

Pannon Egyetem

Villamosmérnöki és Információs Tanszék



Digitális Áramkörök

(Villamosmérnök BSc /
Mechatronikai mérnök MSc)


6. hét – Hazárd jelenségek

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



Hazárd jelenségek kombinációs logikai hálózatok (K.H.) esetén

Hazárd jelenségek

- Kombinációs logikai hálózatok (K.H.) esetén alapvetően három fajtája létezik:
 - Statikus,
 - Dinamikus,
 - Funkcionális.
- Megj: szekvenciális hálózatok (S.H.) esetén további hazárd jelenségek lehetnek:
 - Lényeges hazárd (lásd később)
 - Rendszer hazárd (vagy „kritikus versenyhelyzet”)

Eddig:

- Ideális áramkörök: A **kapuk késleltetését**, illetve az **összeköttetések/vezetékek jelterjedési késleltetését** nem vettük figyelembe: feltételeztük, hogy a bemeneti jelek egyszerre érkeznek meg, és a kimeneti érték ezzel egyidejűleg jelenik meg (végtelenül rövid idő alatt).
- Valós áramkörök: A valóságban azonban a késleltető hatásoknak fontos befolyásoló/nem elhanyagolható szerepük van az áramkörök működésére, amelyeket már a *tervezés* során figyelembe kell venni, ha lehet ki kell *küszöbölni*, ill. meg kell *szüntetni*.

Definíció: Hazárd jelenségek

- **DEF:** A bemeneti kombináció változásakor az egyes jelek terjedésében mutatkozó különböző *késleltető hatások* átmenetileg olyan kimeneti kombináció(ka)t hozhatnak létre, amelyek zavart okozhatnak a hálózat működésében. E hatások veszélyességét fokozza, hogy a jelterjedési késleltetéseket előre pontosan megadni nem lehet, és nagyban függ a belső /külső környezeti feltételektől (pl. hőmérséklet, öregedés stb.).
- Az ilyen hibajelenségeket a rendszertelen és véletlenszerű jellegük miatt ***hazárdjelenségeknek*** nevezzük.
- Cél: törekedni *kiküszöbölésükre tervezéskor*

Hazárd jelenségek

- Hazárdok: Késleltetés okozta nem-kívánt kimenetek, állapotok.
- *Hazárd* alakulhat ki, ha egy kapu kimenete a bemenetek változásához képest csak véges időn belül változik (pl. szilícium lapkán lévő elektron-, és lyuk-vezetés stb. ideje következtében).

$T_{\text{propagation delay}}$

- *Hazárdoknak* több fajtája lehetséges (K.H.):
 - Statikus
 - Dinamikus
 - Funkcionális

Hazárdok kialakulása I.

- a.) „**Jelterjedési**” (propagation delay) vagy „**megszólalási**” késleltetés:
a logikai kapu bemeneteinek és a kimeneteinek változása közötti időkülönbség miatt (bár rövid, de véges tranziens idő alatt változik meg).
- Függhet:
 - Jelalak a bemeneten (waveform),
 - Hőmérséklet,
 - Kimenet terhelése (output loading – Fan-out),
 - Disszipált teljesítmény (operating power),
 - Logikai eszköz típusa (type / device family),

Példa: egy TTL 74LS eszközöknél, 1-gates *kapu* esetén a jelterjedési késleltetés kb. 5ns lehet (adatlap!).

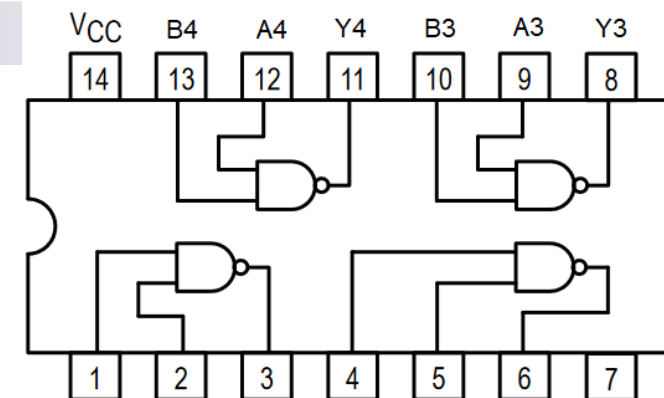
Hazárdok kialakulása II.

■ b.) „**Összeköttetési**” (interconnection delay) késleltetés:

a logikai kapukat összekötő vezetéken lévő véges jelterjedés miatt

- PI: ~20 cm/ns sebességű jelátvitel az elektromos vezetéken,
- bizonyos vezetékhosszúság felett léphet fel:
 - ha gyors(változású) jelünk (~ rövid felfutási idővel rendelkezik),
- *Szórt kapacitás, ill. induktivitás* (~ a jel a vezetéken mintha egy késleltető áramkörön haladna keresztül).
 - Ekkor a *tápvonal* modellt kell használni (egyébként pedig a *koncentrált* paraméterű a modellt).

Technológia fejlődésének hatása a késleltetésekre



- Az építőelem készlet technológiai fejlődésével (integráltsági fok növekedésével SSI ... → VLSI) a kapuk *jelterjedési késleltetése egyre inkább összemérhető a vezetékek összeköttetési késleltetésével.*
- KATALÓGUS: kapu építőelem leírásokban általában a **min.** / **tipikus (nominális)** / **maximális** jelterjedési értékek is adottak.

Switching Characteristics

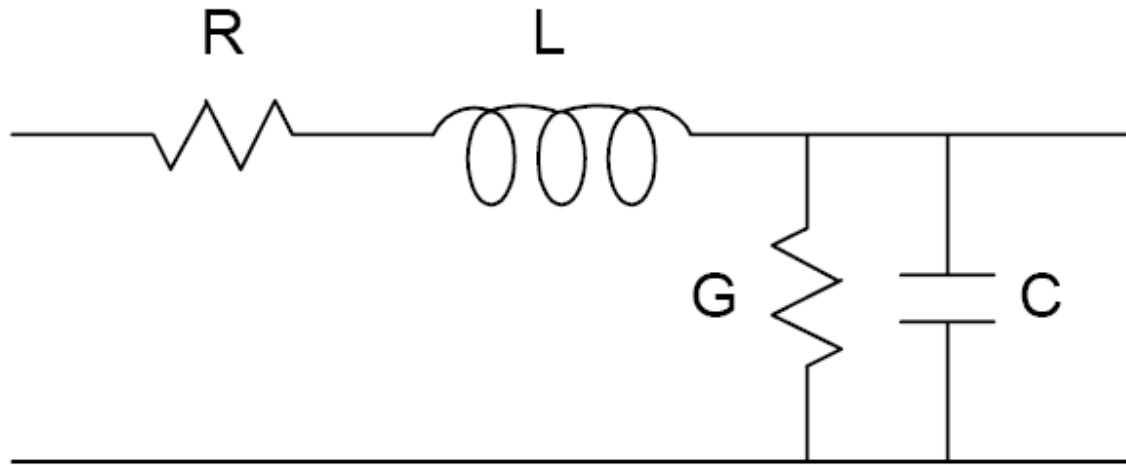
at $V_{CC} = 5V$ and $T_A = 25^\circ C$

Példa: TTL **74LS00**

Symbol	Parameter	$R_L = 2\text{ k}\Omega$				Units
		$C_L = 15\text{ pF}$		$C_L = 50\text{ pF}$		
		Min	Max	Min	Max	
t_{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	3	10	4	15	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	3	10	4	15	ns

Switching (kapcsolási) / AC karakterisztika: időfüggést mutat – ,propagációs' késleltetések leírása. Egy egyszerű TTL74-es eszköz ~5ns-os jelterjedési késleltetéssel rendelkezik

Megjegyzés: Tápvonal vs. koncentrált paraméterű hálózat



Tápvonal áramköri modellje: A paraméterek: soros ellenállás R , soros induktancia L ; sönt konduktancia G ; és sönt kapacitás C , (mindegyik egységnyi hosszra vonatkoztatva).

- Ha az összeköttetés *rövid*, vagy a *jel felfutási ideje hosszú* (pl. kapuknál), akkor a tápvonal-hatás nem jelentős. Ekkor az induktancia elhanyagolható, és a vonal közelíthető egy **koncentrált paraméterű kapacitással (C)**.
- Az induktancia akkor válik fontossá, amikor a *összeköttetés hosszú*, vagy a *jel felfutási ideje rövid* és így $\frac{Ldi}{dt} = U$ növekszik.
- Az induktancia miatt a tápvonalban folyó áramot nem lehet a végtelenségig növelni az ellenállás csökkentésével és ez jelent alapvető korlátot egy feszültség/áram „hullám” terjedési sebességében (**ebben az esetben tápvonal hatás válik jelentőssé**).

Megjegyzés (folyt): Tápvonal vs. koncentrált paraméterű hálózat

- **Mikor kell tápvonal analízist használni?**

- A tápvonathatás akkor válik jelentőssé, amikor egy *jel felfutási ideje* (t_r) kisebb vagy összemérhető a tápvonal *jelterjedési idejével* (t_f). (Itt a felfutási idő az az idő, amely alatt a jel a végértékének 10%-áról 90%-ára nő, és a jelterjedési idő):

$$t_f = \frac{l}{v},$$

ahol l a tápvonal hossza és v a jel terjedési sebessége. Egyszerű szabályként azt mondhatjuk, hogy a **tápvonal-hatás** akkor jelentős, ha

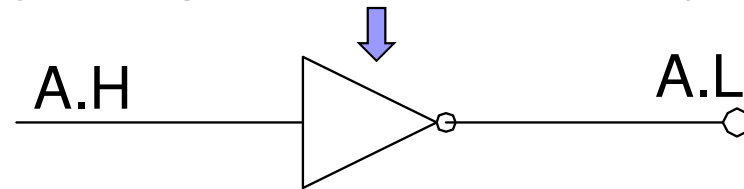
$$t_r < 2.5 \cdot t_f \quad \text{összemérhetők!}$$

és a tápvonal **koncentrált paraméterű** kapacitásként viselkedik, ha

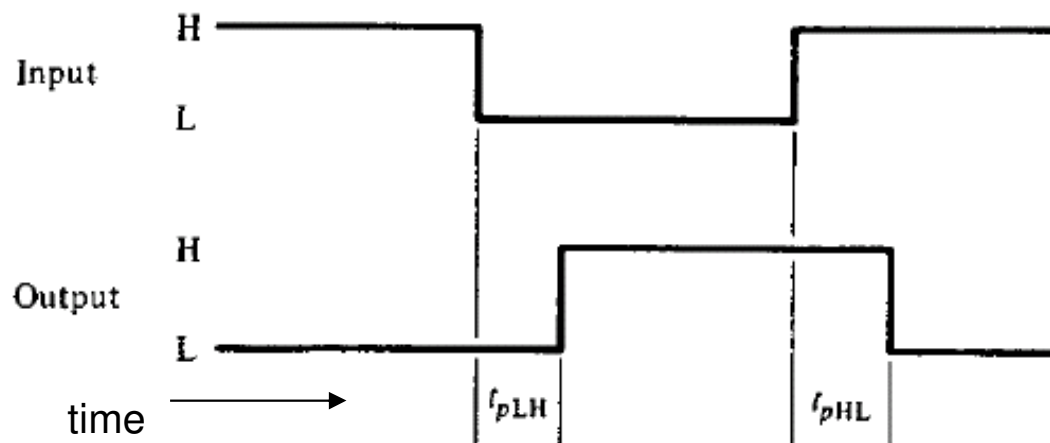
$$t_r > 5 \cdot t_f$$

Példa: t_p késleltetés (kevert „feszültség” logikájú hálózat esetén).

- Input: A.H \rightarrow A.L (itt ‚A’ feszültségének polaritását változtatjuk!, nem pedig az ‚A’ logikai értékét)



- **Idődiagram analízis:** a bemenet változását a kimenet csak véges idő alatt követi (t_{pLH} ill. t_{pHL})



Propagációs (jelterjedési) késleltetések!

(Waveform-ok)

Késleltetések modellezése:
A hálózatokban minden kapu bemenetére és kimenetére helyezünk késleltető elemeket (Jel: Δt_i).

a.) Statikus hazárd

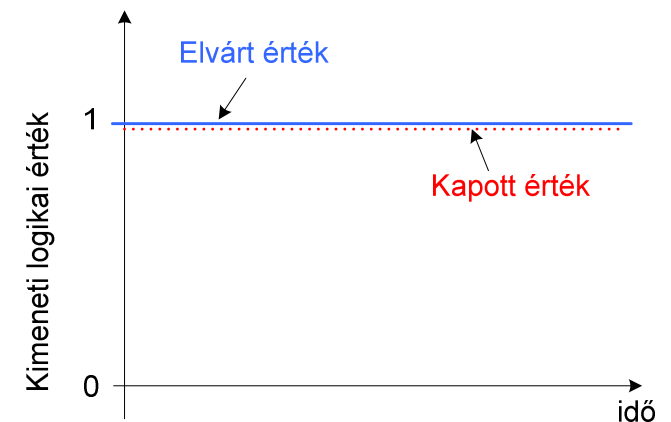
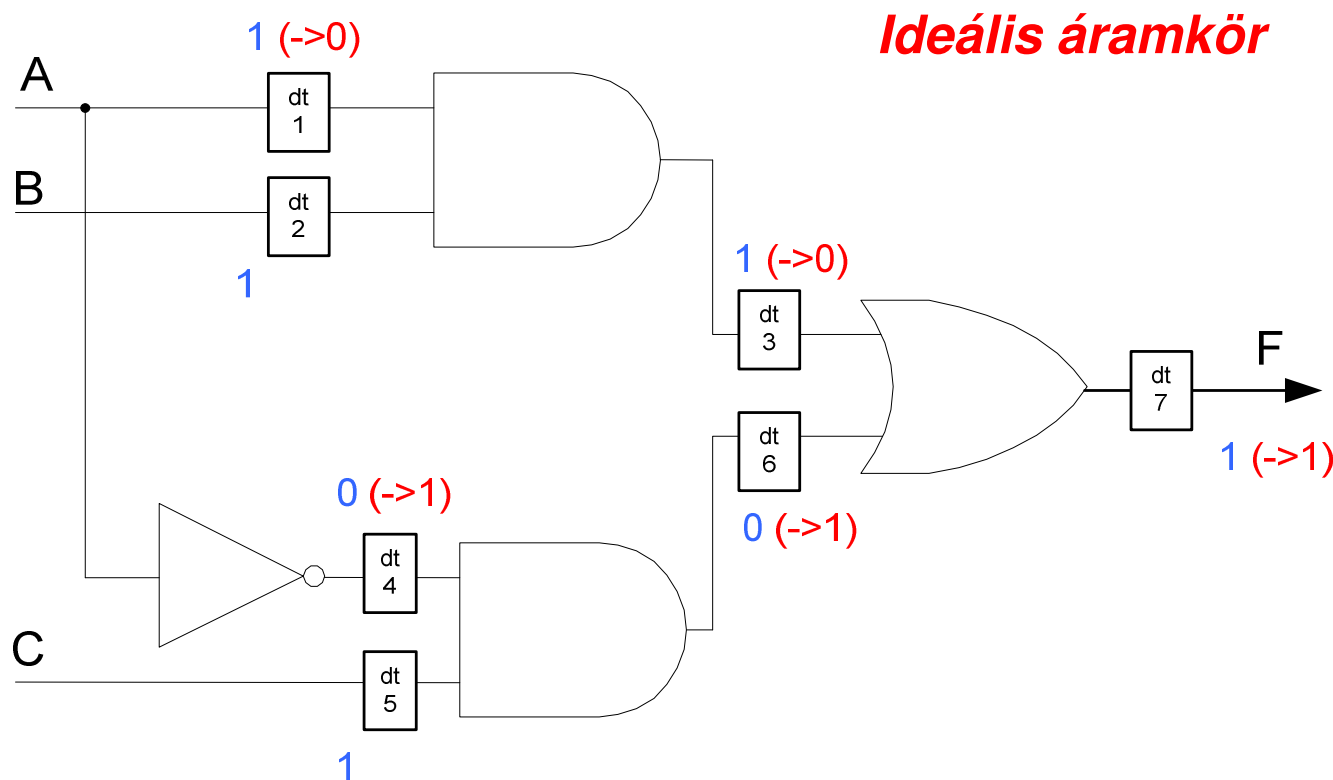
- **Példa 1:** Adott a következő logikai függvény DNF alakja.
- Ha szükséges, hazárd mentesítsük a hálózatot!

$$F^3 = \sum_{i=0}^{2^3-1} (1, 3, 6, 7) = A \cdot B + \bar{A} \cdot C$$

		C			
		B			
A	BC	00	01	11	10
0		0	1	1	0
1		0	0	1	1

Példa 1./a. – Ideális: késleltetési viszonyok figyelembe vétele nélkül! ($T_{fh} \Delta t_i = 0$)

- Az elvi logikai rajzot kiegészítjük *koncentrált késleltetésekkel* (jelölve Δt_i -kel). Feltételezzük: a hálózatot szomszédos bemeneti változás éri (egyetlen bemeneti jel változik meg). Mi játszódik le ekkor az ideális hálózatban?



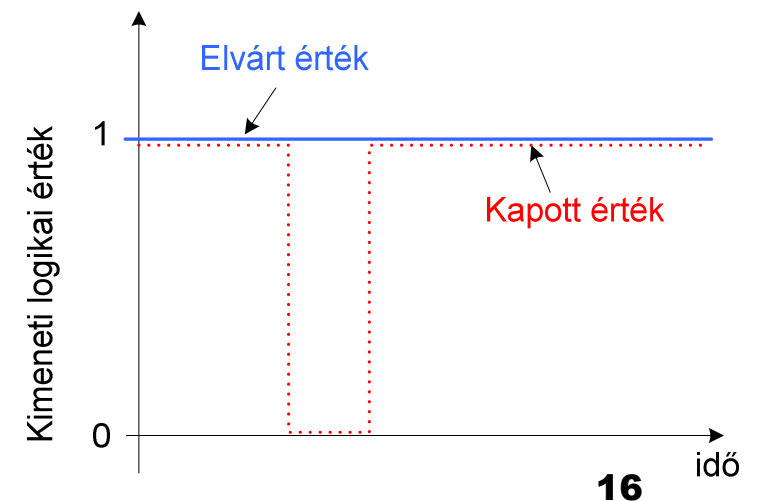
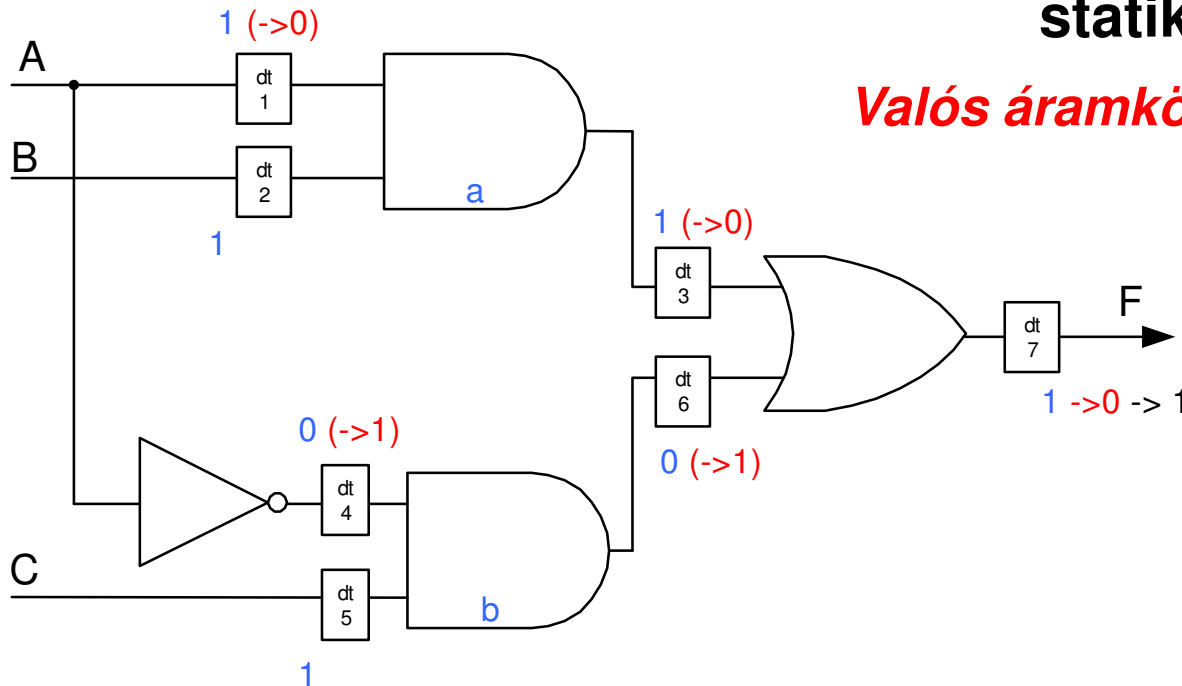
Amikor a bemeneten $ABC=111$, majd a vele szomszédos változás $ABC=011$ következik be (tehát A: $0 \rightarrow 1$ lesz). A kimeneten mindkét esetben $F='1'$ -et várunk.

Példa 1./b. Valós: késleltetési viszonyok figyelembe vételével (T_{fh} , Δt_i -k különböznek!)

- Tegyük fel hogy $0 < (dt1 + dt3) < (dt4 + dt6)$. Ekkor a VAGY kapunak a felső 'a'-val jelölt ÉS ága előbb hajtódik végre (értékelődik ki), mint az alsó 'b' ÉS ág. Előbb megy végbe az $1 \rightarrow 0$ (A) átmenet, mint az alsó ágon a $0 \rightarrow 1$ (inverter) változása. Így 'a' kapu bemenetén előbb vált '0'-ra, a VAGY-on előáll a '00' párosítás, amelyre „átmenetileg” a kimenet is $F = '0'$ lesz!
- Csak $(dt4 + dt6) - (dt1 + dt3) > 0$ idővel később lesz megint a várt $F = '1'$. Tehát a kimeneten $1 \rightarrow 0 \rightarrow 1$ jelváltás megy végbe, ami **hibát**,

statikus hazárdot jelent!

Valós áramkör



Definíció: Statikus hazárd

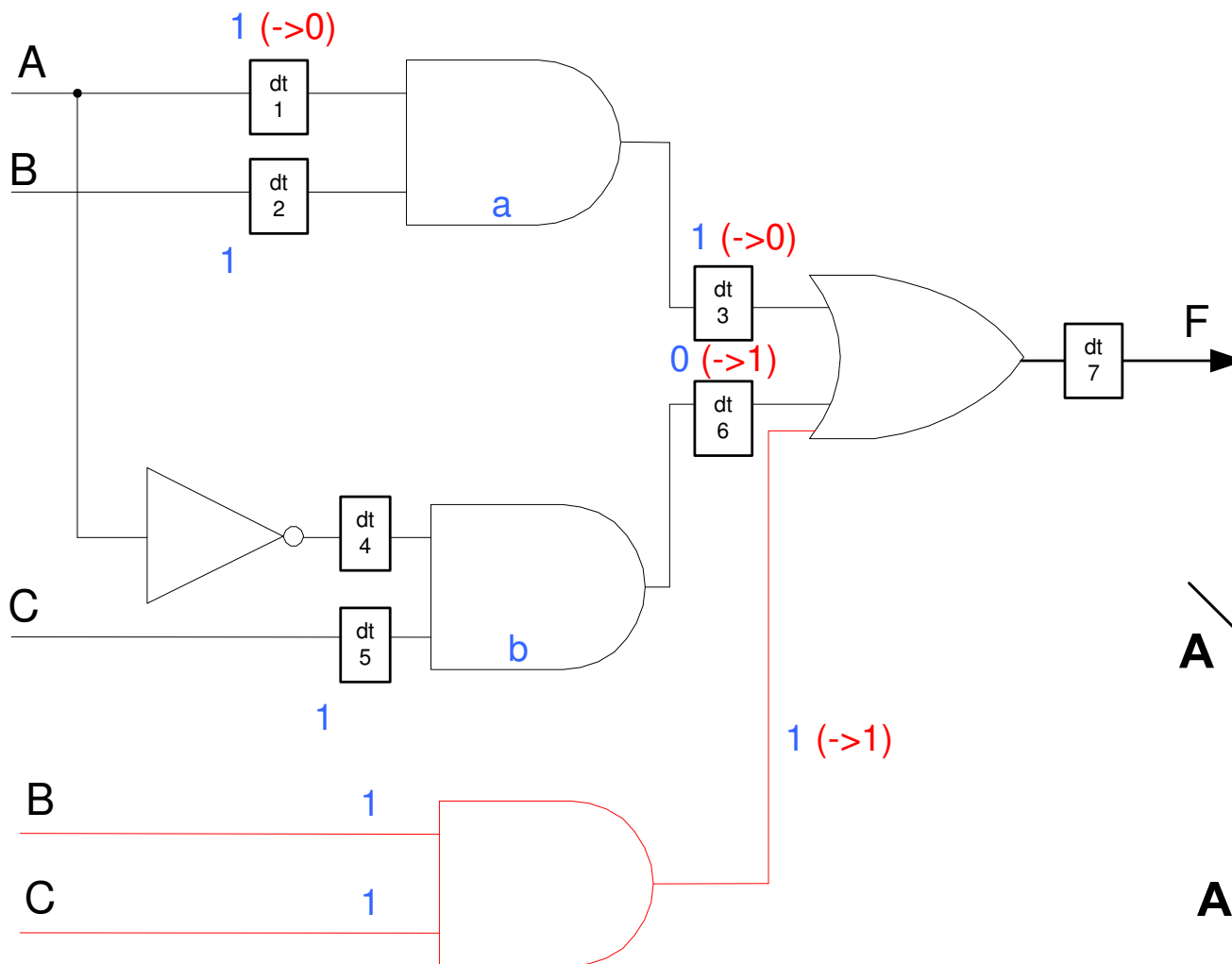
- Kétszintű ($l=2$) digitális logikai kombinációs hálózatokban jöhet létre, ahol adott két szomszédos bemeneti kombináció (az előző és az új bemeneti kombinációk Hamming-távolsága=1). Jelölje őket rendre X és X' , amelyre a kimeneti függvényérték azonos $F(X) \equiv F(X')$.
- Ha a bemeneti kombináció egyik szomszédról a másikra változik, és ezalatt a kimenetén átmenetileg F^* érték jelenik meg, amely $F^* \neq (F(X) \equiv F(X'))$ -al, vagyis a kimenetén $F(X) \rightarrow F^* \rightarrow F(X')$ változás következik be a késleltetési viszonyoktól függően a hálózatban **statikus hazárd** alakulhat ki.

Általános definíció:

Statikus hazard kiküszöbölése

- A kétszintű (ÉS-VAGY) DNF hálózat pontosan akkor mentes a statikus hazardtól, ha az '1'-es kimeneteket előállító bemeneti kombinációk (mintermek) közül bármely két szomszédos mintermhez található egy olyan **ÉS kapu**, amelynek kimenete mindkét szomszédos bemeneti kombináció (minterm) esetén '1'.
- Azaz: *bármely két szomszédos mintermhez található legalább egy olyan prímisszorzó, amely mindkét mintermet lefedi.*
 - **Statikus hazard megszüntetése:** 1.szinten az ÉS kapuval a szomszédos mintermek összevonását megvalósítani, és ezt kell VAGY kapcsolatba hozni a 2. szinten, így módosítva a hálózatot.
 - *Megj: hasonlóan igaz KNF hálózat esetében is (VAGY-ÉS szintek).*

Példa 1./b. Megoldás: statikus hazárdmentes a hálózat



*Megjegyzés:
a hazárdmentesített hálózat
nem a legegyszerűbb DNF
alakot fogja ábrázolni a
redundancia miatt!*

		C			
		B			
A	BC	00	01	11	10
	0	0 0	1 1	1 3	0 2
1	0 4	0 5	1 7	1 6	

Red annotations in the Karnaugh map include a solid red oval around cells (0,1) and (0,3), a dashed red oval around cells (1,3) and (1,6), and a vertical dashed red line between columns 01 and 11.

További példák: Statikus hazard

- Általában elegendő időt várakozva a kimenet az elvárt (becsült) logikai- és feszültség- értékre áll be (lásd előző példa).
- De vannak olyan hazard-jelenségek is, melyek idővel sem szűnnek meg, további tervezői beavatkozást igényel (pl. funkcionális hazard – szinkronizálással stb.)
 - Példa: ha szomszédos 1-esek vannak Karnaugh táblában, amelyek nincsenek egy tömbbe összevonva, akkor hazard kialakulása lehetséges.
 - Megszüntetés: prímisszimplicánss lefedés!

Példa 2: Statikus hazárd (DNF)

- Vegyünk egy 3-változós esetet:

$$F = \sum_{i=0}^7 (0, 1, 5, 7)$$

		C		B	
		00	01	11	10
A	0	1	1	0	0
	1	0	1	1	0
		0	1	3	2
		4	5	7	6

$$F^3 = \overline{A} \cdot \overline{B} + A \cdot C + \overline{B} \cdot C$$

↑
hazárdmentesítés

- Ha a szomszédos (itt kételemű) hurkok között a „szaggatottal” jelölt összevonást képezzük, akkor biztosíthatjuk a hazárdmentességet (de extra kapu szükséglete van: 1 AND ill. OR kapu kibővítése).
- A Hazárdmentes hálózat nem a legegyszerűbb DNF alakot fogja megadni.

Példa 3: hazárdmentesítésre DNF

■ Legyen $F = \sum_{i=0}^{15} (0,1,2,5,7,10,11,13,15)$ TSH

■ Ekkor a következő K-tábla írható fel (DNF):

AB		CD			
		00	01	11	10
A	00	1	1	0	1
	01	0	1	1	0
	11	0	1	1	0
	10	0	0	1	1
		D			

$$\begin{aligned}
 F(A, B, C, D) = & \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + B \cdot D + \\
 & + A \cdot C \cdot D + \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D} + \\
 & + \bar{A} \cdot \bar{C} \cdot D + A \cdot \bar{B} \cdot C + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{D}
 \end{aligned}$$

Hazárdmentesítés miatt kellene (extra kapuk)

Ebből már felrajzolható a hazárdmentesített áramkör (7+1 kapuból)!

Példa 3: hazárdmentesítésre **KNF**

- Legyen $F = \sum_{i=0}^{15} (0, 1, 2, 5, 7, 10, 11, 13, 15)$ TSH
- Megvizsgálni, **KNF-el nem egyszerűbb-e?**

		CD			
		00	01	11	10
AB	00	1	1	0	1
	01	0	1	1	0
	11	0	1	1	0
	10	0	0	1	1
		D			

Diagram showing a 4x4 Karnaugh map for function F(A,B,C,D). The map is labeled with variables A, B, C, and D. The top-left corner is labeled 'AB' and the bottom-right corner is labeled 'CD'. The map contains 1s in cells (0,0), (0,1), (0,3), (1,1), (1,2), (2,1), (2,2), (3,2), and (3,3). The cell (0,2) contains a 0. The cell (1,0) contains a 0. The cell (2,0) contains a 0. The cell (3,0) contains a 0. The cell (3,1) contains a 0. The cell (3,2) contains a 1. The cell (3,3) contains a 1. The cell (0,2) is circled in black. The cell (1,0) is circled in red. The cell (2,0) is circled in red. The cell (3,0) and (3,1) are circled in black. A blue arrow points from the map to the equation.

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

$$\cdot (\bar{A} + C + D)$$

Hazárdmentesítés miatt kell (extra kapu)

Ebből már felrajzolható a hazárdmentesített áramkör (4+1 kapuból)! Itt: **KNF optimálisabb!**

Statikus hazard több-kimenetű hálózatokban

- TSH: Több-kimenetű hálózatokban a statikus hazard minden kimeneten felléphet a szomszédos jelváltozásra.
 - Kiküszöböléséhez a módszer hasonlóan történik, mint egy-kimenetű esetben, csak **kimeneti függvényenként külön-külön** kell az összes prímisszűrt megvalósítani. (Azaz az összesített prímisszűrt tábla képzése és lefedése elhagyható – nincs lényeges prímisszűrt)
 - A közös prímisszűrtakat elegendő egyszer megvalósítani.
- NTSH: **intuitív módon, próbálgatással** kell előállítani a kétszintű statikus hazard mentes hálózatot.
 - Optimális lefedéseket keresni, miközben vizsgálni kell a lefedések közötti átmeneteken a statikus hazard-ot.

b.) Definíció: Dinamikus hazárd

- Adott két szomszédos bemeneti kombináció (Hamming távolságuk = 1), jelölje őket X és X' amelyre az kezdeti - elvárt kimeneti függvényértékek eltérőek $F(X) \neq F(X')$!
- Ha a bemeneti kombináció egyik szomszédról a másikra változik ($X \rightarrow X'$), mialatt a kimenetén átmenetileg $F(X) \rightarrow F(X')$ helyett $F(X) \rightarrow F' \rightarrow F(X) \rightarrow F(X')$ jelváltozások sorozata játszódik le, akkor a késleltetési viszonyoktól függően a hálózatban **dinamikus hazárd** van.
- Kialakulás feltétele: Olyan **többszintű digitális logikai kombinációs hálózatokban** ($l > 2$) jöhet létre, ahol a *statikus hazárd az alacsonyabb hierarchia szinteken nem lett megszüntetve*.
- **Megszüntethető:** az alacsonyabb hierarchia szinteken történő statikus hazárd kiküszöbölésével.

Példa: Dinamikus hazárd vizsgálat

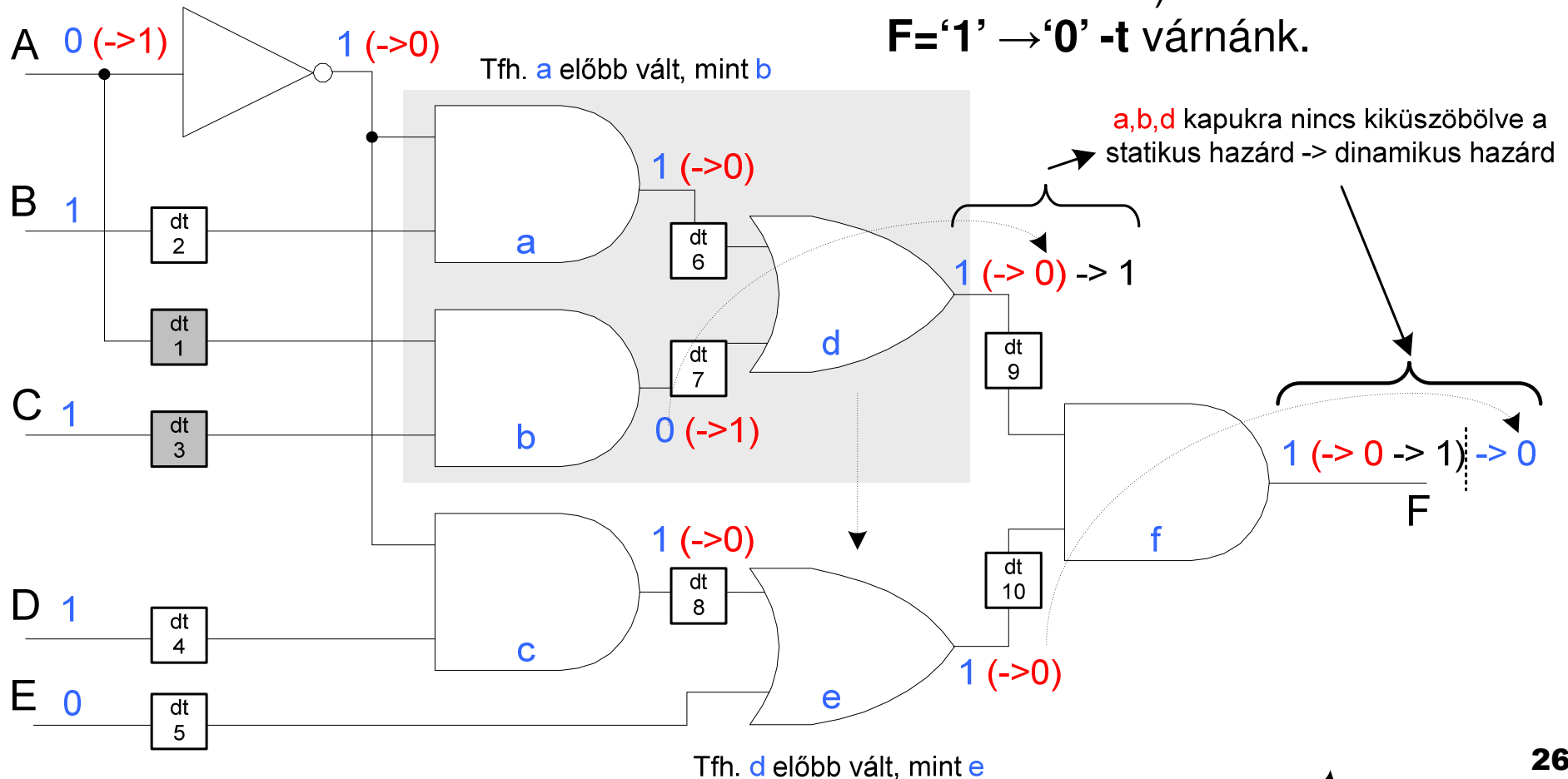
- Adott a következő többszintű F függvény:

$$F^{n=5} = (\overline{AD} + E)(\overline{AB} + AC)$$

Amikor a bemeneten **ABCDE=01110**, majd a szomszédos változás **ABCDE=11110** következik be (tehát A: 0 → 1 változás). A kimeneten ekkor **F='1' → '0'**-t várnánk.

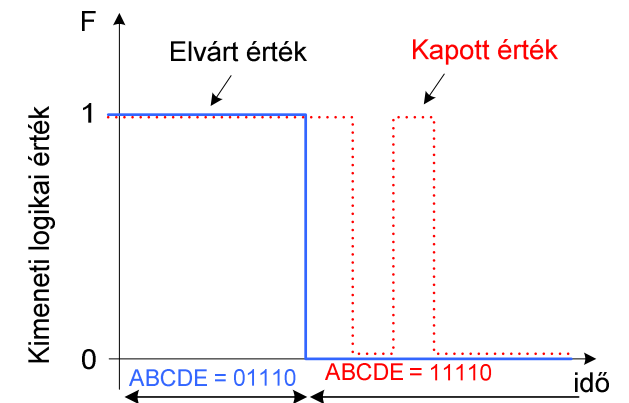
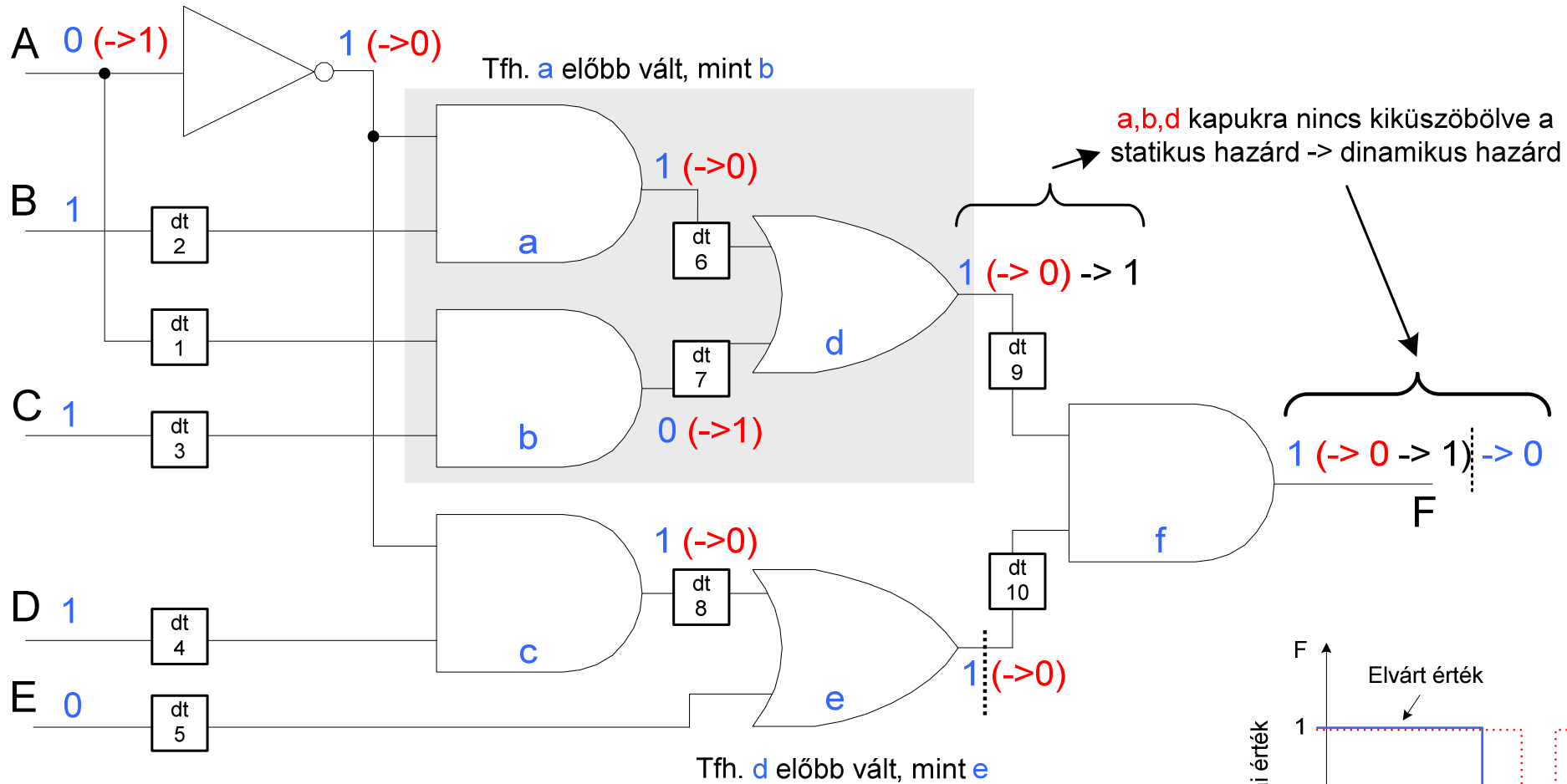
ÉS-VAGY-ÉS hierarchia

Szomszédos változás



Dinamikus hazárd vizsgálat

$ABCDE = \underline{0}1110,$
 $ABCDE = \underline{1}1110$



Példa (folyt): Dinamikus hazardra

$$F^{n=5} = (\overline{AD} + E)(\overline{AB} + AC)$$

Szomszédos változás

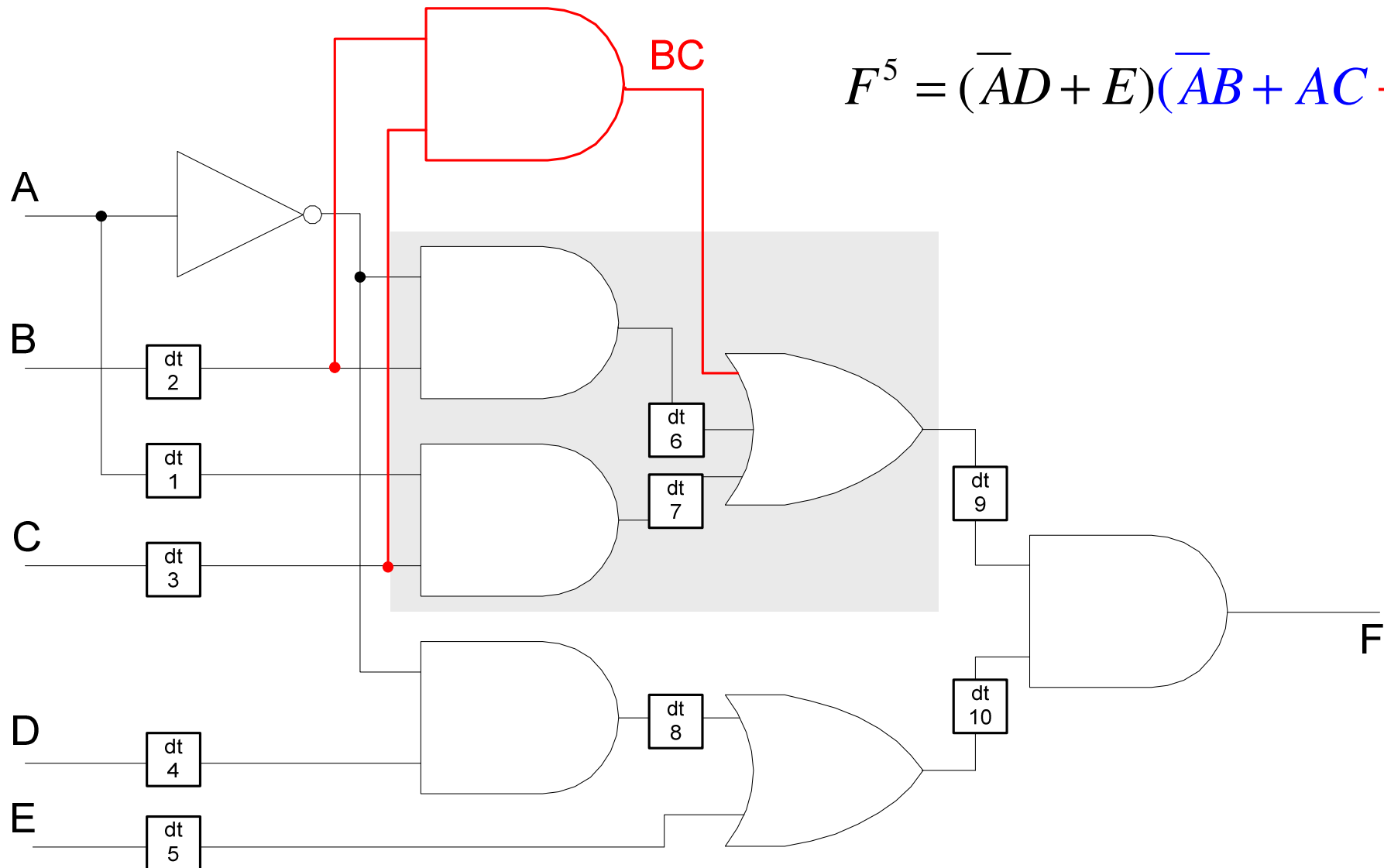
Amikor a bemeneten **ABCDE=01110**, majd a szomszédos változás **ABCDE=11110** következik be (tehát 0→1 lesz A). A kimeneten ekkor **F='1'→'0'**-t váránk.

		D				C			
		CD				C			
AB		00	01	11	10	00	01	11	10
A	00	Y ₀	Y ₁	Y ₃	Y ₂	Y ₆	Y ₇	Y ₅	Y ₄
	01	1 ₈	1 ₉	1 ₁₁	1 ₁₀	1 ₁₄	1 ₁₅	1 ₁₃	1 ₁₂
	11	Y ₂₄	Y ₂₅	Y ₂₇	Y ₂₆	1 ₃₀	1 ₃₁	1 ₂₉	1 ₂₈
	10	Y ₁₆	Y ₁₇	Y ₁₉	Y ₁₈	1 ₂₂	1 ₂₃	1 ₂₁	1 ₂₀
		E				E			

Dinamikus hazard megszüntetése: statikus hazard megszüntetésével hierarchia szintenként

$$F^5 = (\overline{AD} + E)(\overline{AB} + AC + BC)$$

Dinamikus hazárd megszüntetése



$$F^5 = (\bar{A}D + E)(\bar{A}B + AC + BC)$$

c.) Funkcionális hazard

- Eddig: csak *szomszédos (minterm) bemeneti változások* esetén vizsgáltuk a hazard jelenségeket (késleltetések hatását).
- Most: **tetszőleges bemeneti (azaz nem-szomszédos, Hamming-távolság > 1)** kombináció változásokra is meg kell vizsgálni, milyen változások játszódhatnak le a hálózat kimenetén.
 - Azaz ha adott változó, bármelyik másik változóval egyszerre vált értéket,
 - vagy egyszerre több bemeneti változó vált értéket.

Általános definíció:

Funkcionális hazard és megszüntetése

- Ha a *nem-szomszédos* bemeneti kombinációk változásait a hálózat egyes részei *szomszédos változások sorozataként* érzékelik.
 - **Megszüntetés I. mód:** a hálózatba szándékosan beépített késleltetésekkel úgy kell beállítani a jelterjedési késleltetés értékeit, hogy azok minden lehetséges megváltozásakor csak olyan „**közbenső értékek** alakuljanak ki” (*Példa 1.-ben* $ABC='000' = '1'$), amelyek nem hoznak létre átmeneti hibát.
 - Buffer: páros számú inverter fokozat. Ez egyszerű és hatékony megoldás lehet, de lassítja a működést.
 - **Megszüntetés II. mód:** szinkronizáló órajelekkel ún. „elnyeletni” a hazard jelenséget. (*Példa 2.*).
 - Ez a megvalósítási mód már a Sorrendi logikai hálózatok tervezési módszerei felé mutat.

Példa 1: Funkcionális hazárd

- Vegyünk egy 3-változós esetet:

		C			
		00	01	11	10
A	0	1	1	0	0
	1	1	0	0	0
		0	1	3	2
		4	5	7	6

Note: In the original image, a dashed oval encloses cells (0,0), (0,1), (1,0), and (1,1). A red arrow points from (0,0) to (0,1), and a blue arrow points from (0,0) to (1,0). A small '0' is written in the center of the oval.

$$F^{n=3} = \sum_{i=0}^7 (0, 1, 4)$$

$$F^{n=3} = \overline{A} \cdot \overline{B} + \overline{B} \cdot \overline{C}$$

Vizsgáljuk: ha bemeneti változás során az A és C változó vált értéket.

(Előfordulhat, hogy A megváltozása, más esetben C megváltozása jut el előbb bizonyos kapuk bemenetére.)

- Nem szomszédos változás (változás sorozat): $m_4 \rightarrow m_1$ ($4 \rightarrow 1$)

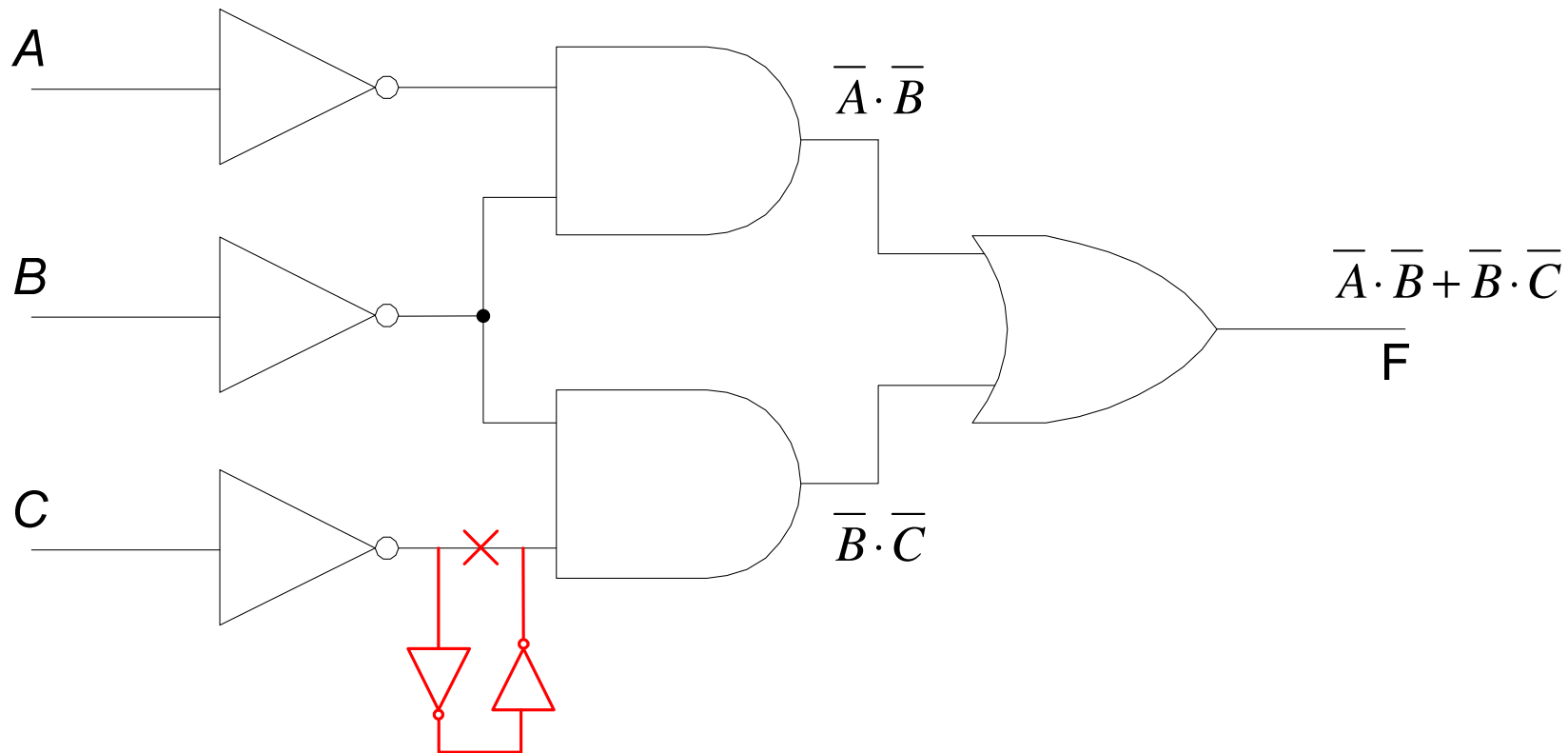
- 4: 100
 - 1: 001
- Nem szomszédok 100 -> 001**

- Az átmenet két lehetséges úton realizálható (változás sorozattal):

- A.) $4 \rightarrow 0 \rightarrow 1 = 100 \rightarrow 000 \rightarrow 001 = '1' \rightarrow '1' \rightarrow '1'$
- B.) $4 \rightarrow 5 \rightarrow 1 = 100 \rightarrow 101 \rightarrow 001 = '1' \rightarrow '0' \rightarrow '1'$ (funkcionális hazárd!!/

Példa 1.) Funkcionális hazárd megszüntetése (I. módszer)

- A direkt késleltetendő 'C' ágba páros számú inverter fokozat (buffer) beépítése. Így már az 'A' változása előbb realizálódik, a 'C' megváltozása pedig később.



Példa 2: Funkcionális hazard

- Vegyünk egy 3-változós esetet:

		C			
		B			
A	BC	00	01	11	10
	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0
		0	1	3	2
		4	5	7	6

$$F = \sum_{i=0}^{n=3} (1, 4)$$

$$F^3 = A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C$$

Vizsgáljuk: bemeneti változás során az A és C változó vált értéket.

(Előfordulhat, hogy A megváltozása, más esetben C megváltozása jut el előbb bizonyos kapuk bemenetére.)

- Nem szomszédos változás (változás sorozat): m4 -> m1 (4->1)

- 4: 100
 - 1: 001
- Nem szomszédok 100 -> 001***

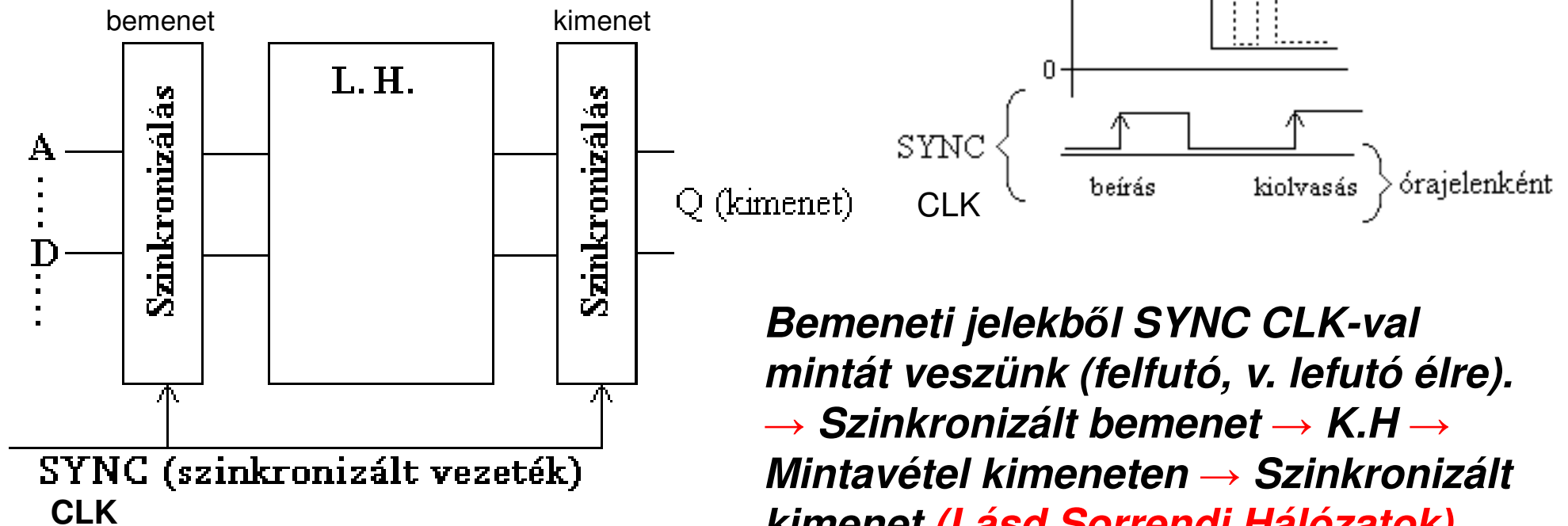
- Az átmenet két lehetséges úton realizálható (változás sorozattal):

- A.) 4 -> 0 -> 1 = 100 -> 000 -> 001 = '1' -> '0' -> '1' (funkcionális hazard!)
- B.) 4 -> 5 -> 1 = 100 -> 101 -> 001 = '1' -> '0' -> '1' (funkcionális hazard!)

(átmeneti hibák) **34**

(II. mód) Funkcionális hazárd mentesítése

- Megszüntethető: *szinkronizációval* (órajel fel-, vagy lefutó élére működtetjük a hálózat be-, és kimeneti tárolóit).



**Bemeneti jelekből SYNC CLK-val mintát veszünk (felfutó, v. lefutó élre).
→ Szinkronizált bemenet → K.H. → Mintavétel kimeneten → Szinkronizált kimenet (Lásd Sorrendi Hálózatok)**

Példa 2.) Funkcionális hazárd megszüntetése (II. módszer)

■ Megszüntethető: szinkronizációval

- fel-, vagy lefutó élre mintavétel a bemeneten → Szinkronizált bemenet
→ K.H. → Mintavétel a kimeneten → Szinkronizált kimenet

