A\bar B C + ABC$$

$$\bar F = m_0^3 + m_1^3 + m_5^3 + m_7^3$$

- Visszatérés a ponált függvényre:

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

$$\bar{\bar F} = \overline{m_0^3 + m_1^3 + m_5^3 + m_7^3}$$

- De Morgan azonosság alkalmazása:

$$F = \overline{\bar A\bar B\bar C} \cdot \overline{\bar A\bar B C} \cdot \overline{A\bar B C} \cdot \overline{ABC}$$

$$F = (A + B + C) \cdot (A + B + \bar C) \cdot$$

$$\cdot (\bar A + B + \bar C) \cdot (\bar A + \bar B + \bar C)$$

$$F = \overline{m_0^3} \cdot \overline{m_1^3} \cdot \overline{m_5^3} \cdot \overline{m_7^3}$$

$$F = M_7^3 \cdot M_6^3 \cdot M_2^3 \cdot M_0^3$$

$$\overline{m_i^n} = M_{2^n-1-i}^n$$

Nem teljesen határozott logikai függvények

A	B	C	F_3
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	–
1	0	1	0
1	1	0	–
1	1	1	0

$$F_3 = \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}BC + (A\bar{B}\bar{C}) + (AB\bar{C})$$

$$F = m_2^3 + m_3^3 + (m_4^3) + (m_6^3)$$

$$F = \sum^{3}(2,3) + (4,6)$$

Nem teljesen határozott logikai függvények

A	B	C	F_3	F_{3a}	F_{3b}	F_{3c}	F_{3d}
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	–	0	0	1	1
1	0	1	0	0	0	0	0
1	1	0	–	0	1	0	1
1	1	1	0	0	0	0	0

$$F_{3a} = \bar{A}B$$
$$F_{3b} = \bar{A}B + B\bar{C}$$
$$F_{3c} = \bar{A}B + A\bar{B}\bar{C}$$
$$F_{3d} = \bar{A}B + A\bar{C}$$

Mintermek minimalizálása

	$A(2^2)$	$B(2^1)$	$C(2^0)$	F_1
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	1
3	0	1	1	1
4	1	0	0	1
5	1	0	1	0
6	1	1	0	1
7	1	1	1	0

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

$$F = m_2^3 + m_3^3 + m_4^3 + m_6^3$$

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

$$F = (m_2^3 + m_3^3) + (m_4^3 + m_6^3)$$

2^k számú szomszédos minterm összevonásakor k számú változó„esik ki”

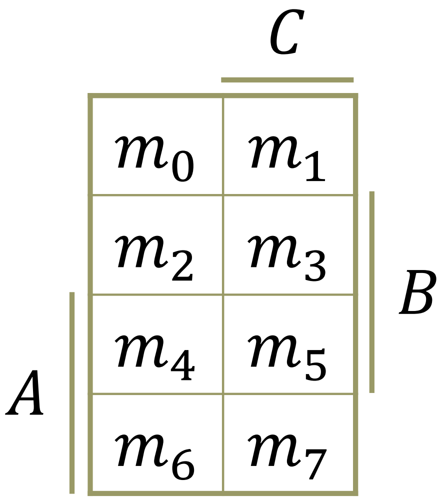
Mintermek minimalizálása

- **minterm** – olyan speciális elemi logikai szorzat (ÉS) függvény, amely valamennyi változót tartalmazza ponált vagy negált formában
- **szomszédos mintermek** – csak egy helyértéken térnek el egymástól (egy változó az egyik mintermben ponált, a másikban negált értékkel szerepel, a többi változó mindkettőben azonos módon)
- egy „n” változós logikai függvény egy mintermjének „n” darab szomszédos mintermje lehet, hiszen „n” helyértéken különbözhetnek egy változóban

KARNAUGH-tábla igazságtáblából

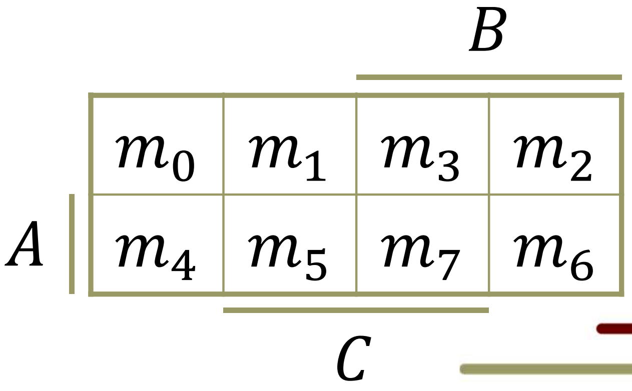
A	B	C	F
0	0	0	m_0
0	0	1	m_1
0	1	0	m_2
0	1	1	m_3
1	0	0	m_4
1	0	1	m_5
1	1	0	m_6
1	1	1	m_7

		C	
A	B	0	1
0	0	m_0	m_1
0	1	m_2	m_3
1	1	m_4	m_5
1	0	m_6	m_7



m_0	m_1
m_2	m_3
m_4	m_5
m_6	m_7

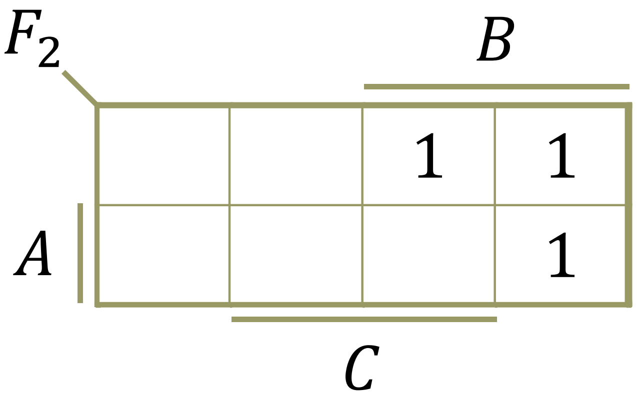
A \ BC	00	01	11	10
0	m_0	m_1	m_3	m_2
1	m_4	m_5	m_7	m_6



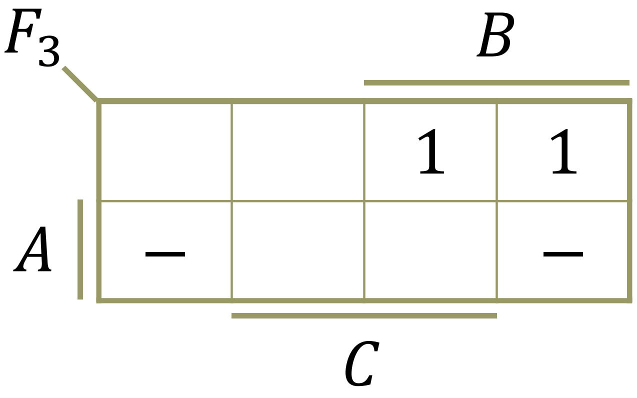
m_0	m_1	m_3	m_2
m_4	m_5	m_7	m_6

KARNAUGH-tábla kitöltése

A	B	C	F_2	F_3
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	–
1	0	1	0	0
1	1	0	1	–
1	1	1	0	0



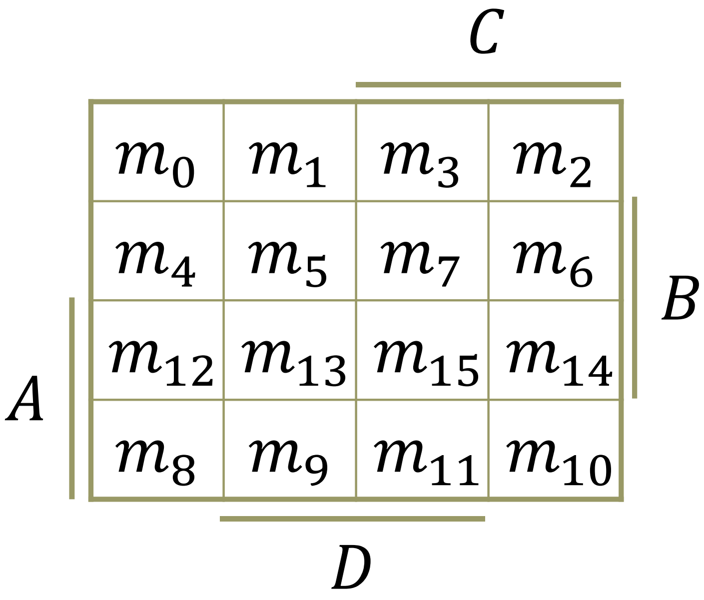
		1	1
			1



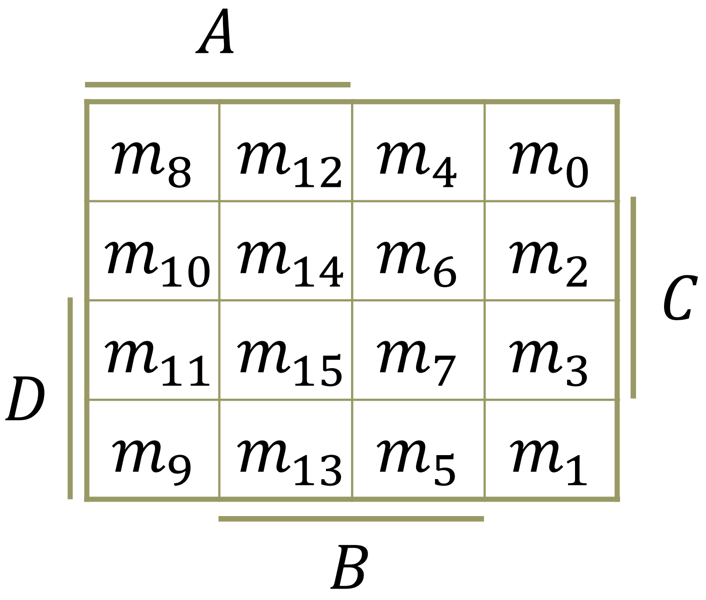
		1	1
–			–

Négyváltozós KARNAUGH-tábla

AB\CD	00	01	11	10
00	m_0	m_1	m_3	m_2
01	m_4	m_5	m_7	m_6
11	m_{12}	m_{13}	m_{15}	m_{14}
10	m_8	m_9	m_{11}	m_{10}



m_0	m_1	m_3	m_2
m_4	m_5	m_7	m_6
m_{12}	m_{13}	m_{15}	m_{14}
m_8	m_9	m_{11}	m_{10}



m_8	m_{12}	m_4	m_0
m_{10}	m_{14}	m_6	m_2
m_{11}	m_{15}	m_7	m_3
m_9	m_{13}	m_5	m_1

Logikai függvények egyszerűsítése

- a szomszédos mintermek megkeresése, párba válogatása (Karnaugh-táblán grafikusan ábrázolva)
- a lehetséges összevonások után a kiadódó termek közül szintén meg kell keresni a szomszédosakat
- az eljárást addig kell folytatni, amíg a logikai függvény olyan szorzatok összege nem lesz, amelyekből már egyetlen változó sem hagyható el anélkül, hogy a logikai függvény meg nem változna
- az ilyen logikai összegekben szereplő logikai szorzatok a ***prímimplikánsok***

Egyszerűsítés szomszédos mintermek összevonásával

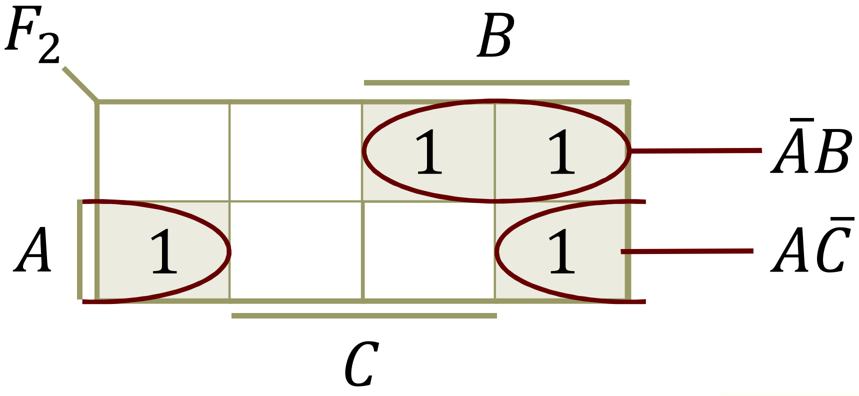
	$A(2^2)$	$B(2^1)$	$C(2^0)$	F_1
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	1
3	0	1	1	1
4	1	0	0	1
5	1	0	1	0
6	1	1	0	1
7	1	1	1	0

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

$$F = m_2^3 + m_3^3 + m_4^3 + m_6^3$$

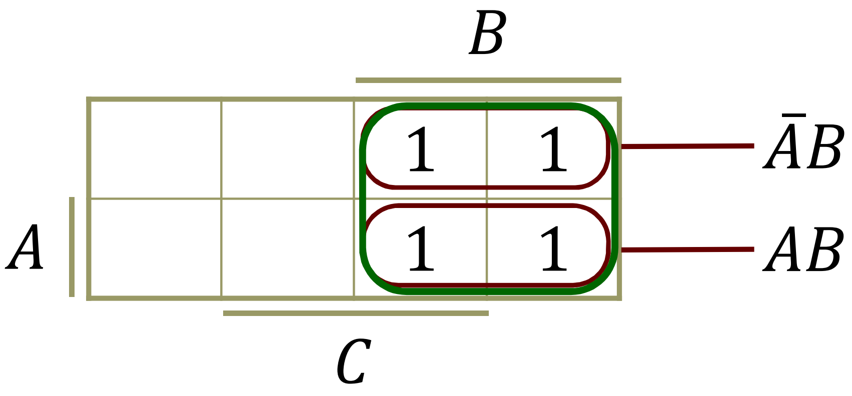
$$F = \bar{A}B(\bar{C} + C) + A\bar{C}(\bar{B} + B)$$

$$F = (m_2^3 + m_3^3) + (m_4^3 + m_6^3)$$



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

Példa az összevonásra



$$F = \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}BC + ABC + AB\bar{C} =$$

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

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

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

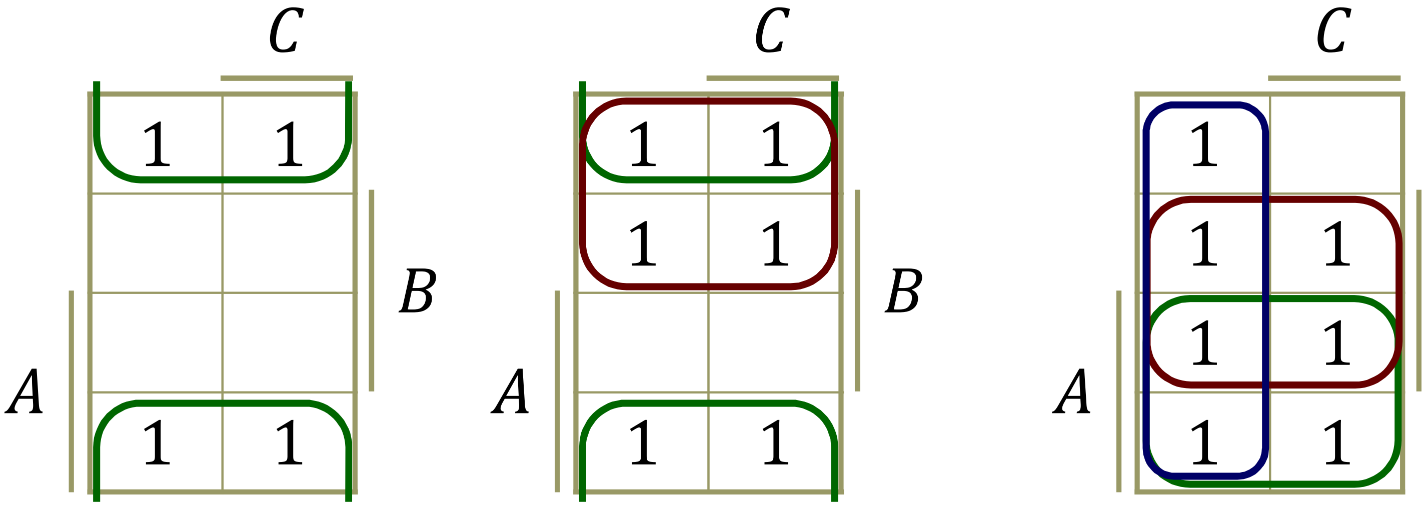
Egyszerűsítés Karnaugh-tábla segítségével

Az olyan logikai összegekben szereplő logikai szorzatokat ***prímimplikánsok***nak nevezzük, amelyekből már egyetlen változó sem hagyható el anélkül, hogy a logikai függvény meg nem változna

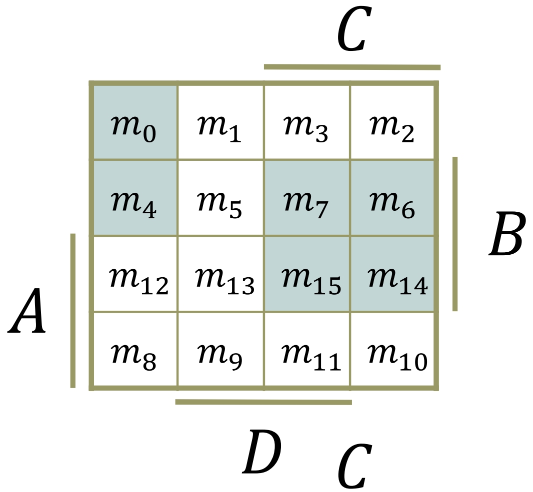
A Karnaugh-tábla segítségével történő függvényegyszerűsítés szabályai:

- Minden 1-est le kell fedni legalább egy huroknak, 0 nem kerülhet egyik hurokba sem
- Mindig annyi 1-est lehet összevonni, amelyek száma megfelel 2 valamelyik egész hatványának
- Az összevonások alakja mindig téglalap kell legyen, ugyanis csak azok a termek szomszédosak egymással, de az összevonás folytatódhat a tábla másik szélén.
- Minél több 1-est vonunk össze, annál több logikai változót hagyhatunk el a szorzatból (két 1-es összevonásakor 1 változót, négy 1-es összevonásakor 2 változót, nyolc 1-es összevonásakor 3 változót stb. hagyhatunk el.).
- Egyedülálló 1-es esetén egyszerűsítésre nincs mód, ekkor a teljes minterm felírásra kerül (egyes hurok) – egyetlen változót sem hagyhatunk el.
- Egy-egy Karnaugh-táblában szereplő 1-es akár több prímimplikánsban is szerepelhet, azaz a hurkok egymásba nyúlhatnak.
- Úgy kell minden 1-est lefedni, hogy ezt a lehető legkevesebb számú hurokkal tegyük, ezért a lehető legnagyobb hurkokat kell keresni.

Példa összevonásra

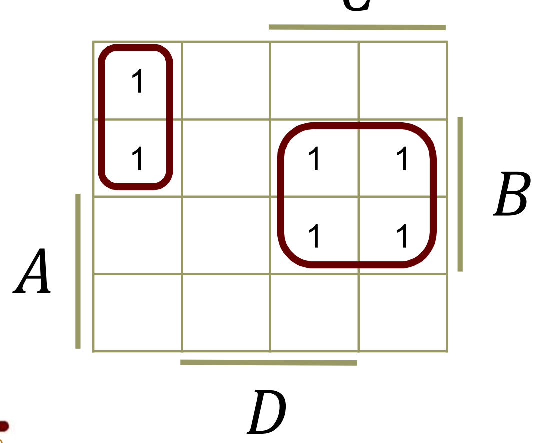


Összevonás négyváltozós Karnaugh táblán



m_0	m_1	m_3	m_2
m_4	m_5	m_7	m_6
m_{12}	m_{13}	m_{15}	m_{14}
m_8	m_9	m_{11}	m_{10}

$$F=(m_0^4+m_4^4)+(m_6^4+m_7^4+m_{14}^4+m_{15}^4)$$



1			
1		1	1
		1	1

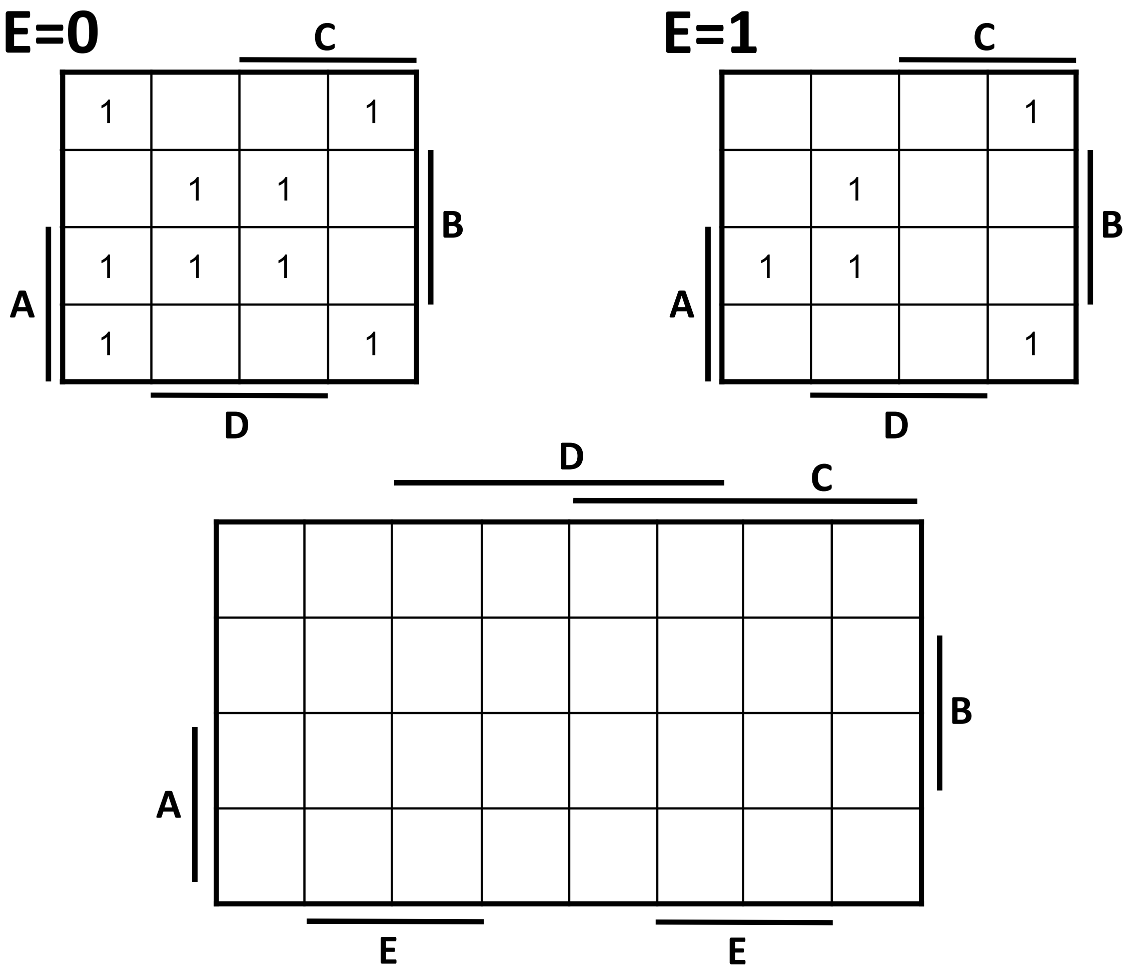
$$F=\overline{A}\,\overline{C}\,\overline{D}+BC$$

További fogalmak

- A Karnaugh táblán azoknak az 1-et tartalmazó celláknak, amelyek az összevonás során csak egy hurokban szerepelnek, olyan mintermek felelnek meg, amelyeket csak egy prímimplikáns tud lefedni. Ezek a mintermek a ***megkülönbeztetett mintermek***.

- A ***lényeges prímimplikáns*** olyan prímimplikáns, amely legalább egy megkülönböztetett mintermet helyettesít.

Ötváltozós függvény ábrázolása



E=0

1			1
	1	1	
1	1	1	
1			1

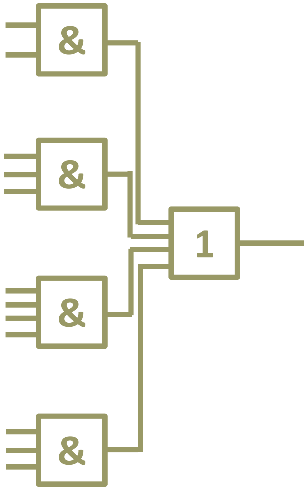
E=1

			1
	1		
1	1		
			1

Karnaugh-táblával kapcsolatos fogalmak

- logikai függvények egyszerűsítése
  - minterm és maxterm alakból
- inverz peremezés
- mintermekkel és implikánsokkal kapcsolatos fogalmak
- lefedés prímimplikánsokkal
- ötváltozós függvény Karnaugh táblája

Kétszintű és többszintű megvalósítás



Karnaugh-tábla → □·□+□·□·□+□·□·□·□+□·□·□

Kétszintű hálózat

További egyszerűsítés:

pl. kiemelés → □·(□+·□·□)+□·□·(□·□+□)

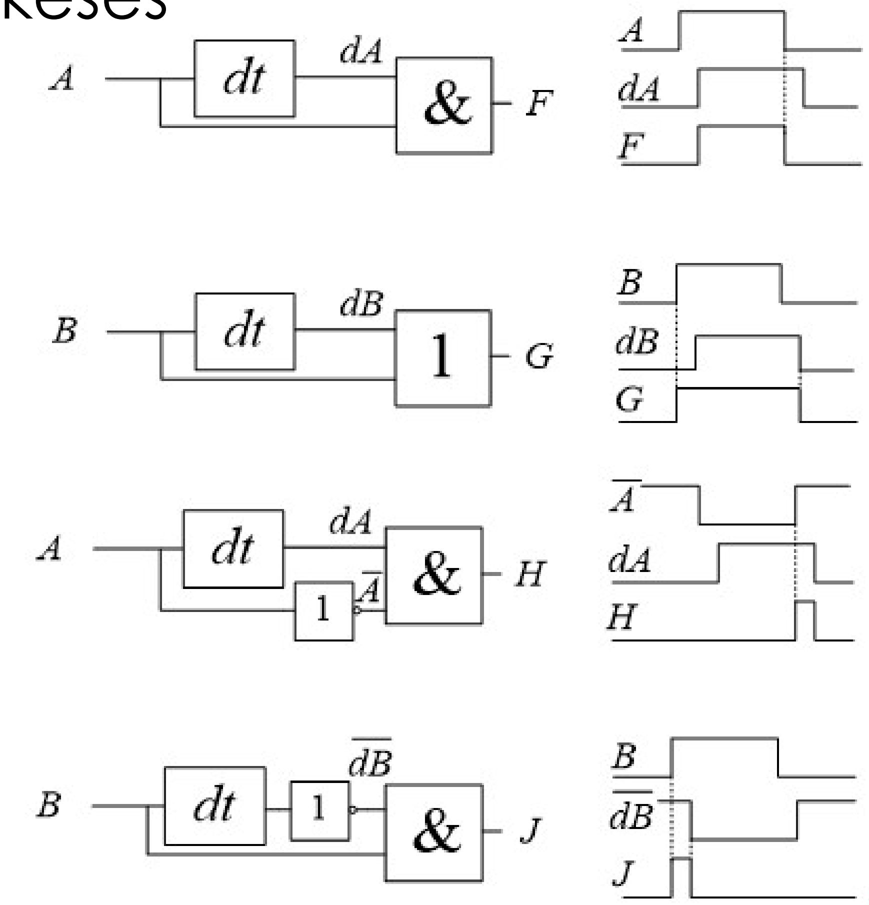
Többszintű hálózat

Tematika

- A rendszer- és irányításelmélet feladatai. Rendszerek leírása és modellezése
- Logikai változók, alapműveletek, kifejezések, függvények kanonikus alakjai és minimalizálása.
- Kombinációs hálózatok statikus viselkedése és tranziensei (hazárdok).
- Sorrendi hálózatok. Moore és Mealy automaták.
  - Szinkron sorrendi hálózatok tervezése.
  - Aszinkron sorrendi hálózatok tervezése.
  - Aszinkron sorrendi hálózatok dinamikai problémái (versenyhelyzetek).

Hazárdjelenségek kombinációs hálózatokban

- **véges jelterjedési sebesség** → időkésés
  - kapuk bemenete és kimenete között
    - **megszólalási idő** (propagation delay)
  - két kapu között
- **Hazárdok:** a kimeneti kombinációk
  - a tervezettől eltérnek
  - véletlenszerűen fellépnek
  - átmeneti ideig tartanak
- **ki** kell **küszöbölni**
  - a fellépésüket,
  - ha nem lehet, akkor a hatásukat

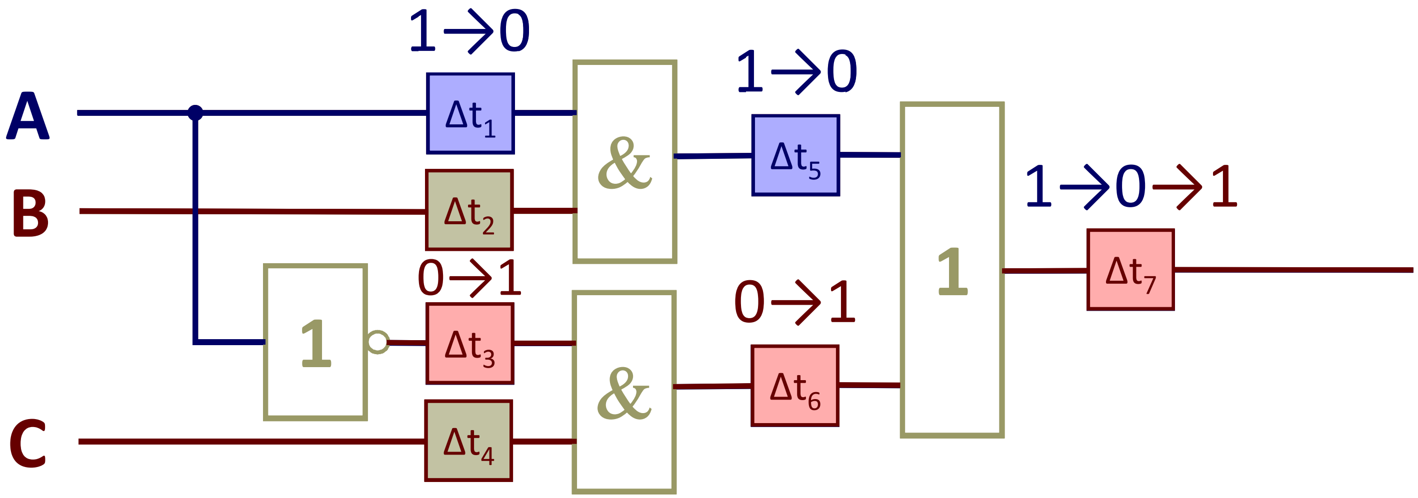


Jelterjedés

$$F = AB + \bar{A}C$$

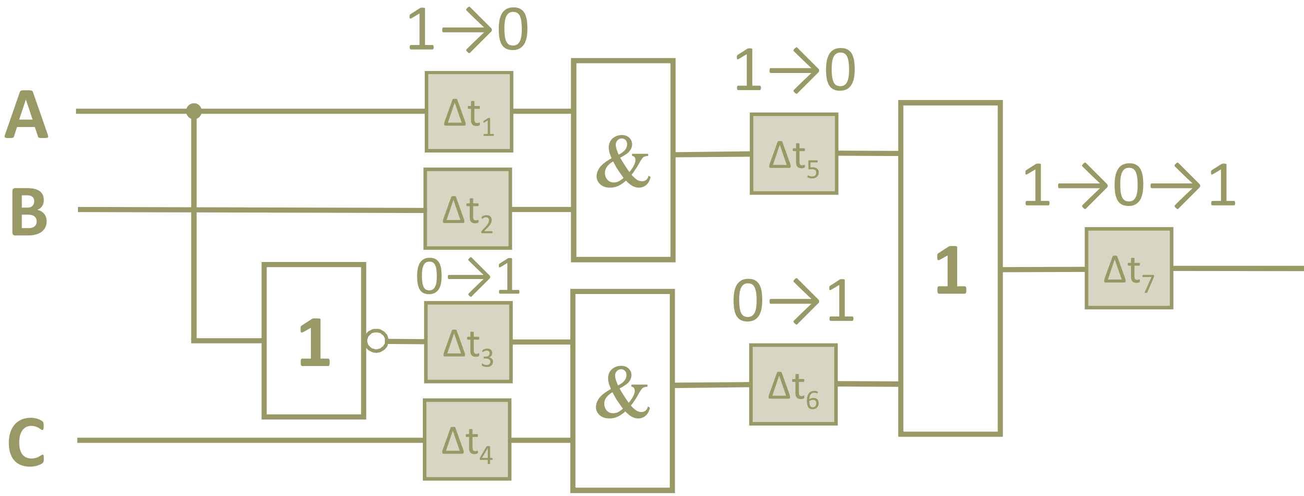
$$ABC = 111$$

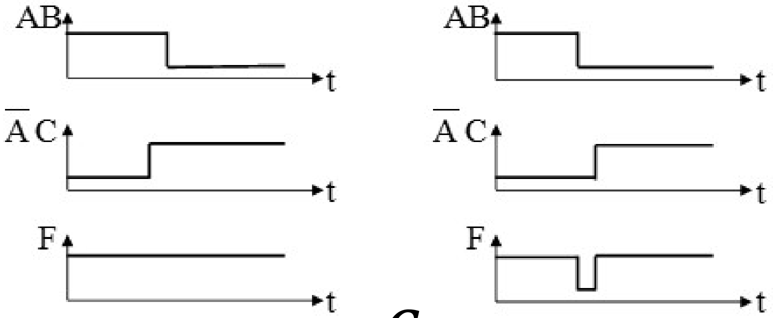
$$ABC = 011$$

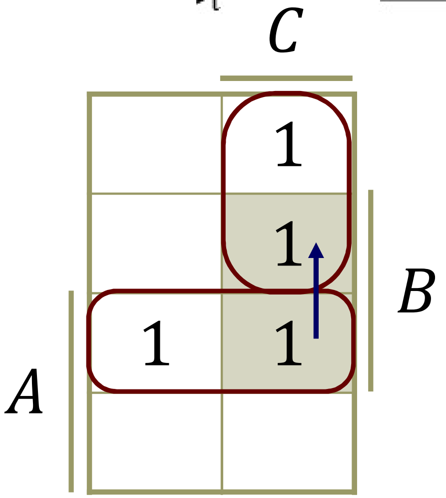


Statikus hazárd

$$F = AB + \bar{A}C \gg ABC = 111 \rightarrow ABC = 011$$



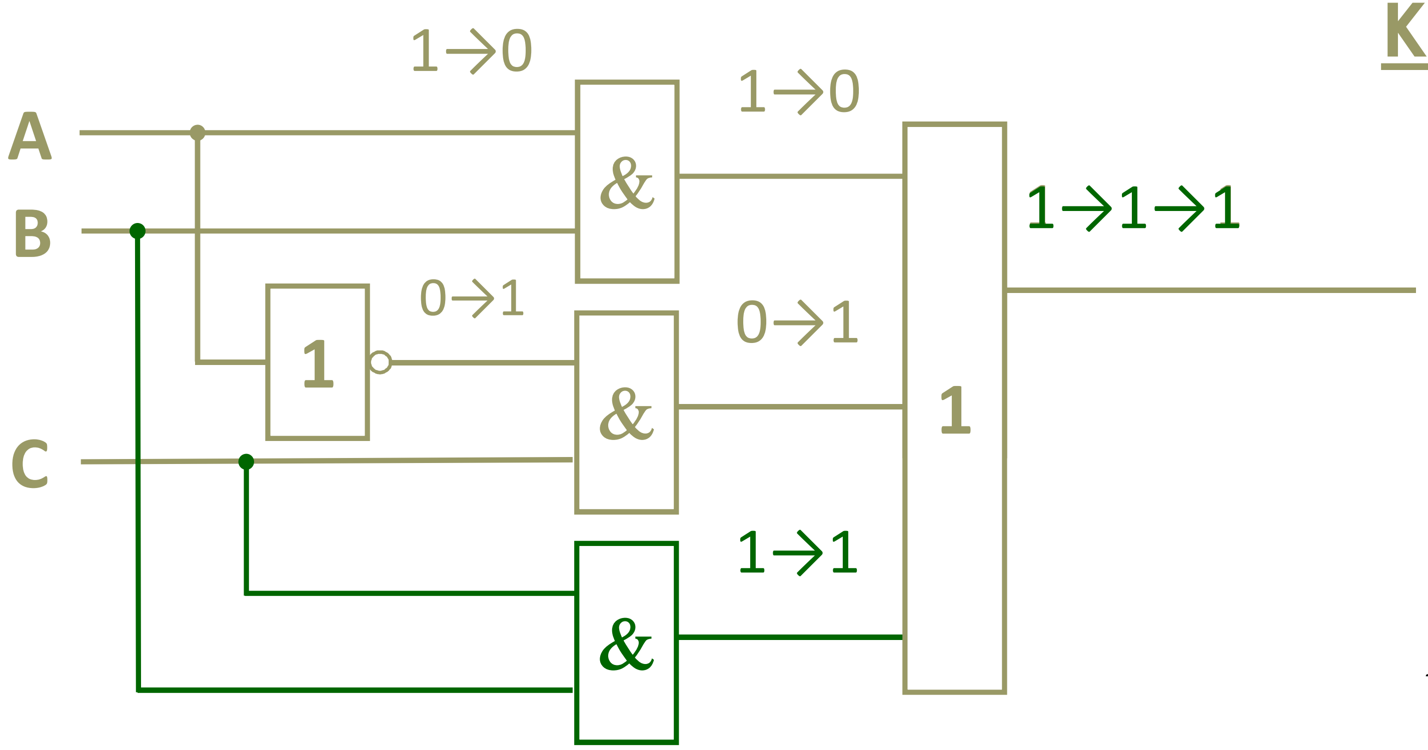


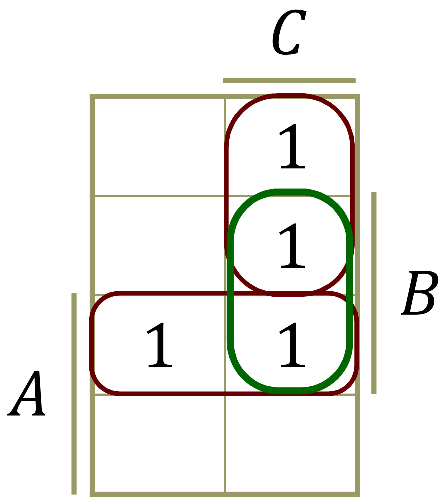


Statikus hazárd kiküszöbölése

$$F = AB + \bar{A}C + BC$$

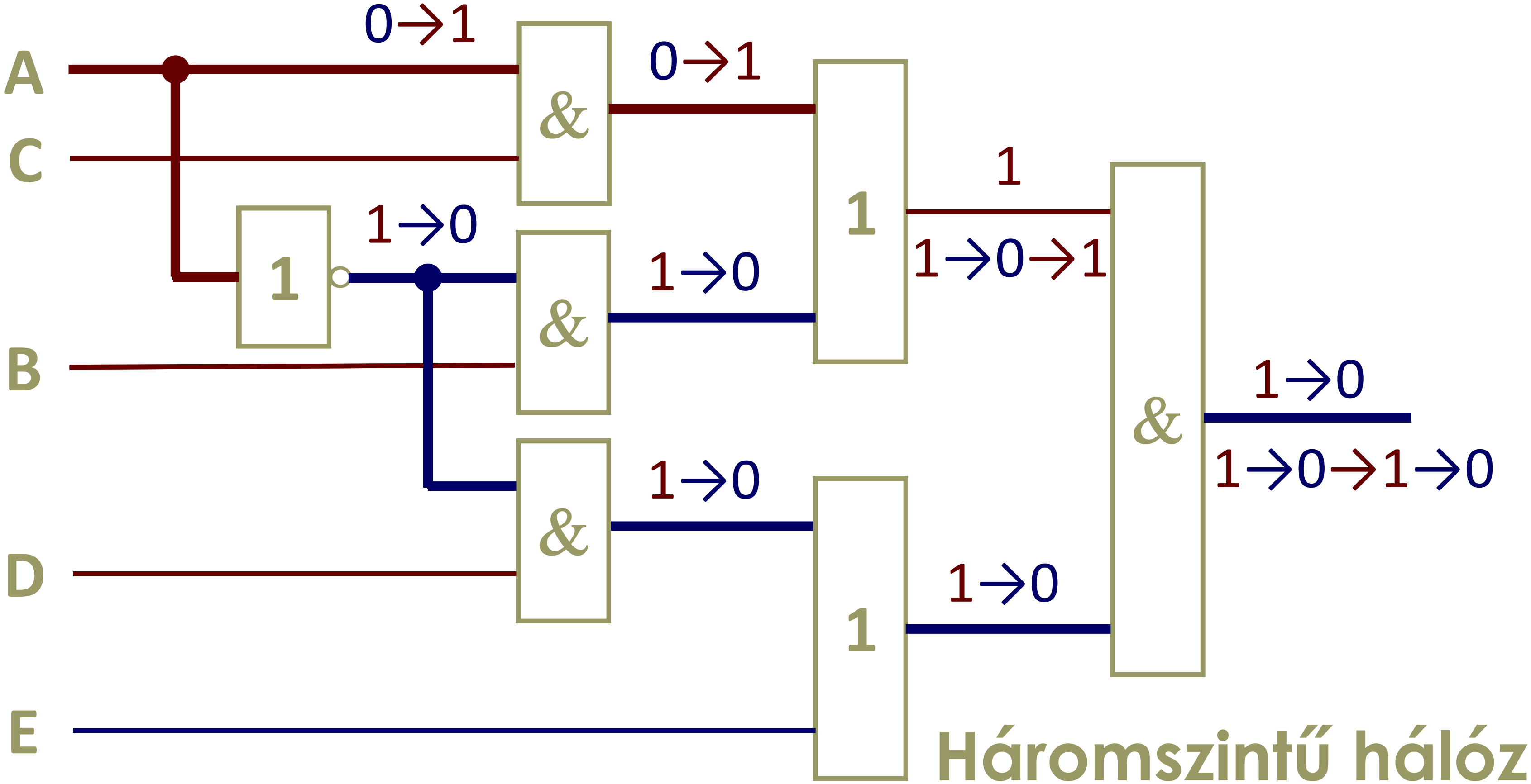
Kétszintű hálózat





Dinamikus hazárd

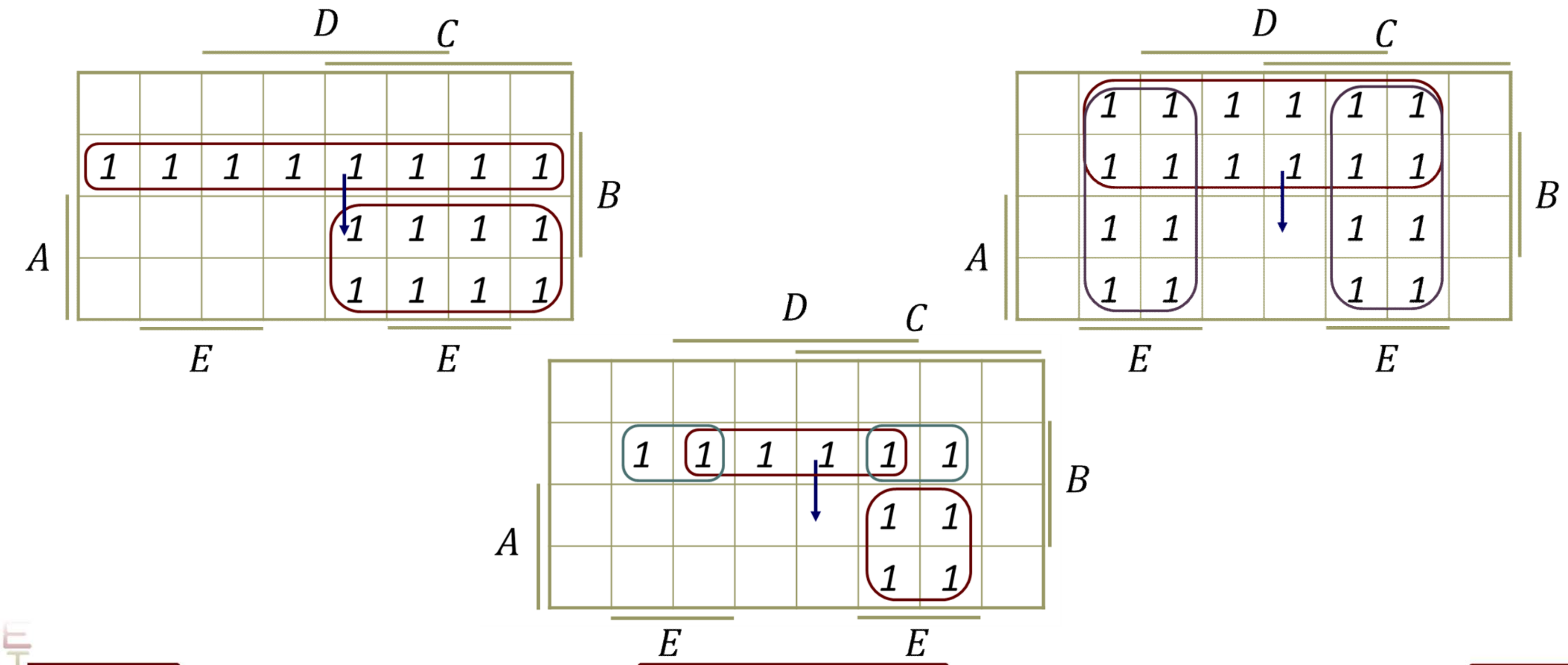
$$F = (AC + \bar{A}B)(\bar{A}B + E)$$



Háromszintű hálózat

Dinamikus hazárd

$$F = (AC + \bar{A}B)(\bar{A}B + E)$$



Dinamikus hazárd

- **Kettőnél többszintű hálózatok** esetén a jelterjedési idő további rendellenes működést is okozhat
- olyan bemeneti jel változások esetén, amelynek során csak **egyetlen bemenet változik**, és
- a két bemeneti kombinációhoz tartozó **függvényértékek különbözőek**, akkor a kimeneten előfordulhat 1→0→1→0, vagy 0→1→0→1 változás.

A dinamikus hazárd kivédése:

- az egyes szinteken történő statikus hazárdmentesítéssel,
- vagy a hálózat kétszintű megvalósításával lehetséges.

- Statikus hazárd
- Dinamikus hazárd
- Funkcionális hazárd

Tematika

- A rendszer- és irányításelmélet feladatai. Rendszerek leírása és modellezése
- Logikai változók, alapműveletek, kifejezések, függvények kanonikus alakjai és minimalizálása.
- Kombinációs hálózatok statikus viselkedése és tranziensei (hazárdok).
- Sorrendi hálózatok. Moore és Mealy automaták.
  - Szinkron sorrendi hálózatok tervezése.
  - Aszinkron sorrendi hálózatok tervezése.
  - Aszinkron sorrendi hálózatok dinamikai problémái (versenyhelyzetek).

Kombinációs hálózatok

- **Determinisztikus** / Sztochasztikus
- **Statikus** / **Dinamikus**
- Folytonos állapotú / **Diszkrét állapotú** / Hibrid
- **Idővezérelt** / **Eseményvezérelt**
- Folytonos idejű / **Diszkrét idejű**
- Lineáris / **Nemlineáris**
- Időfüggő / **Időinvariáns**

Kombinációs hálózatok

A kombinációs hálózat minden egyes bemeneti kombinációjához egyértelműen hozzárendelhetünk egy-egy kimeneti kombinációt:

$$Z = f(X),$$

ahol X a bemeneti kombinációk halmaza, Z a kimeneti kombinációk halmaza, f a hozzárendelést megvalósító leképezés, amely annyi logikai függvénnyel adható meg, ahány kimenetű a kombinációs hálózat.

Sorrendi hálózatok

- **Determinisztikus** / Sztochasztikus
- **Statikus** / **Dinamikus**
- Folytonos állapotú / **Diszkrét állapotú** / Hibrid
- **Idővezérelt** / **Eseményvezérelt**
- Folytonos idejű / **Diszkrét idejű**
- Lineáris / **Nemlineáris**
- Időfüggő / **Időinvariáns**

Sorrendi hálózatok

A sorrendi hálózat esetén a kimenet értékeit nem kizárólag a pillanatnyi bemeneti értékek alapján lehet meghatározni, hanem függ az előző bemeneti jelektől is. Erre a célra sorrendi (szekvenciális) logikai hálózatot kell terveznünk.

$$Z = f_Z(X, y),$$
$$Y = f_y(X, y),$$

ahol X a bemeneti kombinációk halmaza,
Z a kimeneti kombinációk halmaza,
y a pillanatnyi állapot,
Y a következő állapot halmaza,
f_Z a kimeneti kombinációt előállító leképezés,
f_y a szekunder kombinációt előállító leképezés.

Kimeneti függvény

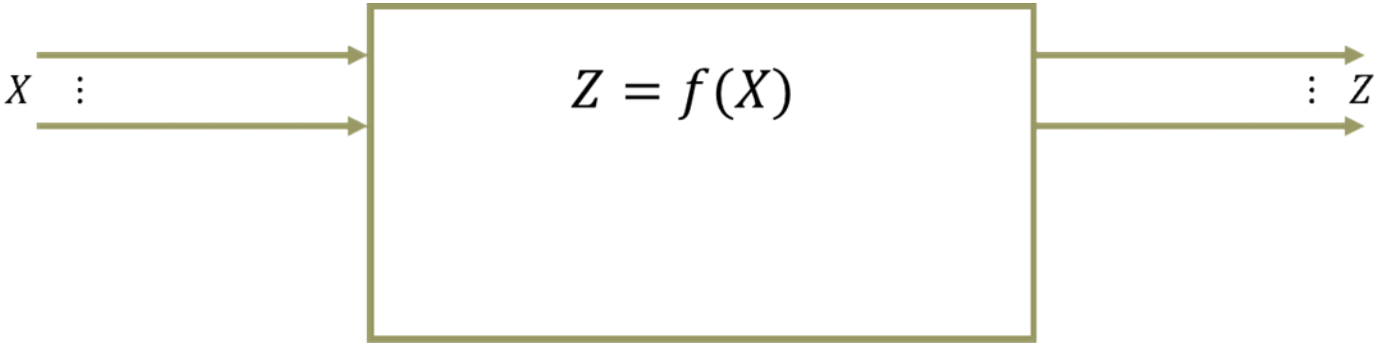
$$Z = f_Z(X, y)$$

Mealy-modell

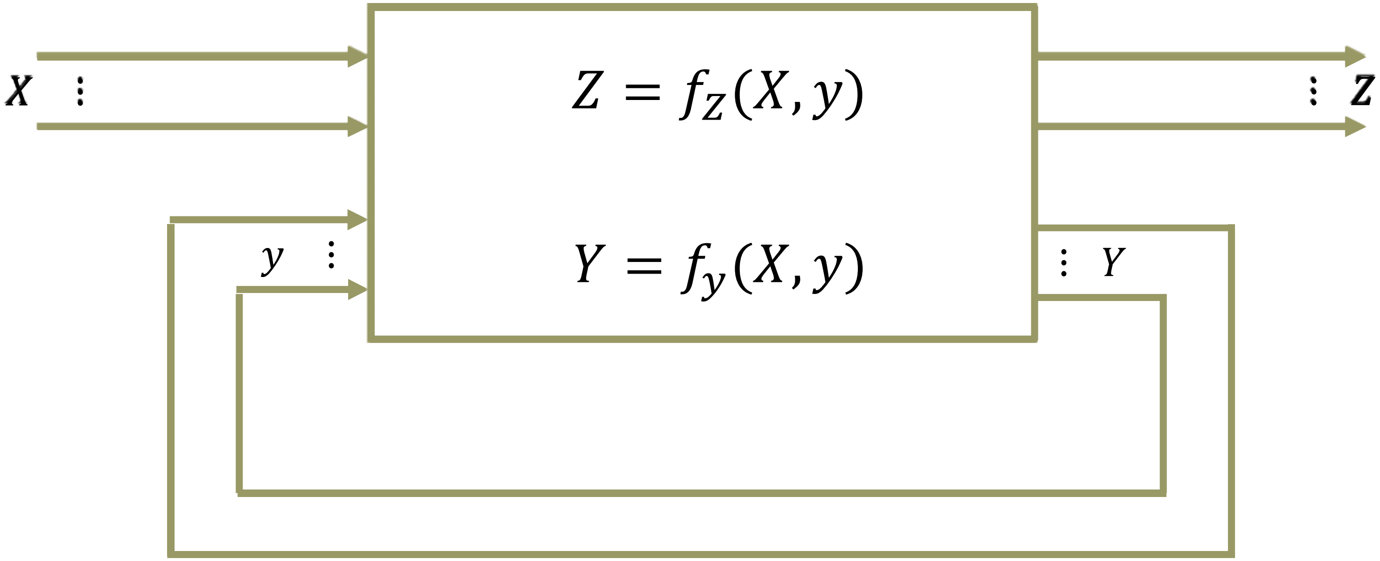
$$Z = f_Z(y)$$

Moore-modell

A kombinációs hálózatok működése



Az aszinkron sorrendi hálózatok működése

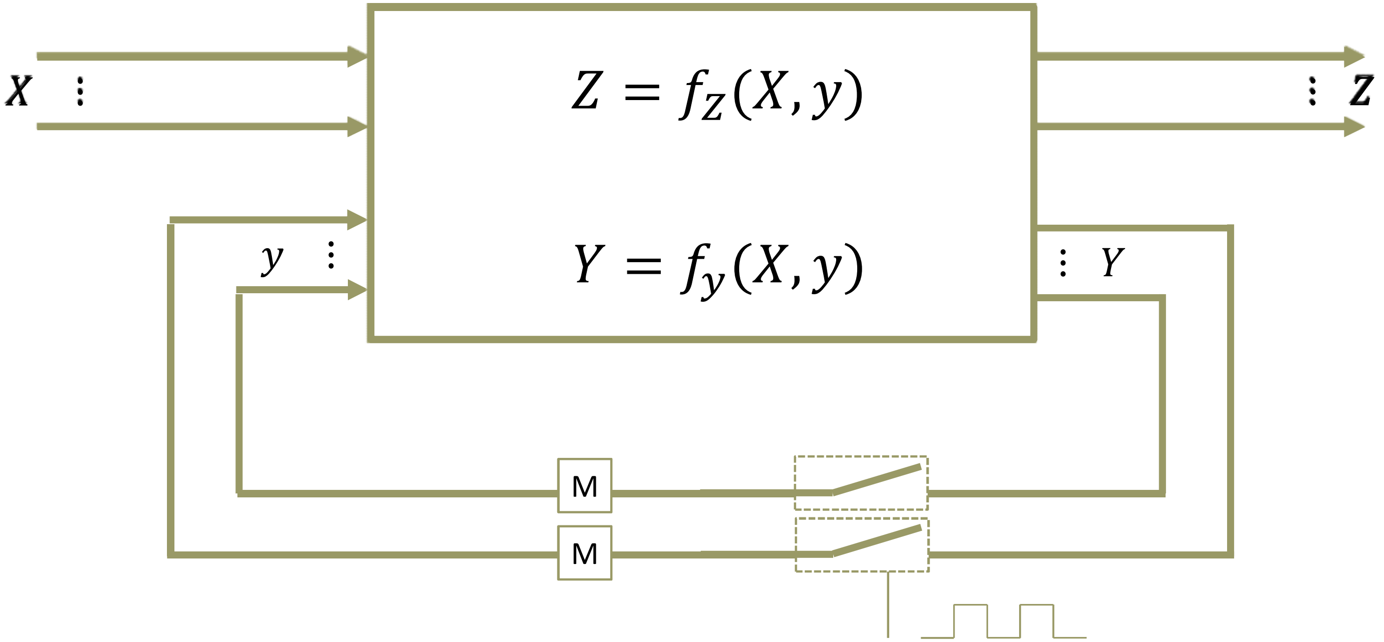


Stabil és instabil állapotok:

$$Y = y \;/\; Y \neq y$$

Oszcilláció

A szinkron sorrendi hálózatok működése



$$Z = f_Z(X, y)$$

$$Y = f_y(X, y)$$

Stabil állapotok

Aszinkron és szinkron hálózatok összehasonlítása

Aszinkron hálózat

- Az aszinkron sorrendi hálózatok esetében az instabil állapotok miatt az állapotváltozók szükséges száma rendszerint nagyobb, mint szinkron esetben, ez megbonyolítja a logikai tervezés folyamatát.
- Viszont a bemeneti változások gyakoriságát, vagyis a működési sebességet csak az építőelemek működési sebessége és a jelterjedési késleltetések korlátozzák.
- A tervezés folyamán egyszerűséget jelent, hogy nem kell biztosítani a szinkronizációs feltételeket.

Szinkron hálózat

- A szinkron hálózatban nem értelmezünk külön instabil és stabil állapotot.
- A működés sebességet az órajel frekvenciája határozza meg.
- A bemeneti változásokra és a kimeneti kombináció értelmezésére szinkronizációs feltételeknek kell teljesülniük.

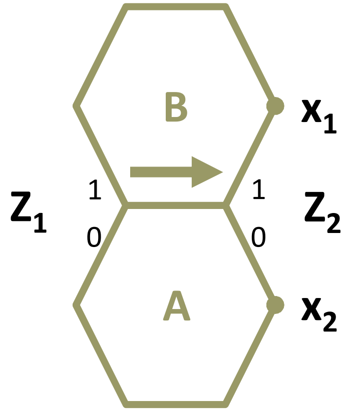
Szinkron sorrendi hálózatok tervezési lépései

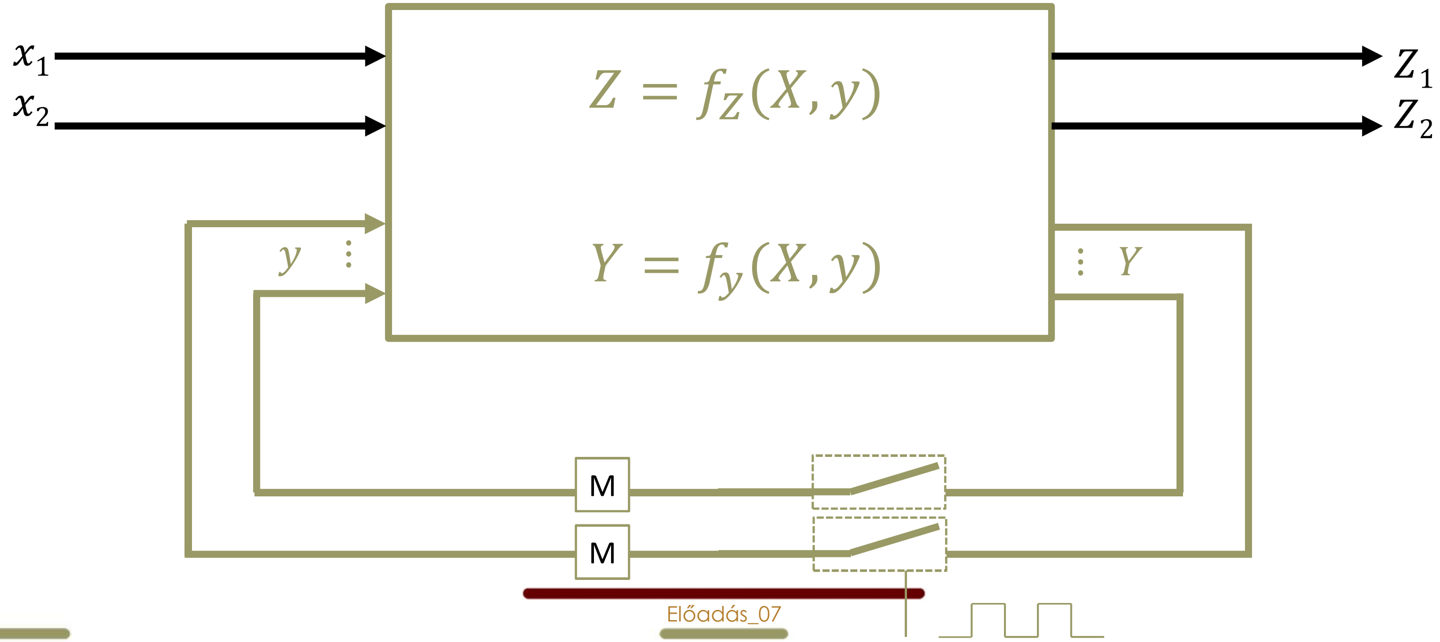
- A logikai feladat megfogalmazása
- Az előzetes állapottábla / állapotgráf összeállítása
- Az egyszerűsített (összevont) állapottábla / állapotgráf
- Állapotkódolás megválasztása
- Alkalmazando flip-flopok megválasztása
- A vezérlési tábla összeállítása
- A vezérlő kombinációs hálózat és a kimenetet előállító kombinációs hálózat realizációja

Példa szinkron sorrendi hálózat tervezésére

Feladat specifikáció:

8-as sínpályán Z_1 és Z_2 váltókat az x_1 és x_2 sínérintők vezérlik a megfelelő állásba. A nyíllal jelölt pozícióból indulva előbb az „A” majd a „B” kört kell bejárni.





Példa szinkron sorrendi hálózat tervezésére

Előzetes állapottábla /

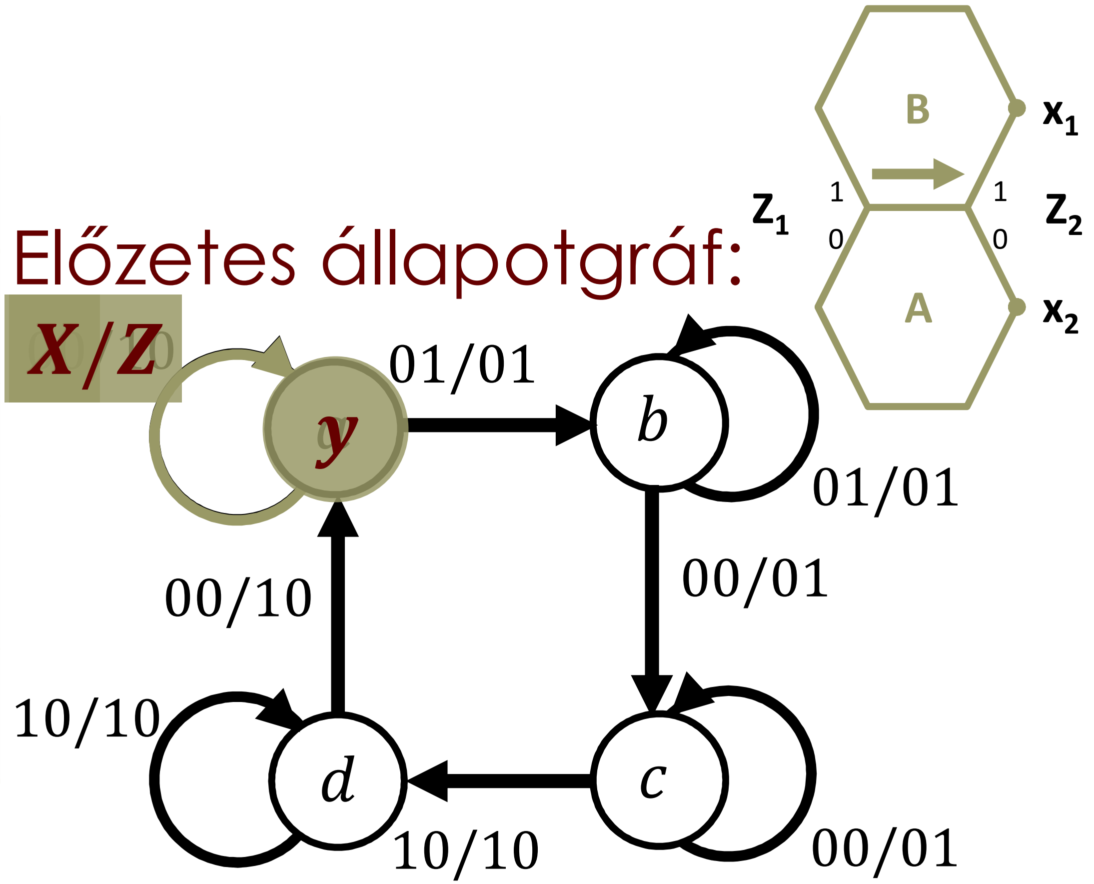
$y \backslash x_1x_2$	00	01	11	10
a	$a/10$	$b/01$	–	–
b	$c/01$	$b/01$	–	–
c	$c/01$	–	–	$d/10$
d	$a/10$	–	–	$d/10$

$\boldsymbol{X}$

$\boldsymbol{y}$

$\boldsymbol{Y/Z}$

Előzetes állapotgráf:



Példa szinkron sorrendi hálózat tervezésére

Előzetes állapottábla

$y \backslash x_1x_2$	00	01	11	10
a	$a/10$	$b/01$	$-$	$-$
b	$c/01$	$b/01$	$-$	$-$
c	$c/01$	$-$	$-$	$d/10$
d	$a/10$	$-$	$-$	$d/10$

Összevont állapottábla:

$y \backslash x_1x_2$	00	01	11	10
A	$A/10$	$B/01$	$-$	$A/10$
B	$B/01$	$B/01$	$-$	$A/10$

Példa szinkron sorrendi hálózat tervezésére

Összevont állapottábla:

x_1x_2 y	00	01	11	10
A	$A/10$	$B/01$	$-$	$A/10$
B	$B/01$	$B/01$	$-$	$A/10$

Kódolt állapottábla:

x_1x_2 y	00	01	11	10
0	$0/10$	$1/01$	$-$	$0/10$
1	$1/01$	$1/01$	$-$	$0/10$

Példa szinkron sorrendi hálózat tervezésére

Kódolt állapottábla:

x_1x_2 / y	00	01	11	10
0	0/10	1/01	–	0/10
1	1/01	1/01	–	0/10

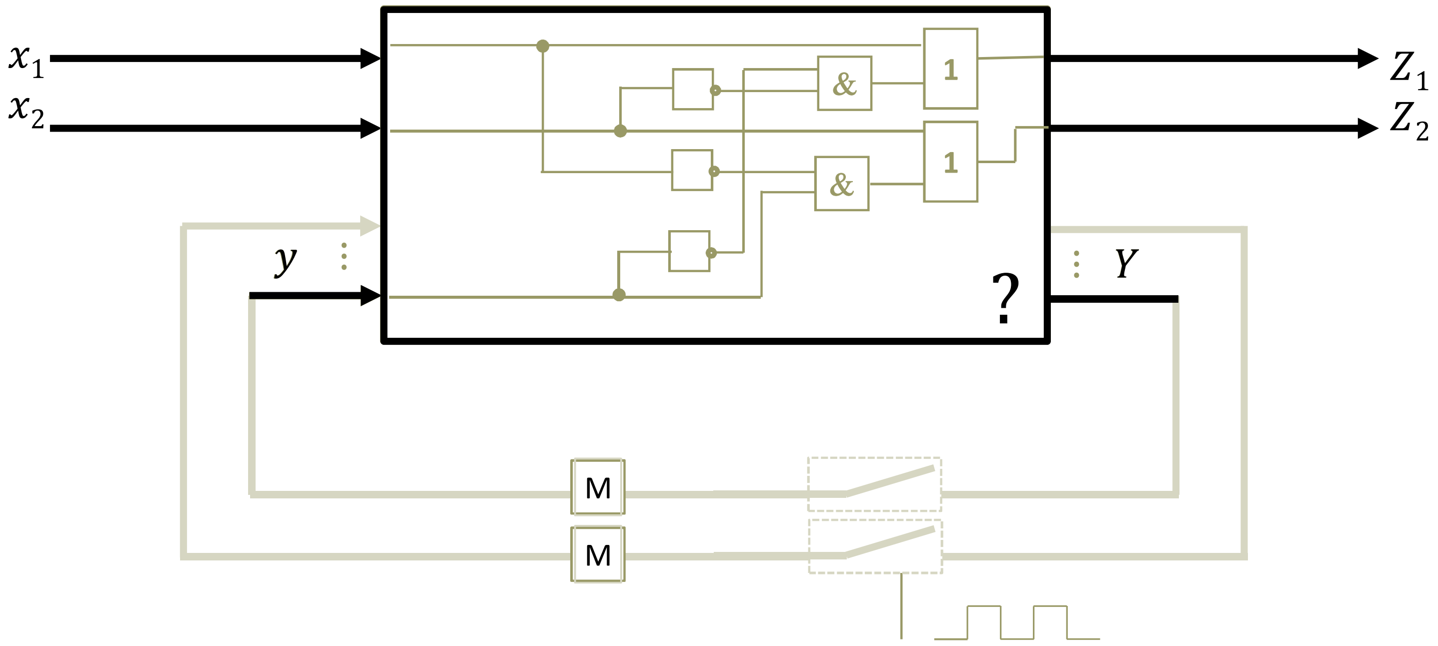
Kimeneti függvények:

Z_1	00	01	x_2 11	x_1 10
0	1	0	–	1
1 y	0	0	–	1

Z_2			x_2	x_1
	0	1	–	0
y	1	1	–	0

$$Z_1 = x_1 + \overline{x_2}\,\overline{y}$$
$$Z_2 = x_2 + \overline{x_1}y$$

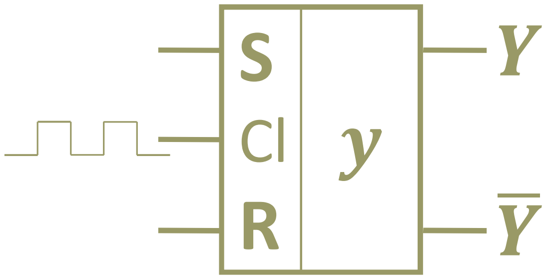
Példa szinkron sorrendi hálózat tervezésére

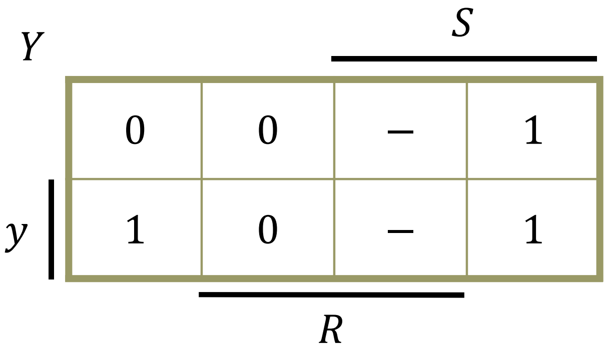


Flip-flopok

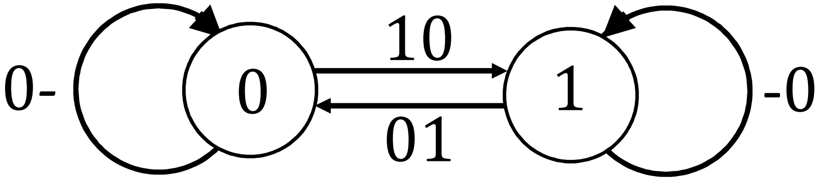
- Szinkron SR flip-flop:

S	R	y	Y
0	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	–
1	0	0	1
0	0	1	1
0	1	1	0
1	1	1	–
1	0	1	0





0	0	–	1
1	0	–	1



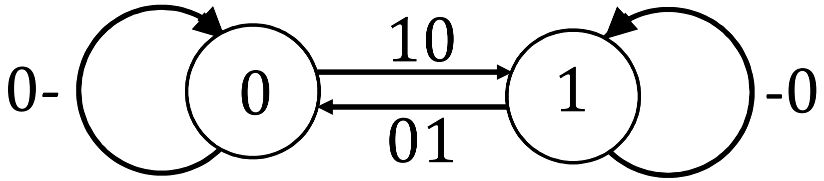
Példa szinkron sorrendi hálózat tervezésére

Kódolt állapottábla:

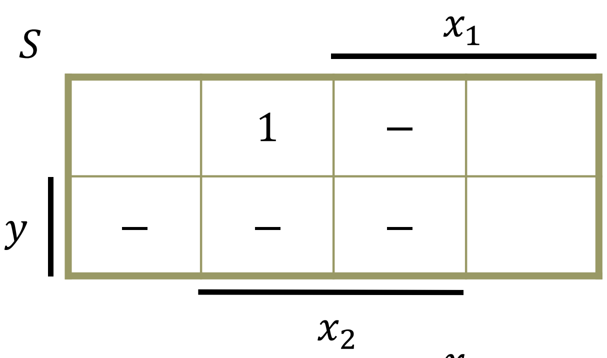
y \ x_1x_2	00	01	11	10
0	0/10	1/01	–	0/10
1	1/01	1/01	–	0/10

Vezérlési tábla:

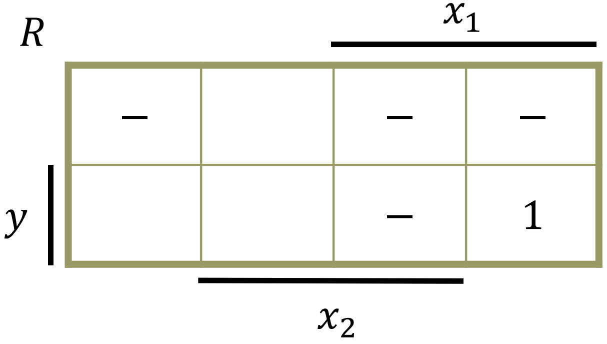
y \ x_1x_2	00		01		11		10	
0	**0**	–	**1**	**0**	–	–	**0**	–
1	–	**0**	–	**0**	–	–	**0**	**1**
	S	R	S	R	S	R	S	R



Példa szinkron sorrendi hálózat tervezésére



	1	–	
–	–	–	



–		–	–
		–	1

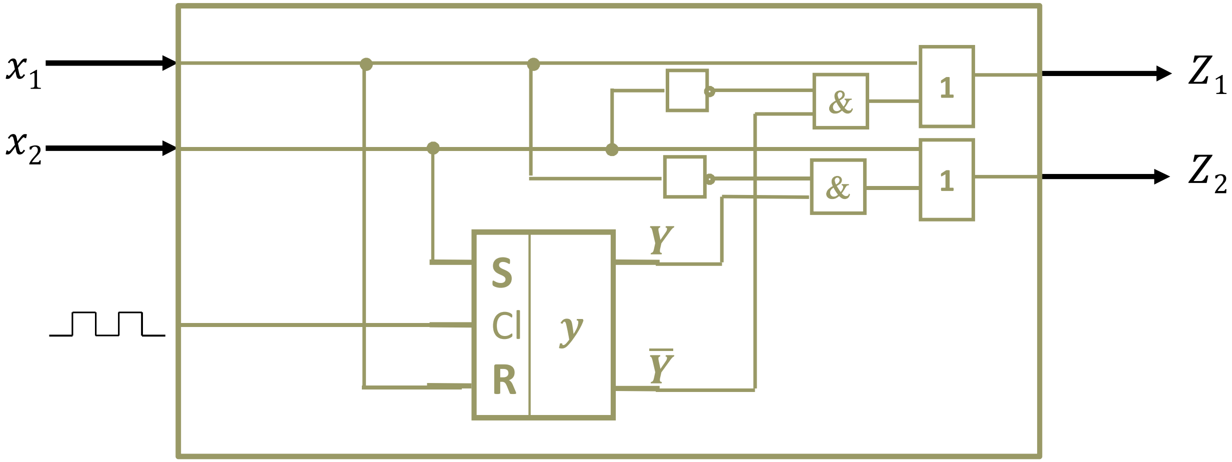
Vezérlési tábla:

y \ x_1x_2	00		01		11		10	
0	0	–	1	0	–	–	0	–
1	–	0	–	0	–	–	0	1
	S	R	S	R	S	R	S	R

$$S = x_2$$
$$R = x_1$$

Példa szinkron sorrendi hálózat tervezésére

A vezérlő és a kimenetet előállító kombinációs hálózat realizációja

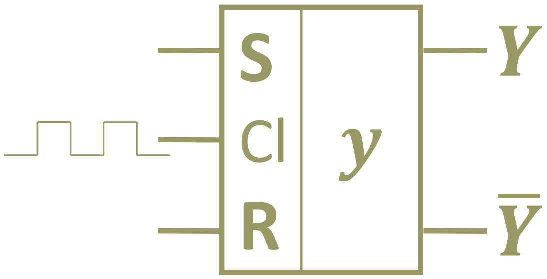


$$Z_1 = x_1 + \overline{x_2}\overline{y} \qquad S = x_2$$

$$Z_2 = x_2 + \overline{x_1}y \qquad R = x_1$$

Flip-flopok

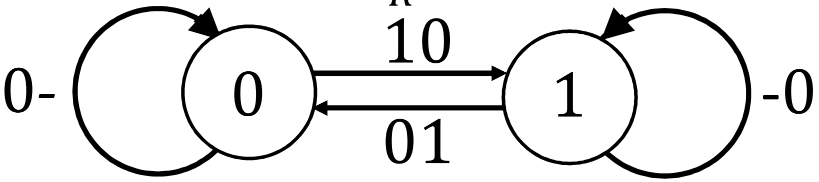
- Szinkron SR és JK flip-flop:

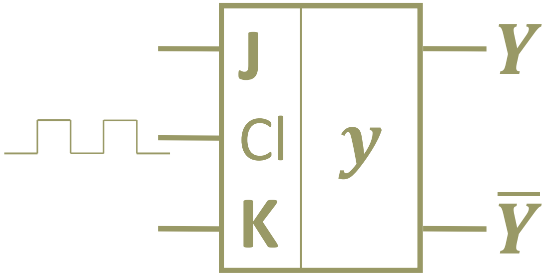


Y S

	0	0	–	1
y	1	0	–	1

R

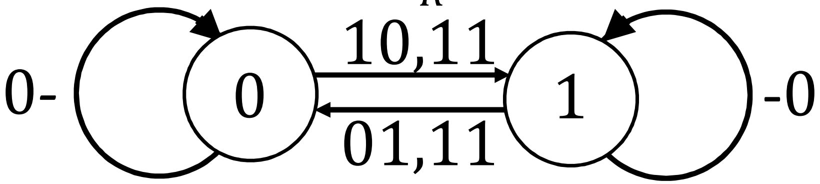




Y S

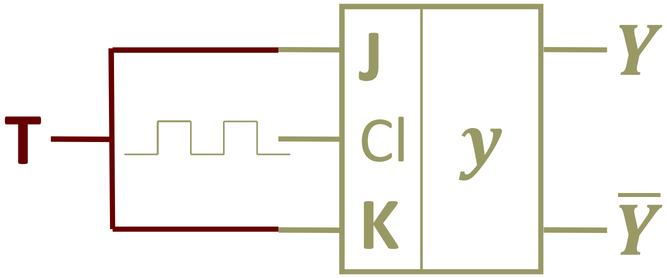
	0	0	1	1
y	1	0	0	1

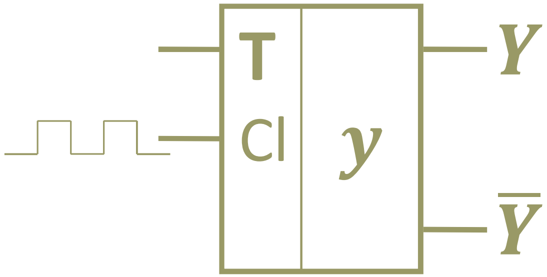
R



Flip-flopok

- Szinkron T flip-flop:





Y S

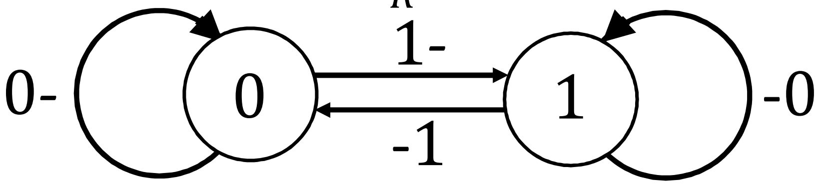
0	0	1	1
1	0	0	1

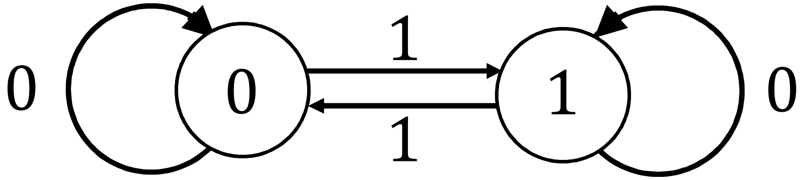
y R

Y T

0	1
1	0

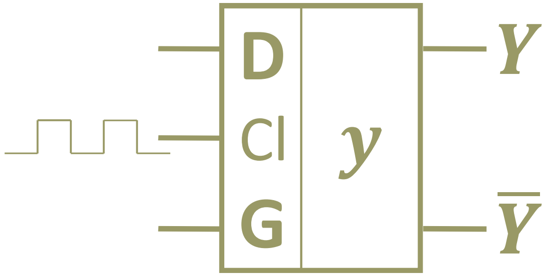
y



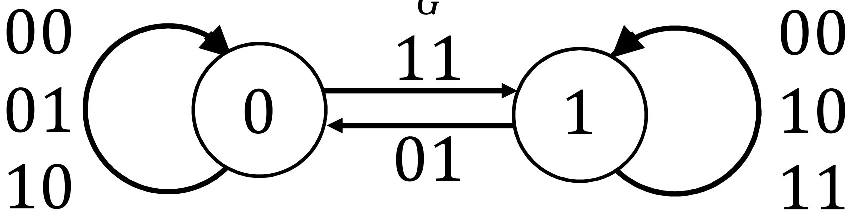


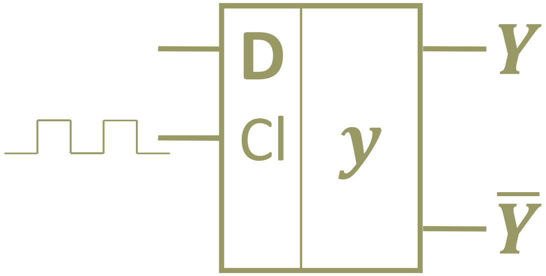
Flip-flopok

- Szinkron DG és D flip-flop:

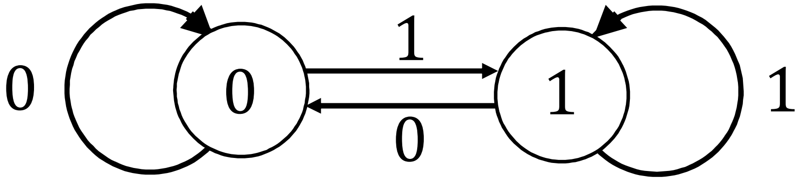


Y			D	D
	0	0	1	0
y	1	0	1	1
		G	G	





Y		D
	0	1
y	0	1

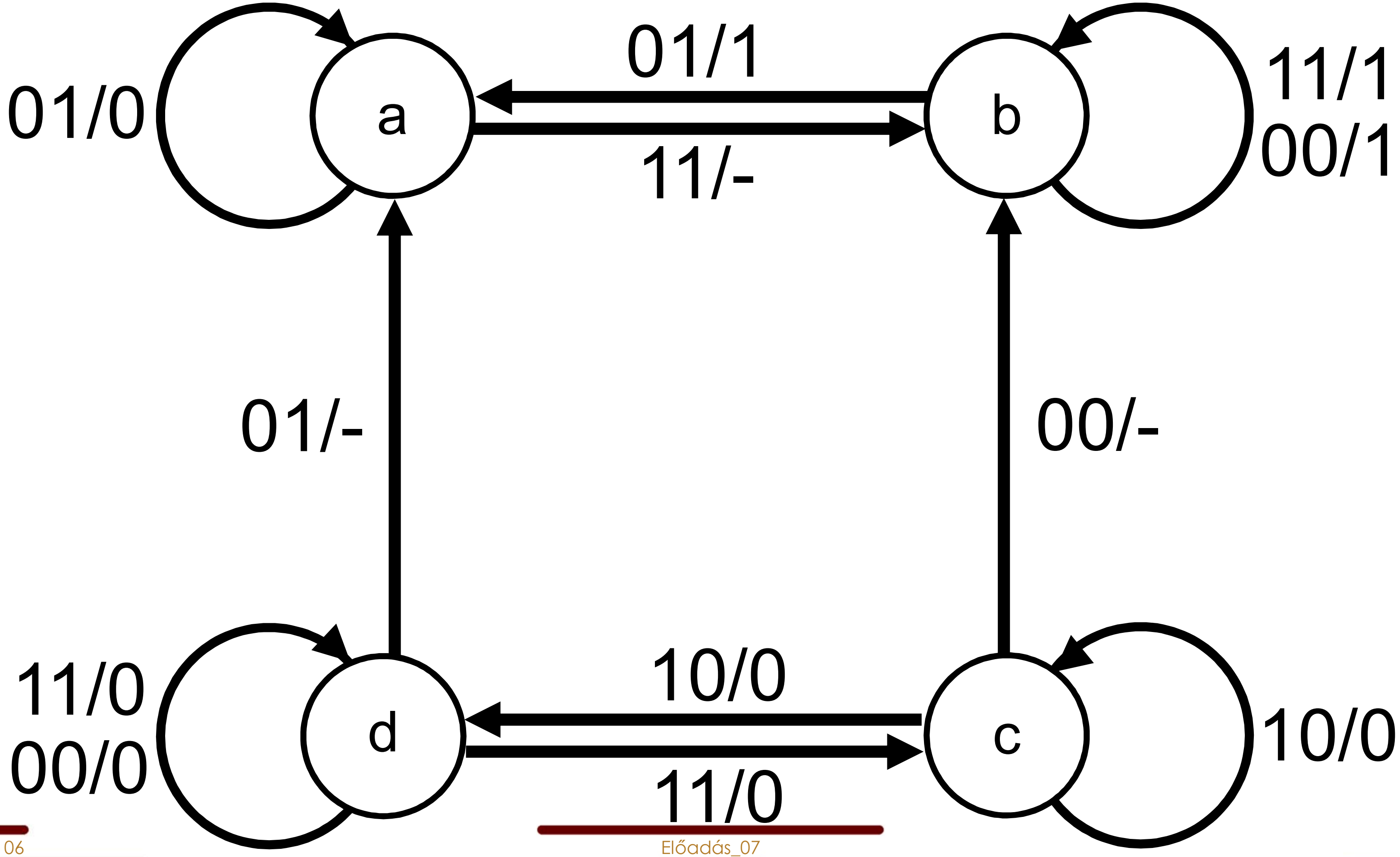


Stabil és instabil állapotok

Egy aszinkron hálózat akkor valósítható meg, ha

- minden specifikált bemeneti kombinációhoz tartozik legalább egy stabil állapot, amelyben az adott hálózat az adott bemenet esetén stabilizálódik, továbbá
- ha minden egyes belső állapothoz tartozik legalább egy olyan bemeneti kombináció, amely esetén az adott belső állapot stabilizálódik.

Példa aszinkron sorrendi hálózat tervezésére



Példa aszinkron sorrendi hálózat tervezésére