Pannon Egyetem
Villamosmérnöki és Információs Tanszék

Digitális Áramkörök I.

(Villamosmérnök BSc)

6. hét – Hazárd jelenségek

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 ”*

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

Hazárd jelenségek

- Kombinációs logikai hálózatok (K.H.) esetén alapvetően három fajtája létezhet:
  - Statikus,
  - Dinamikus,
  - Funkcionális.
- Megj: szekvenciális hálózatok (S.H.) esetén további hazárd jelenségek lehetnek:
  - Lényeges hazárd
  - 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 a *kiküszöbölésükre már tervezéskor*

Hazárd jelenségek

- Hazárdok: Késleltetés okozta nem-kívánt kimenetek, állapotok.
- *Hazárd* alakul<u>hat</u> 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.

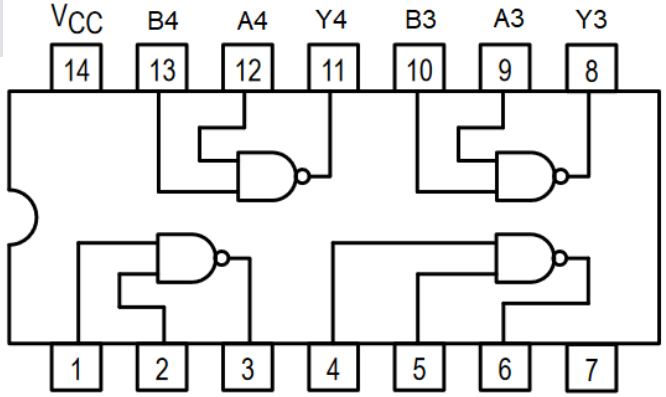
- **a.) Kapu „jelterjedési" (propagation delay) vagy „megszólalási" késleltetése**: *a logikai* ***kapu*** *bemeneteinek és a kimeneteinek változása közötti időkülönbség miatt* (bár rövid, de véges tranziens idő alatt változik meg).
- Függhet:
  - Jelalak a bemeneten (waveform),
  - Hőmérséklet,
  - 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.) Vezetékek „összeköttetési” (interconnection delay) késleltetés**:
  *a logikai kapukat összekötő **vezetéken** lévő véges jelterjedés miatt*
  - Pl: ~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°C

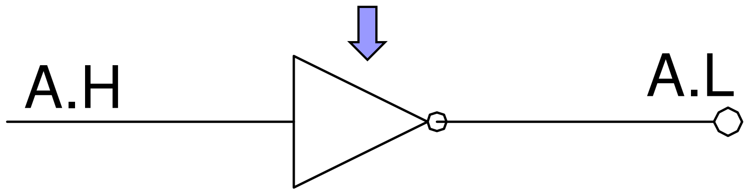
Példa: TTL 74LS00

Symbol	Parameter	R_L = 2 kΩ, C_L = 15 pF, Min	R_L = 2 kΩ, C_L = 15 pF, Max	R_L = 2 kΩ, C_L = 50 pF, Min	R_L = 2 kΩ, C_L = 50 pF, Max	Units
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

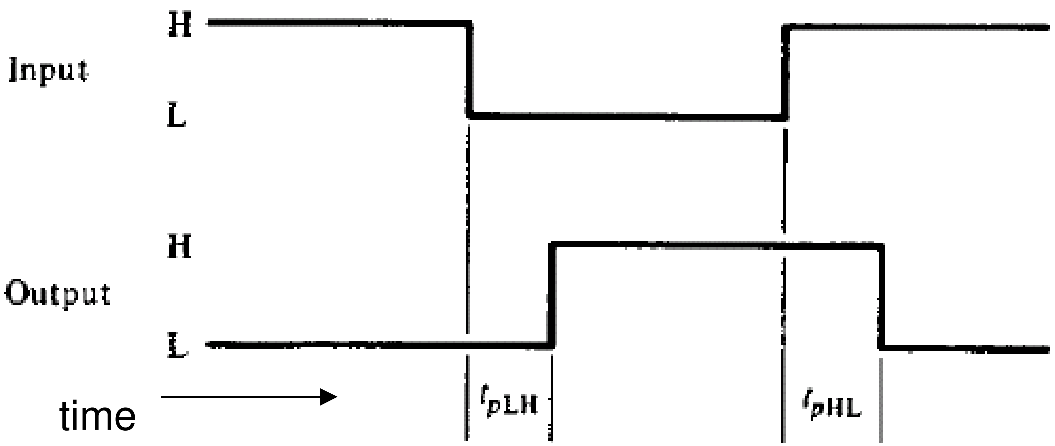
Switching (kapcsolási) / AC karakterisztika: időfüggést mutat – ‚propagációs' késleltetések leírása. Egy egyszerű TTL74-es eszköz ~5ns-os jelterjedési késleltetéssel rendelkezik

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

- Input: A.H → 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 ($t_{p\ LH}$ ill. $t_{p\ HL}$)



Propagációs (jelterjedési) késleltetések!

(Waveform-ok)

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

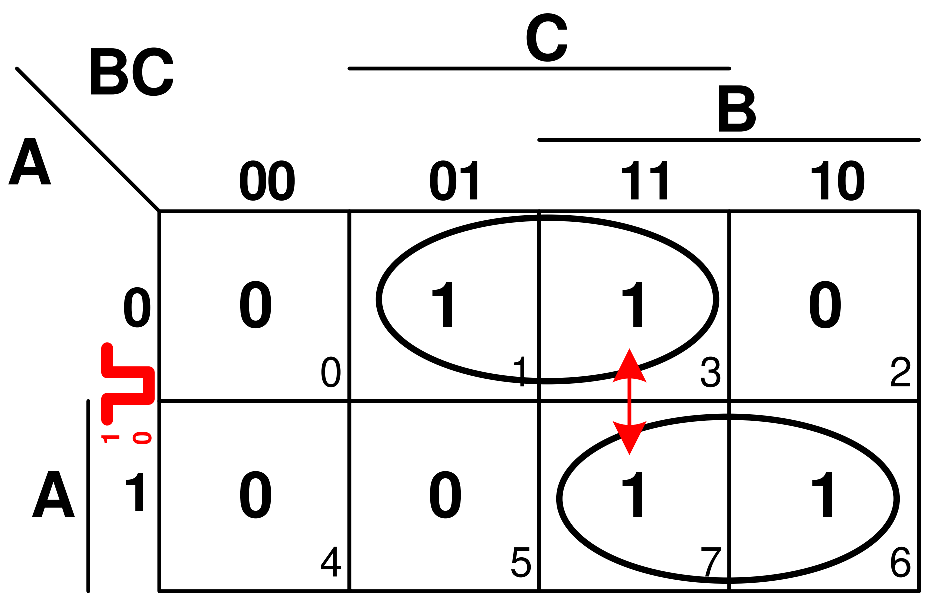
a.) Statikus hazárd

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

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

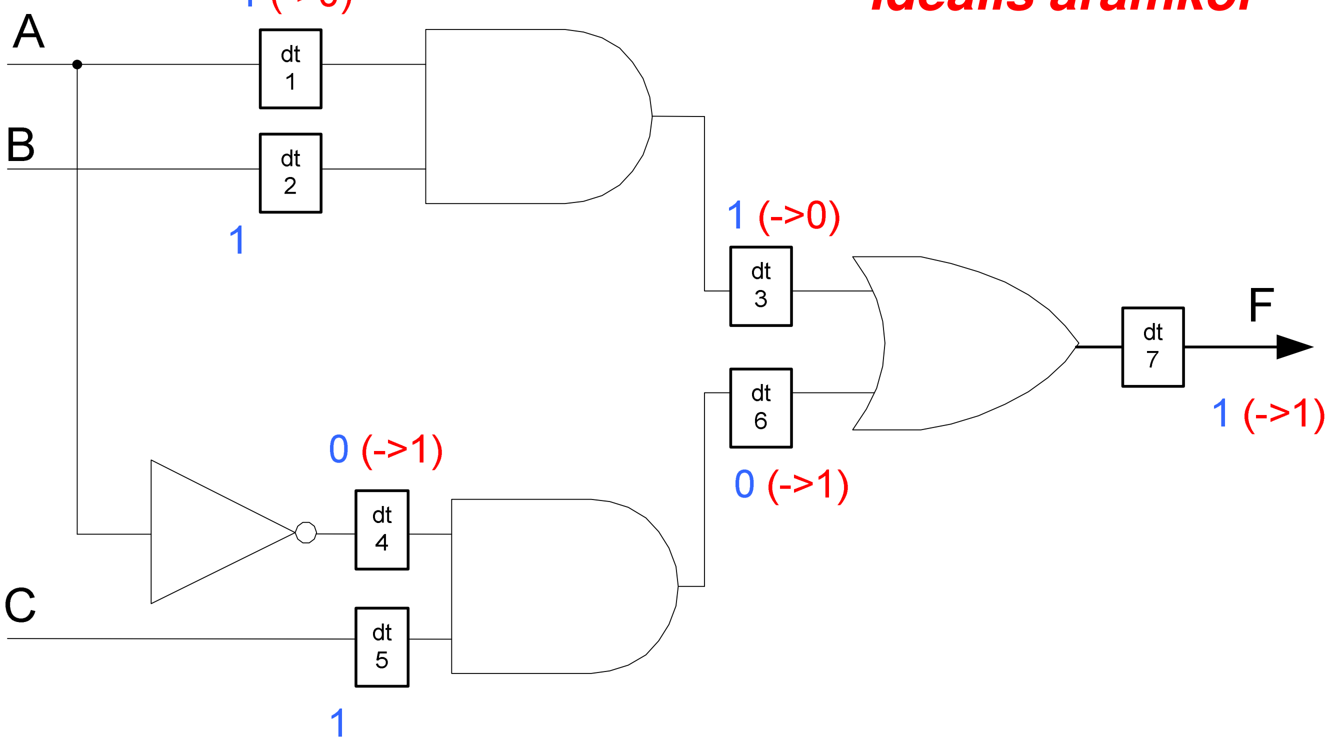
//DNF alak, TSH

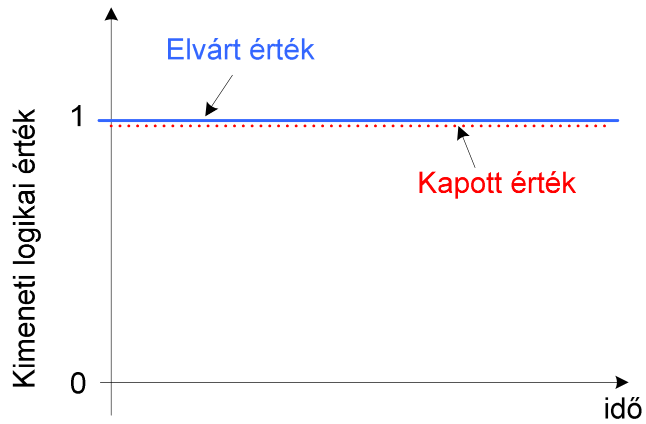
Vizsgálat ?



Példa 1./a. – **Ideális: késleltetési viszonyok figyelembe vétele nélkül**! (Tfh. $\Delta t_i=0$)

- Feltétel: a hálózatot <u>*szomszédos*</u> *bemeneti változás* éri, ABC: 111→011 (egyetlen bemeneti változó – A változik meg). Mi játszódik le ekkor az **ideális** hálózatban?

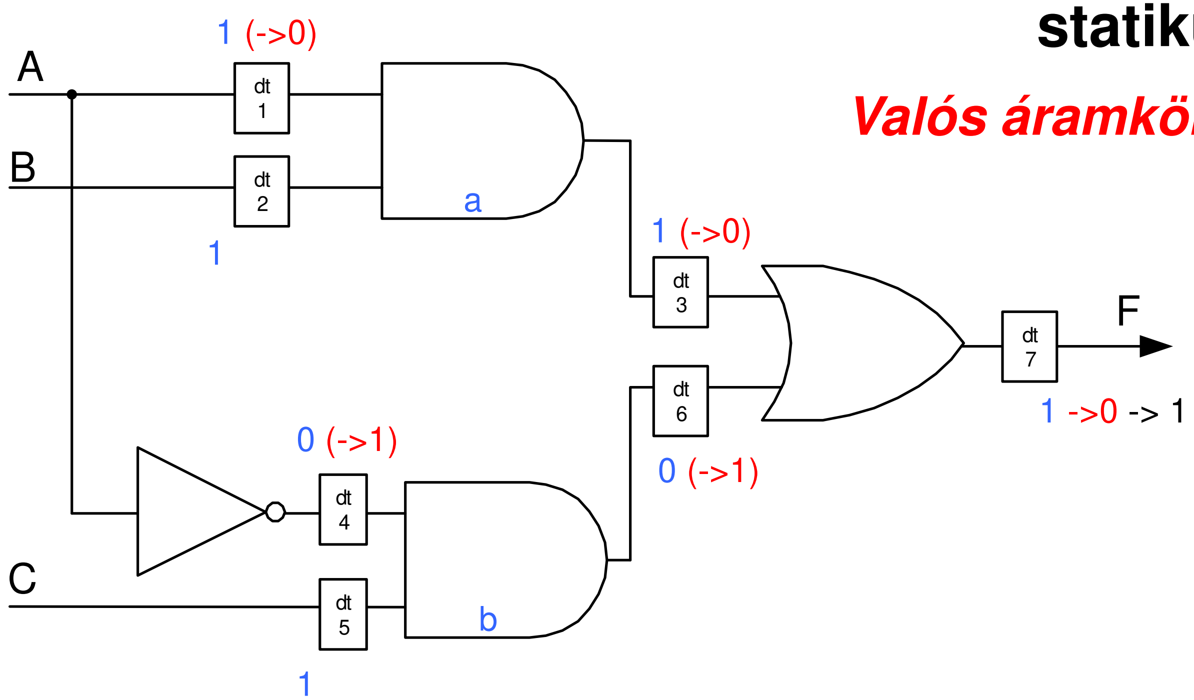




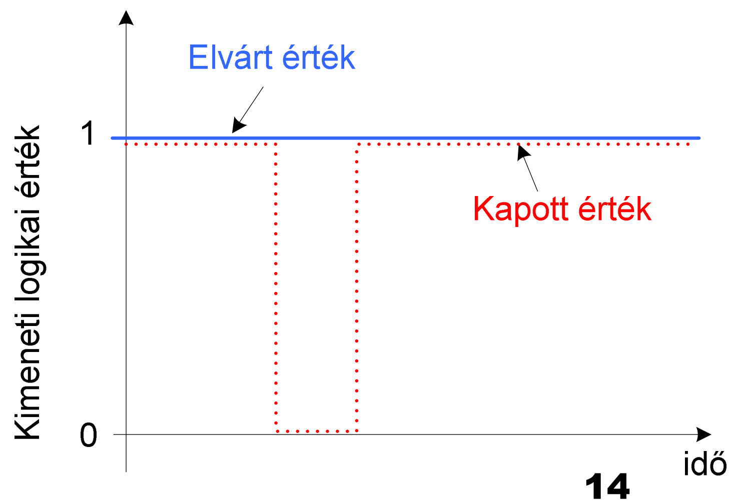
Amikor a bemeneten ABC=111, **majd** a vele *szomszédos* változás ABC=011 következik be (tehát A: 1 → 0 esz). A kimeneten mindkét esetben F='1' –et várunk.

Példa 1./b. **Valós áramkör: késleltetési viszonyok figyelembe vételével**

- 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→0 (A) átmenet, mint az alsó ágon a 0→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** → **0** → **1** jelváltás megy végbe, ami **hibát, statikus hazárdot jelent**!



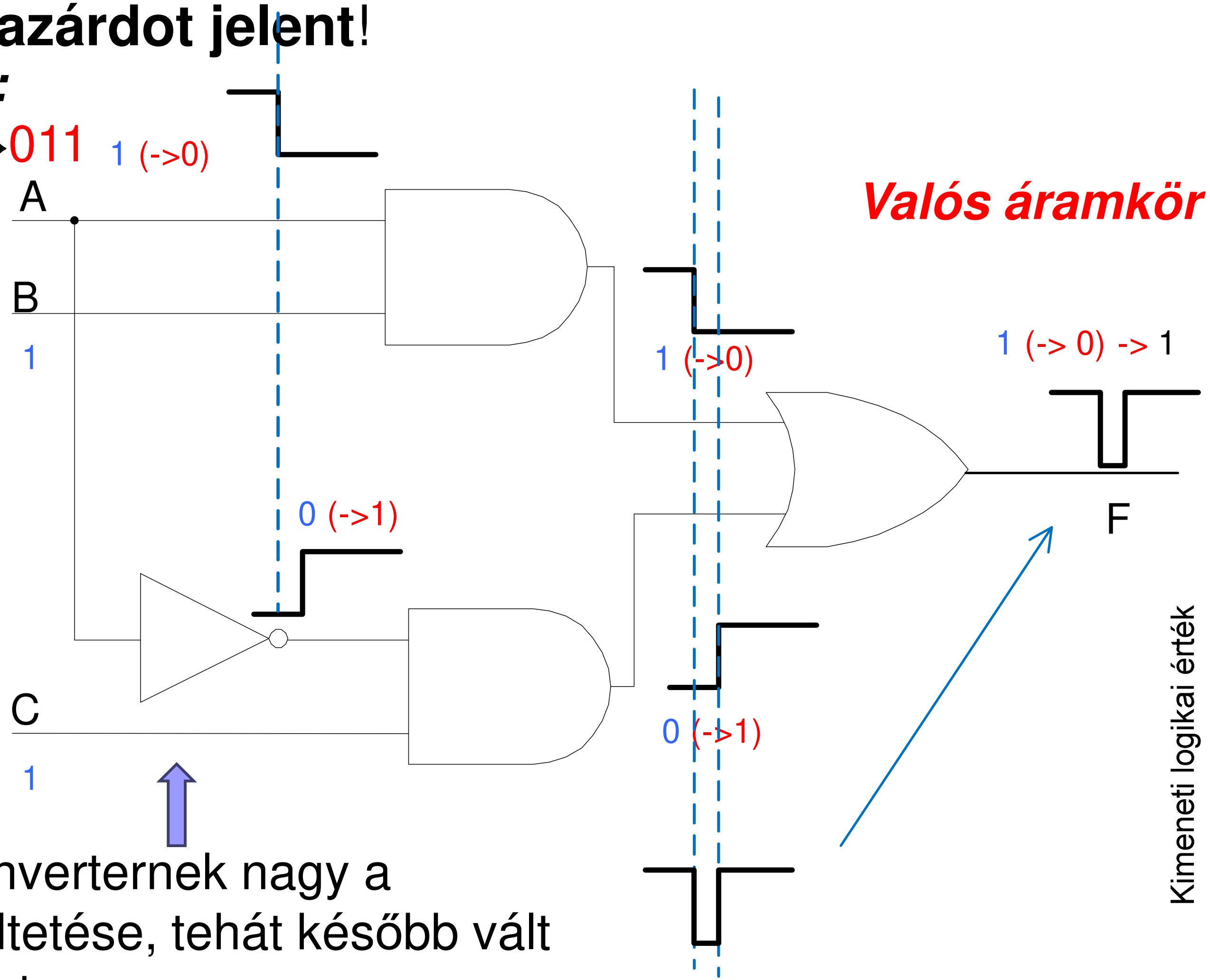
Valós áramkör



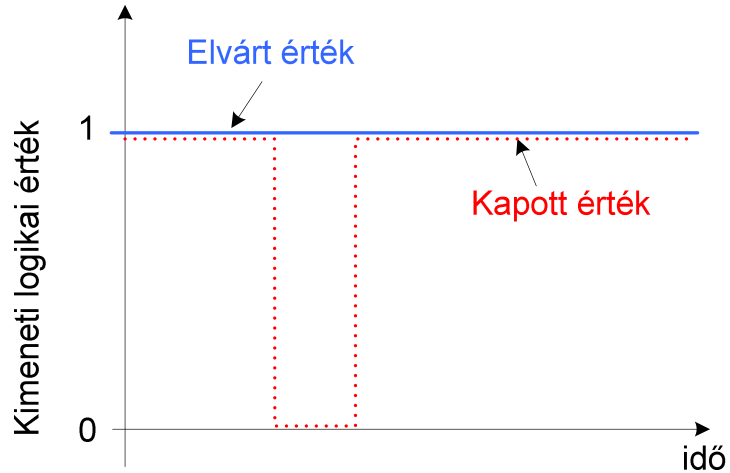
Példa-1.) Valós áramkör: késleltetési viszonyok figyelembe vételével (folyt)

- Ha a kapuk/vezetékek késleltetését (Δt) is figyelembe vesszük, az F kimeneten átmenetileg **1** → **0** → **1** jelváltás megy végbe, ami **hibát, statikus hazárdot jelent**!

ABC:
111→011

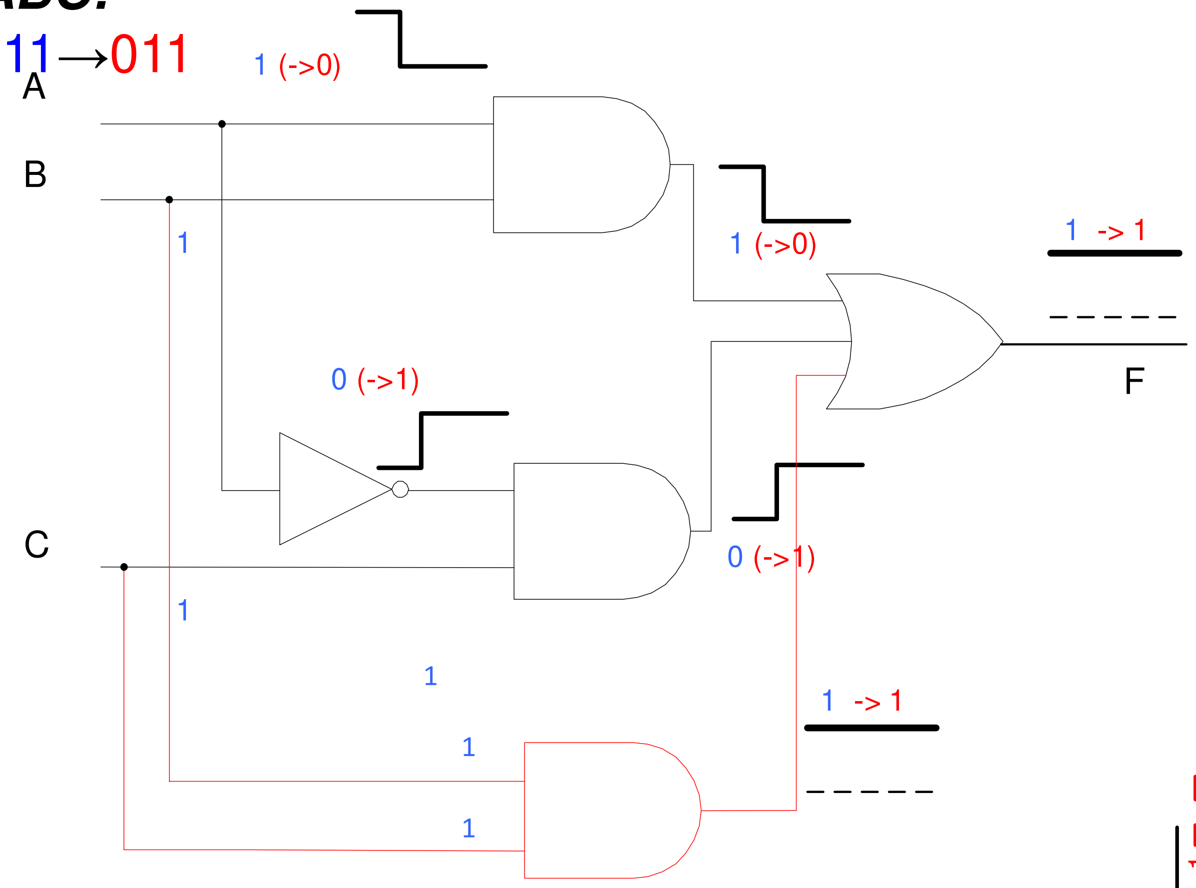


Tfh. inverternek nagy a késleltetése, tehát később vált értéket.



Megoldás: Statikus hazárd-mentes hálózat

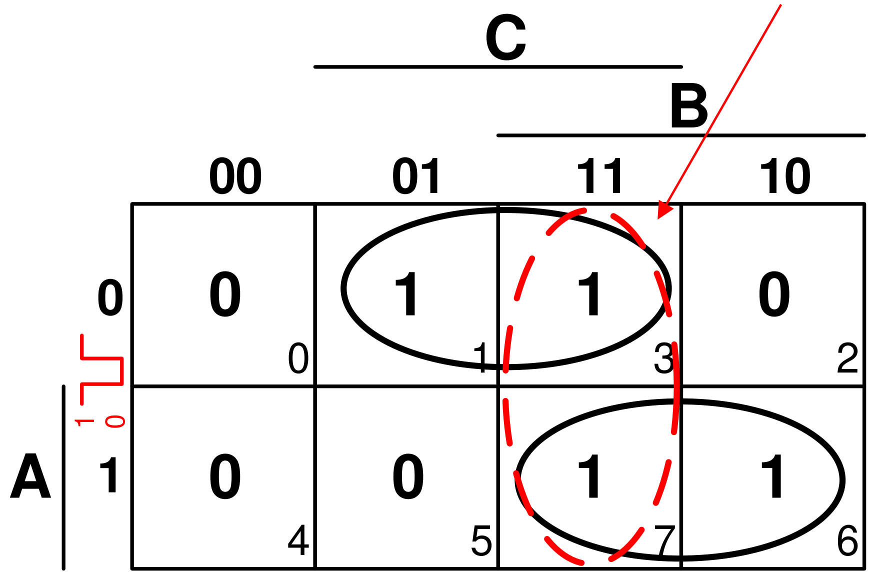
ABC:
111→011



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

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

hazárdmentesítés



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)* ≡ *F(X')*.
- Ha a bemeneti kombináció egyik szomszédról a másikra változik, és ezalatt a kimenetén átmenetileg F* érték jelenik meg, amely F*≠ (*F(X)* ≡*F(X'))-al,* vagyis a kimenetén F(X)→ F* →F(X') változás következik be a késleltetési viszonyoktól függően a hálózatban **statikus hazárd** alakulhat ki.

Általános definíció: Statikus hazárd kiküszöbölése

- A kétszintű (ÉS-VAGY) DNF hálózat pontosan akkor mentes a statikus hazárdtól, 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 prímimplikáns, amely mindkét mintermet lefedi.*
  - ***Statikus hazárd 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).*

További példák: Statikus hazárd

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

Példa 2/a: statikus hazárd

- Legyen $'1' = F^{n=4}(A,B,C,D) = \sum_{i=0}^{15}(0,1,2,5,7,10,11,13,15)$
- Ekkor a következő K-tábla írható fel (DNF, TSH):

CD / AB; C, B, A, D

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

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

Hazárdmentesítés miatt kellenek (extra kapuk)

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

A legegyszerűbb DNF alakból megadható statikus hazárd mentesített elvi kapcsolási rajz! (Arató könyv: 2.68. ábra – 107. oldal)

Példa 2/b: hazárdmentesítésre

- Legyen $'1' = F^{n=4}(A,B,C,D) = \sum_{i=0}^{15}(0,1,2,5,7,10,11,13,15)$
- Megvizsgálni **KNF-el nem optimálisabb-e? (TSH)**

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

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

Hazárdmentesítés miatt kell (extra kapu)

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

A legegyszerűbb DNF alakból megadható statikus hazárd mentesített elvi kapcsolási rajz!
(Arató könyv: 2.68. ábra – 107. oldal)

Statikus hazárd több-kimenetű hálózatokban

- TSH: Több-kimenetű hálózatokban a statikus hazárd minden kimeneten felléphet a szomszédos jelváltozásra.
  - Kiküszöböléséhez a módszer hasonlóan történik, mint egy-kimenetű esetben, csak **kimeneti függvényenként külön-külön** kell az összes prímimplikánst megvalósítani. (Azaz az összesített prímimplikáns tábla képzése és lefedése elhagyható – nincs lényeges prímimplikáns)
  - A közös prímimplikánsokat elegendő egyszer megvalósítani.
- NTSH: **intuitív módon, próbálgatással** kell előállítani a kétszintű statikus hazárd mentes hálózatot.
  - Optimális lefedéseket keresni, miközben vizsgálni kell a lefedések közötti átmeneteken a statikus hazárd-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) ≠ F(X')*** !
- Ha a bemeneti kombináció egyik szomszédról a másikra változik (X → X'), mialatt a kimenetén átmenetileg **F(X) → F(X') helyett F(X) → F' → F(X) → 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.

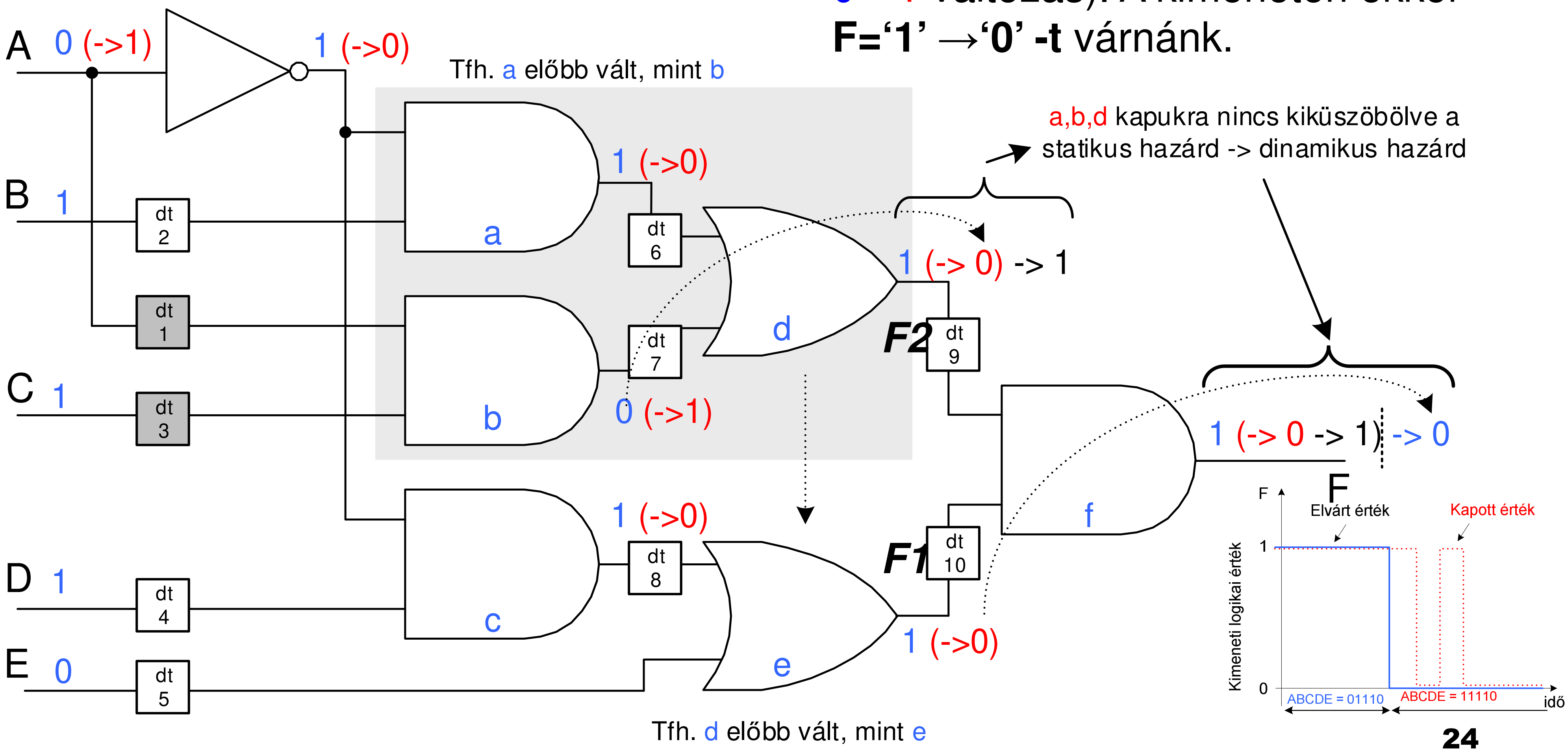
Példa-1: Dinamikus hazárd vizsgálat

- Adott a következő **többszintű** F(A,B,C,D,E) függvény:

$$F^{n=5} = \underbrace{(\overline{A}D + E)}_{F1}\underbrace{(\overline{A}B + AC)}_{\text{F2: Szomszédos változás}}$$

ÉS-VAGY-ÉS hierarchia

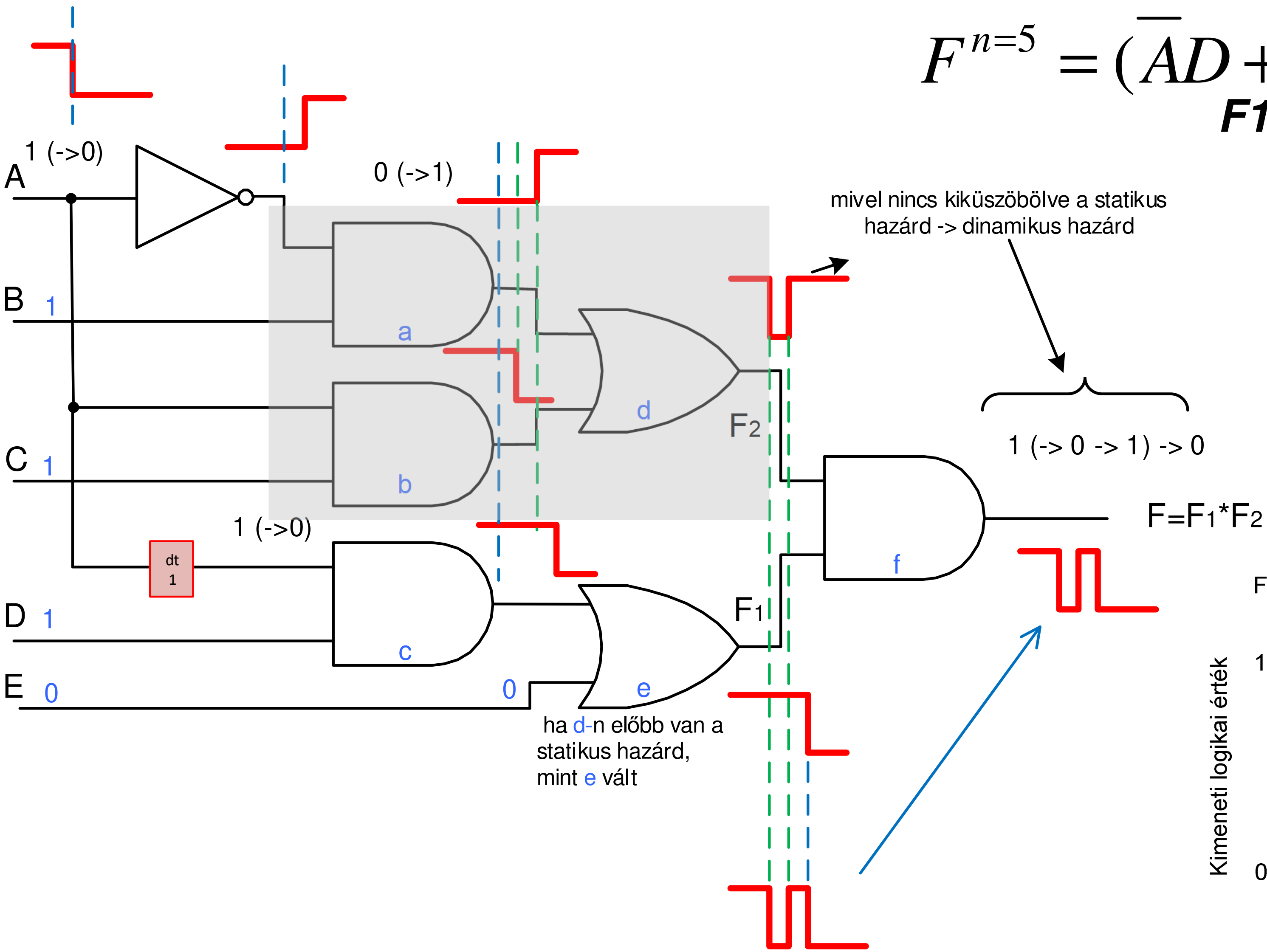
Amikor a bemeneten **A**BCDE=01110, **majd** a szomszédos változás **A**BCDE=11110 következik be (tehát A: 0→1 változás). A kimeneten ekkor **F=‘1’ →‘0’ -t** várnánk.

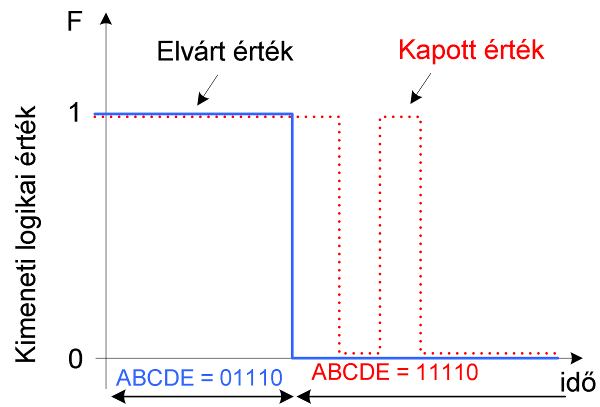


Példa-1.) Dinamikus hazárd vizsgálat
(előző ábra jelalak változása)

$$F^{n=5} = \underbrace{(\overline{A}D + E)}_{F1}\underbrace{(\overline{A}B + AC)}_{\text{F2: Szomszédos változás}}$$

ABCDE=**1**1110,
ABCDE=**0**1110





$$F^{n=5}(A,B,C,D,E)=(AD+E)(\overline{A}B+AC)$$

Szomszédos változás

$$F=F_1\cdot F_2$$

$$F_1=(AD+E)$$

$$F_2=(\overline{A}B+AC)$$

AB \ CD	00	01 (D)	11 (D, E)	10 (D, C)	00 (C)	01 (C, E)	11 (C)	10
00	Y_0	Y_1	Y_3	Y_2	Y_6	Y_7	Y_5	Y_4
01 (B)	1_8	1_9	1_{11}	1_{10}	1_{14}	1_{15}	1_{13}	1_{12}
11 (A, B)	Y_{24}	Y_{25}	Y_{27}	Y_{26}	1_{30}	1_{31}	1_{29}	1_{28}
10 (A)	Y_{16}	Y_{17}	Y_{19}	Y_{18}	1_{22}	1_{23}	1_{21}	1_{20}

1.) Dinamikus hazárd megszüntetése

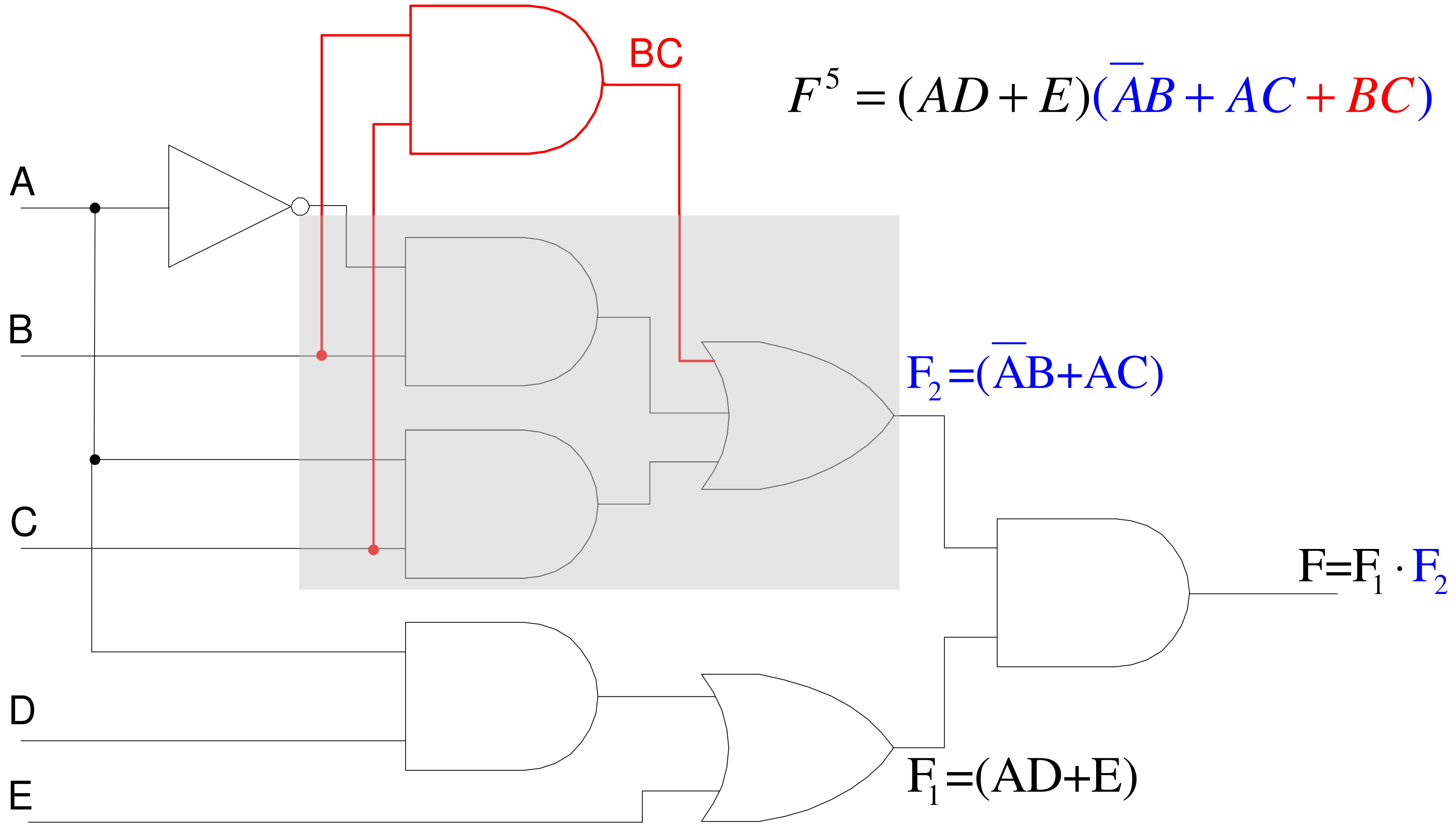
Amikor a bemeneten **A**BCDE=1 1110, **majd** a szomszédos változás **A**BCDE=0 1110 következik be (tehát 1→0 lesz A). A kimeneten ekkor **F='1'→'0' -t** várnánk.

Dinamikus hazárd megszüntetése: statikus hazárd megszüntetésével hierarchia szintenként

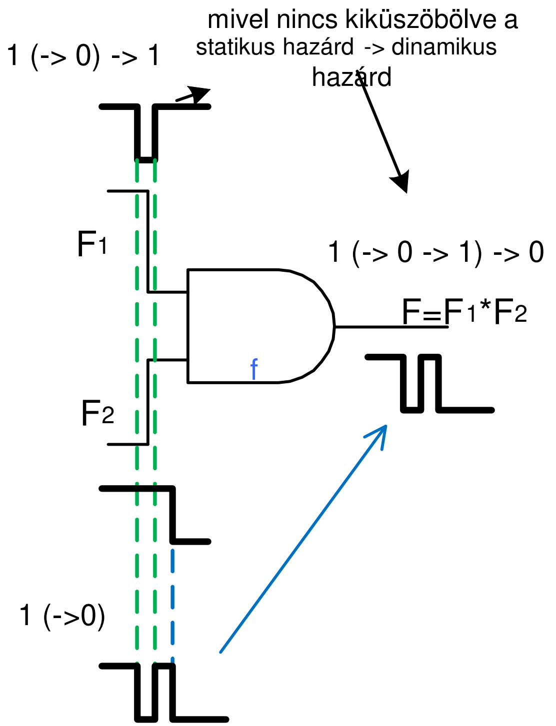
$$F^5=(\overline{A}D+E)(\overline{A}B+AC+BC)$$

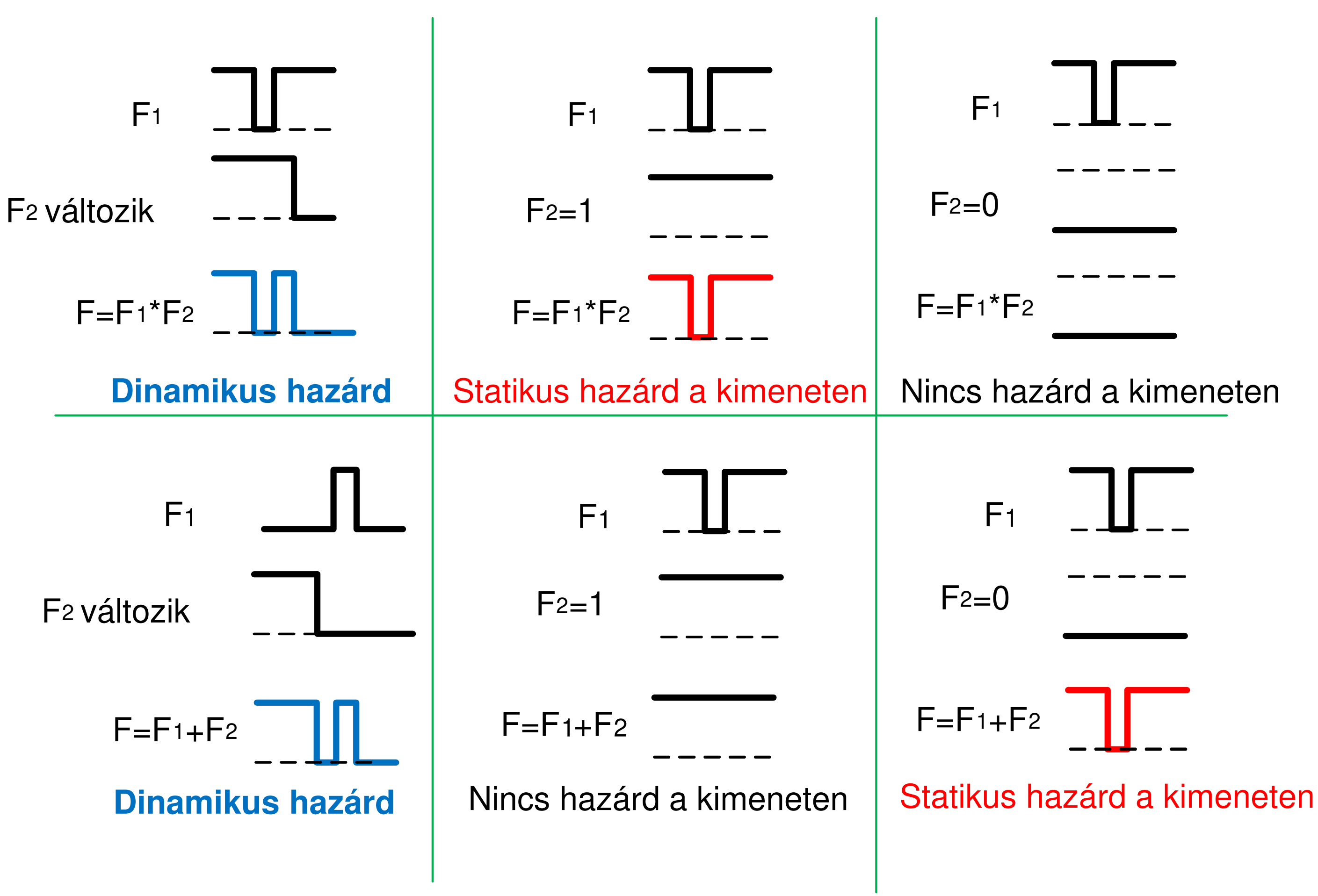
Dinamikus hazárd kiküszöbölése: statikus hazárd megszüntetésével!

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



Példa-1.) Hazárd vizsgálat – Részletes magyarázat (mi juthat ki a hálózat kimenetére, dinamikus, statikus, tipikus példák)





c.) Funkcionális hazárd

- Eddig: csak *szomszédos (minterm) bemeneti változások* esetén vizsgáltuk a hazárd 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 hazárd és megszüntetése

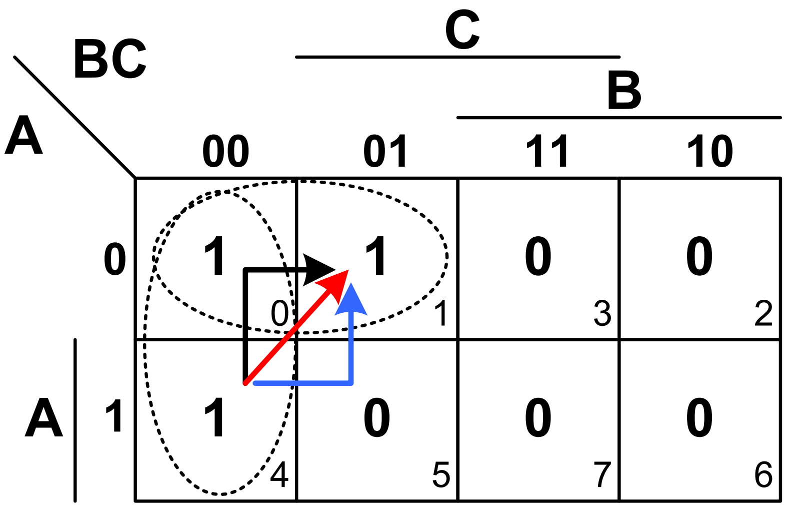
- Ha a ***nem-szomszédos*** bemeneti kombinációk változásait a hálózat egyes részei *szomszédos változások* ***sorozataként*** érzékelik.
  - **Megszüntetés I. mód**: a hálózatba szándékosan beépített késleltetésekkel úgy kell beállítani a jelterjedési késleltetés értékeit, hogy azok minden lehetséges 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 hazárd 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:

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

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



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

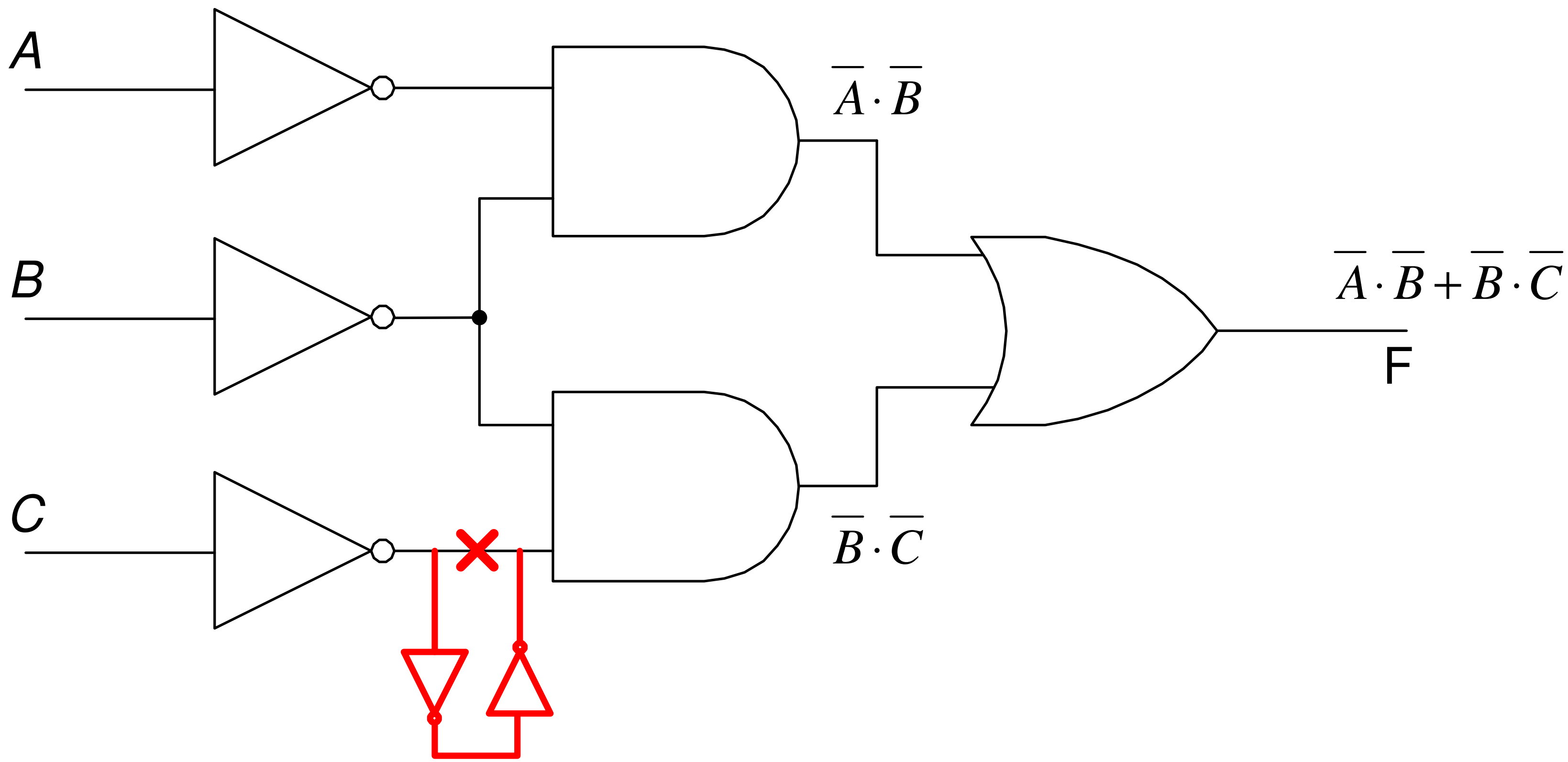
(Előfordulhat, hogy A megváltozása, más esetben C megváltozása jut el előbb bizonyos kapuk bemenetére.)

- Nem szomszédos változás (változás sorozat): 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’ -> ‘1’ -> ‘1’
  - B.) 4 -> 5 -> 1 = 100 -> 101 -> 001 = ‘1’ -> ‘0’ -> ‘1’ (funkcionális hazárd!!/ átmeneti hiba)

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.

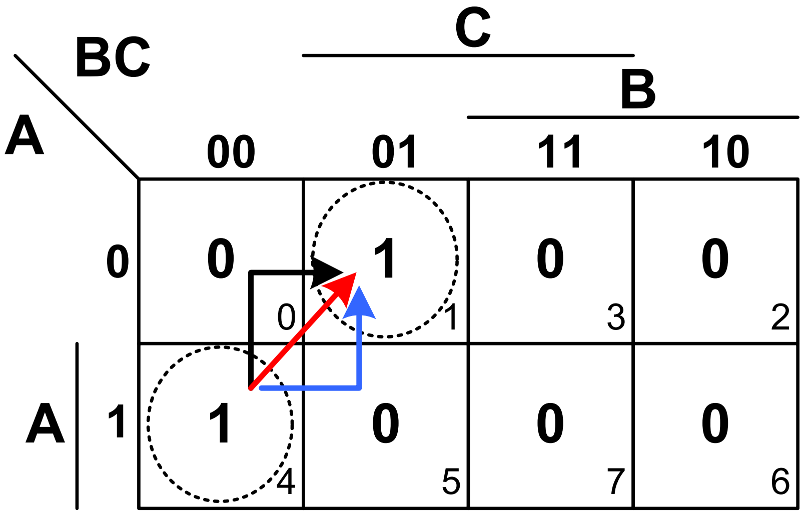


Példa 2: Funkcionális hazárd

- Vegyünk egy 3-változós esetet:

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

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



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.)

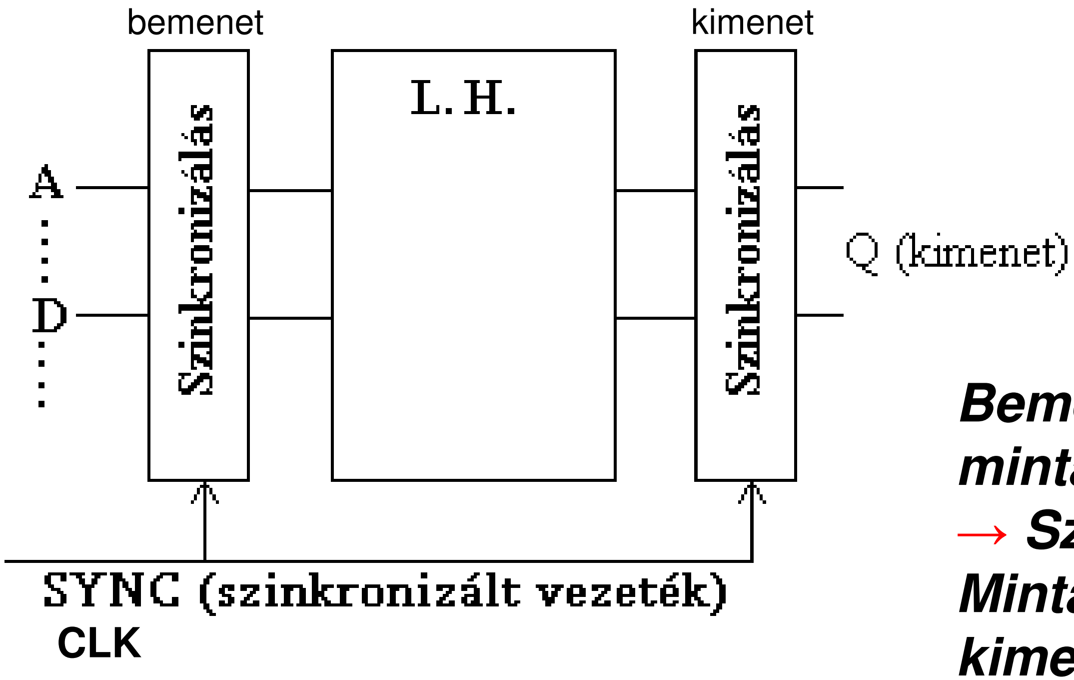
- Nem szomszédos változás (változás sorozat): m4 -> m1 (4->1)
  - 4: 100
  - 1: 001

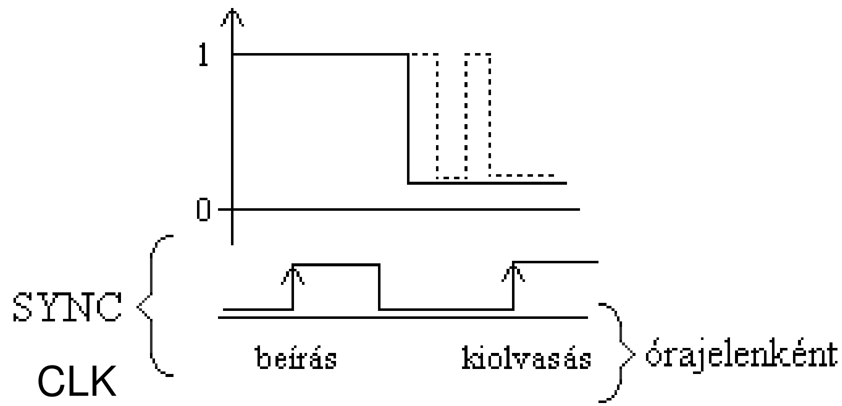
  } ***Nem szomszédok 100 -> 001***
- Az átmenet két lehetséges úton realizálható (változás sorozattal):
  - A.) 4 -> 0 -> 1 = 100 -> 000 -> 001 = ‘1’ -> ‘0’ -> ‘1’ (funkcionális hazárd!)
  - B.) 4 -> 5 -> 1 = 100 -> 101 -> 001 = ‘1’ -> ‘0’ -> ‘1’ (funkcionális hazárd!)

(átmeneti hibák)

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

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

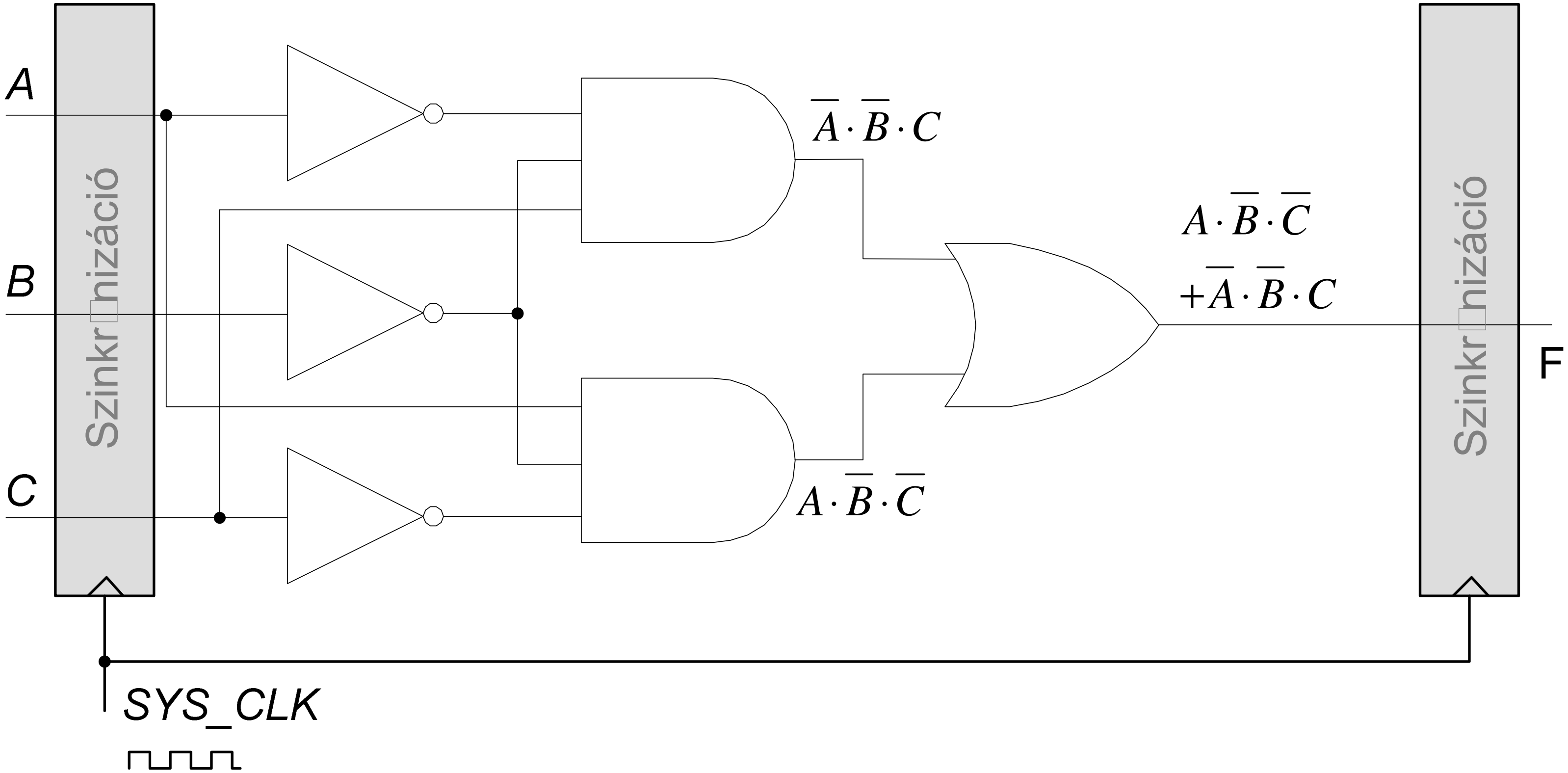




Bemeneti jelekből SYNC CLK-val mintát veszünk (felfutó, v. lefutó élre). → Szinkronizált bemenet → K.H → Mintavétel kimeneten → Szinkronizált kimenet (Lásd Sorrendi Hálózatok)

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*



További példák

További példák

- Általában elegendő időt várakozva a kimenet az elvárt (becsült) logikai-, és feszültség-értékre áll be (lásd előző példa): statikus hazárd esetén
- De vannak olyan hazárd-jelenségek is, melyek idővel sem szűnnek meg → további tervezői beavatkozást igényelnek (pl. dinamikus, funkcionális hazárd – szinkronizálással)
  - Példa: ha szomszédos termek vannak Karnaugh táblában, amelyek nincsenek egy tömbbe összevonva, akkor hazárd kialakulása lehetséges.
  - Megszüntetés: prímimplikáns lefedéssel!

Példa 3: Statikus hazárd (DNF)

- Adott az alábbi F függvény: $$'1' = \overset{n=3}{F}(A,B,C) = \sum_{i=0}^{7}(0,1,5,7)$$

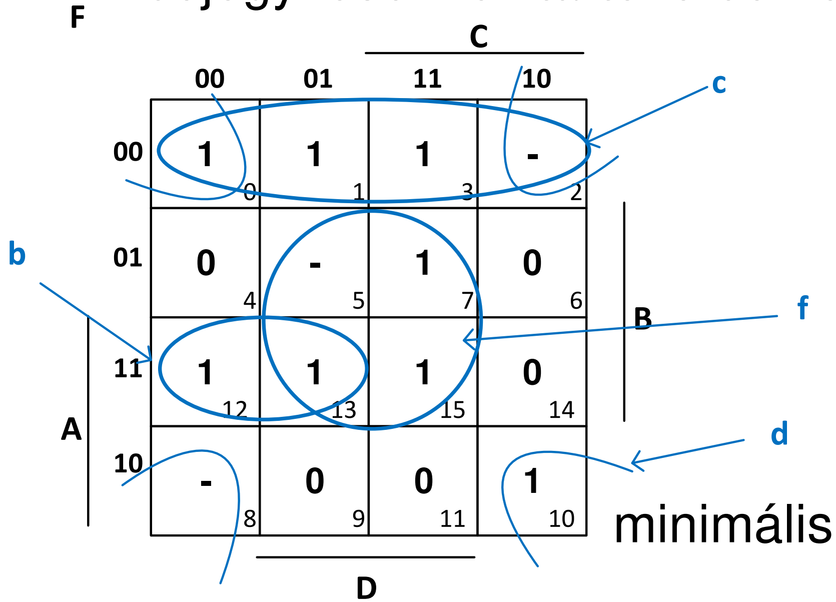
A \ BC	00	01 (C)	11 (C, B)	10 (B)
0	1 $_{0}$	1 $_{1}$	0 $_{3}$	0 $_{2}$
A 1	0 $_{4}$	1 $_{5}$	1 $_{7}$	0 $_{6}$

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

hazárdmentesítés

- Ha a szomszédos (itt kételemű) összevonások 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!

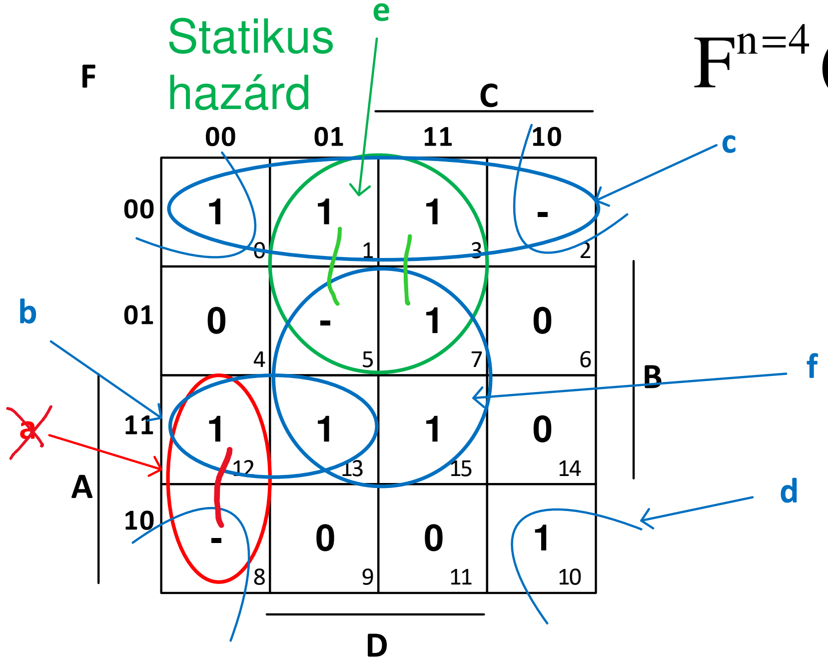
Példa 4: Határozzuk meg a következő F logikai függvény legegyszerűbb hazárdmentes kétszintű realizációját, ha a közömbös(-) bejegyzésekhez tartozó bemeneti kombinációk a bemeneten nem fordulnak elő!



minimális

$$F = \sum^{4}[(0,1,3,7,10,12,13,15)+(8,5,2)]$$

- Az ***e*** prímimplikáns kell a hazárdmentes alakhoz.
- Az ***a*** prímimplikánsra nincs szükség a hazárdmentes alakhoz, mert tudjuk, ha a don't care-ekhez tartozó bementi kombináció nem fordul elő a bementen! (Ha előfordulhat, akkor azokat is le kell fedni.)
- **Prímimplikáns táblába** az összes olyan kettes szomszéd is kell, amiben nincs don't care



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

e hazárdmentesítés

Kimeneti fgv	F								Kételemű összevonások					
Mintermek / Prímimplikáns	0	1	3	7	10	12	13	15	0, 1	1, 3	3, 7	12, 13	13, 15	7, 15
a: 8,12						x								
b:12,13						x	x					x		
c. 0,1,2,3	x	x	x						x	x				
d: 0,2,8,10	x				x									
e:1,3,5,7		x	x	x						x	x			
f:5,7,13,15				x			x	x					x	x

Példa 5. Statikus hazárd

- **Hazárdmentes-e** a következő F függvénnyel, DNF alakban megadott hálózat? Ha nem, hazárdmentesítse és rajzolja fel a hazárdmentes kapcsolási rajzot!
- Vizsgálja meg a szükséges kapubemenetek száma alapján, hogy az F függvény Karnaugh tábla szerint felírt KNF alakja segítségével nem optimálisabb-e a hazárdmentesítést elvégezni!

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

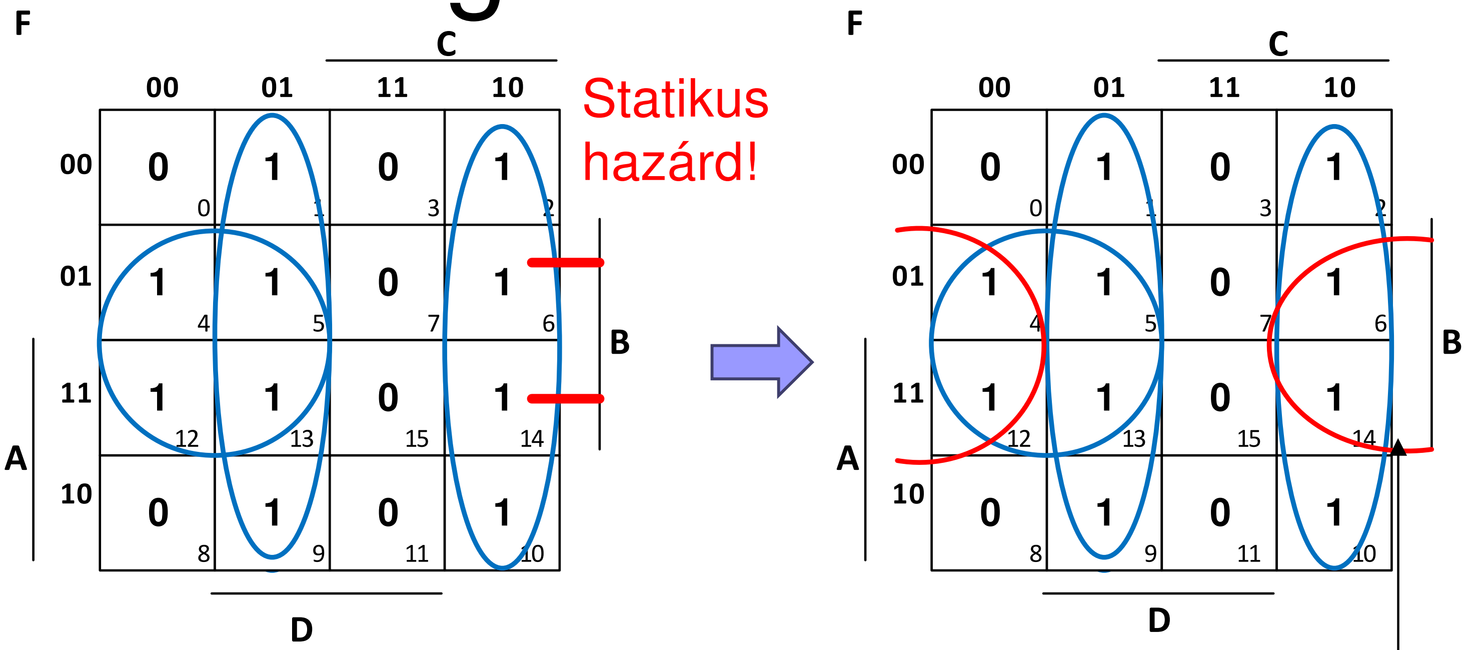
F (C over columns 11, 10; B over rows 01, 11; A over rows 11, 10; D over columns 01, 11)

	00	01	11	10
00	0_{0}	1_{1}	0_{3}	1_{2}
01	1_{4}	1_{5}	0_{7}	1_{6}
11	1_{12}	1_{13}	0_{15}	1_{14}
10	0_{8}	1_{9}	0_{11}	1_{10}

F

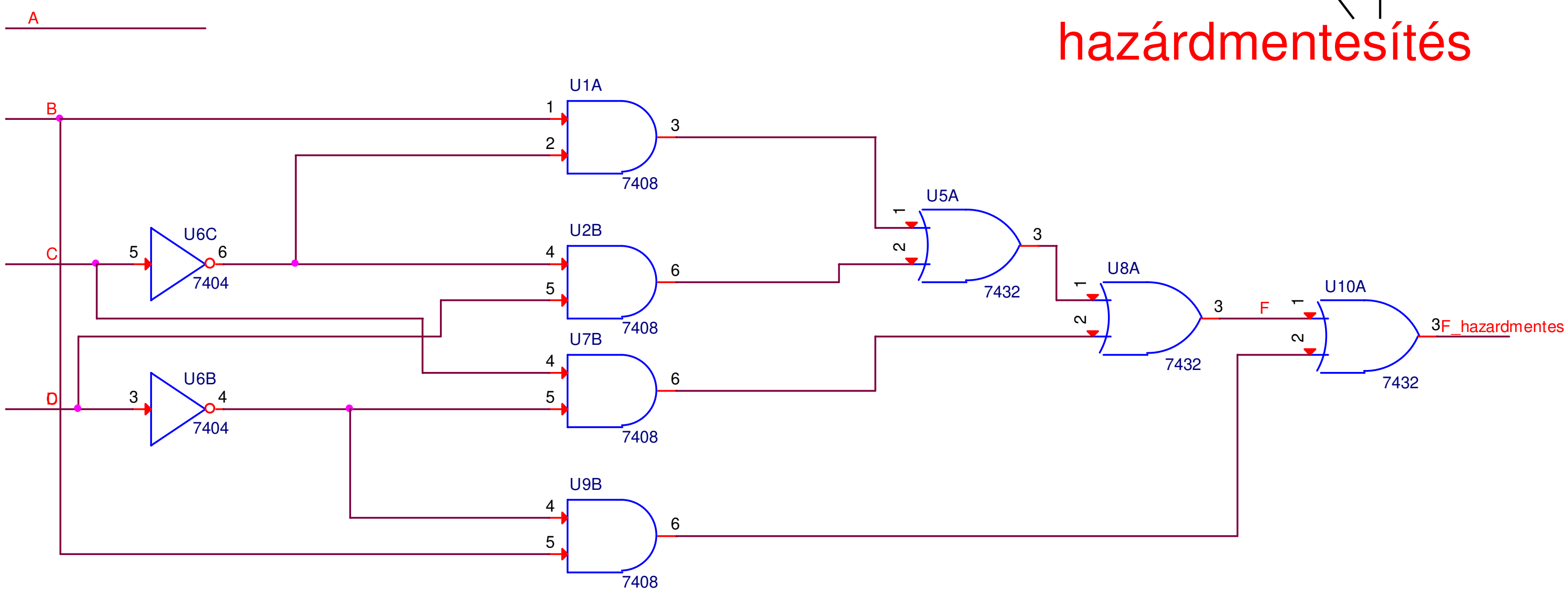
	00	01	11	10
00	0_{0}	1_{1}	0_{3}	1_{2}
01	1_{4}	1_{5}	0_{7}	1_{6}
11	1_{12}	1_{13}	0_{15}	1_{14}
10	0_{8}	1_{9}	0_{11}	1_{10}

Példa 5. Megoldás



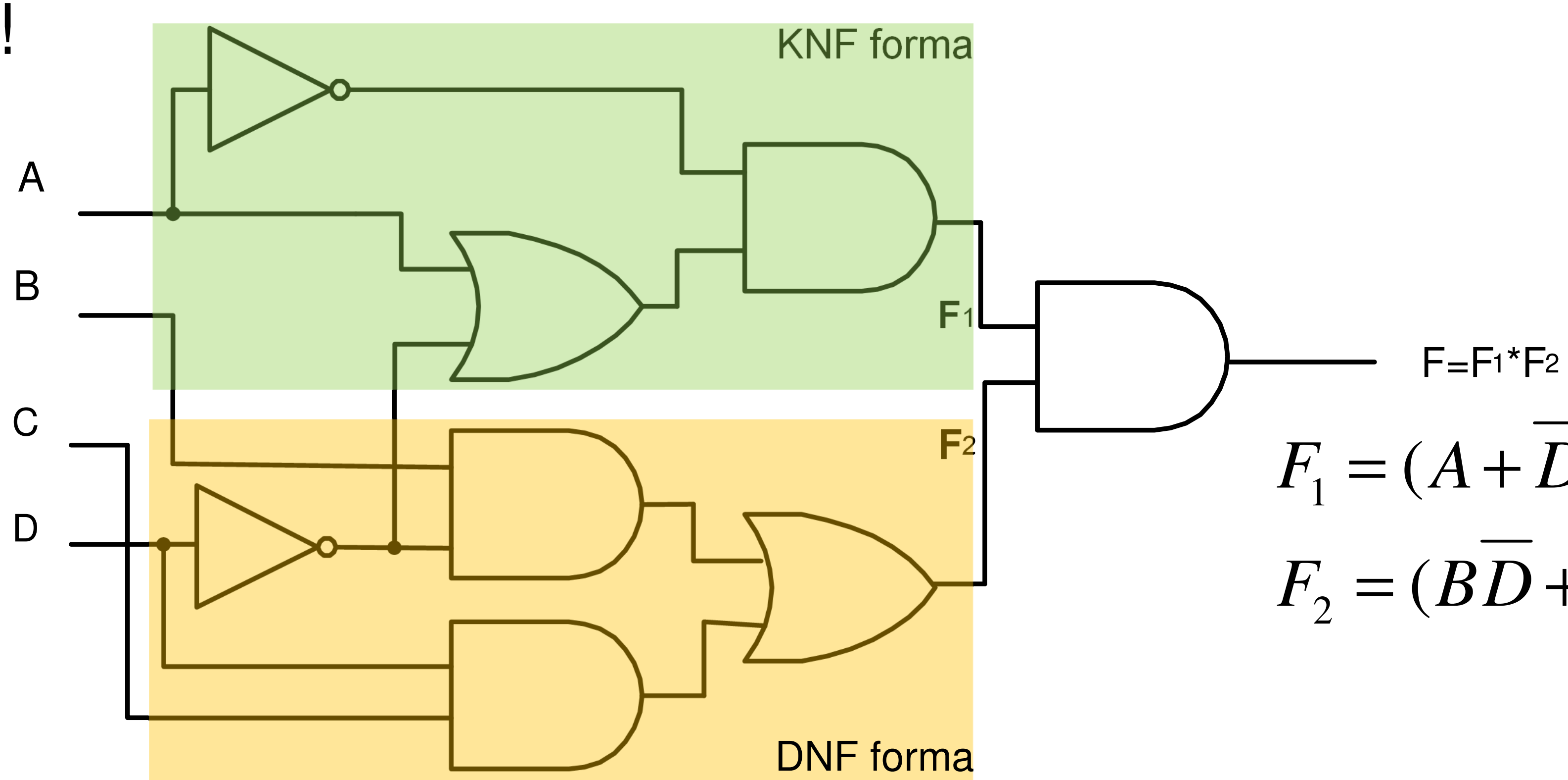
$$F^{n=4}(A,B,C,D) = B\overline{C} + \overline{C}D + C\overline{D} + B\overline{D}$$

hazárdmentesítés



Példa 6. Statikus, dinamikus hazárd

- Hazárdmentes-e a következő F(A,B,C,D) hálózat? Rajzolja fel külön az **F1**, **F2** és **F** függvények Karnaugh tábláját, vizsgálja meg és jelölje be a lehetséges **statikus** és **dinamikus** hazárdokat!
- Ha nem hazárdmentes, hazárd mentesítse F1 és F2 fgv-t, és rajzolja fel a hazárdmentes elvi logikai kapcsolási rajzot is!



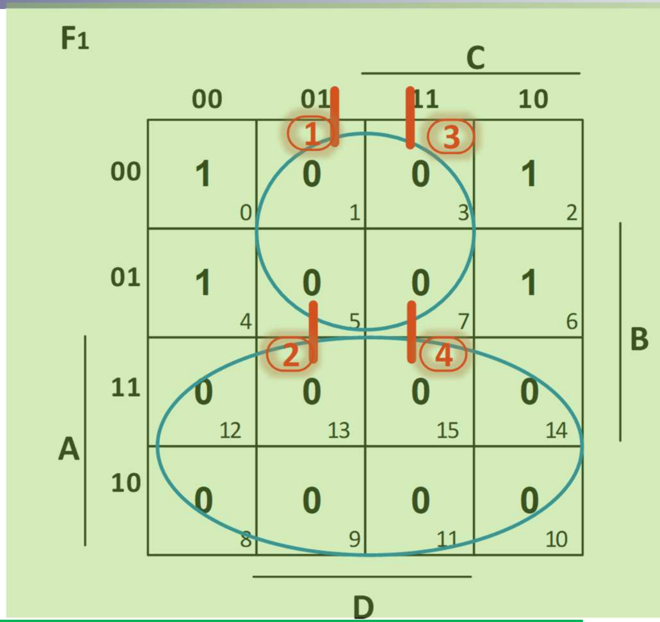
$$F_1 = (A + \overline{D}) \cdot \overline{A}$$

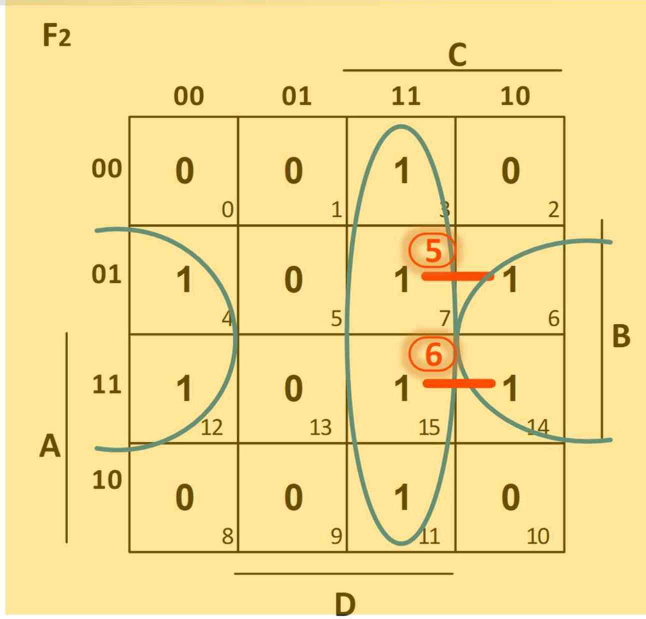
$$F_2 = (B\overline{D} + CD)$$

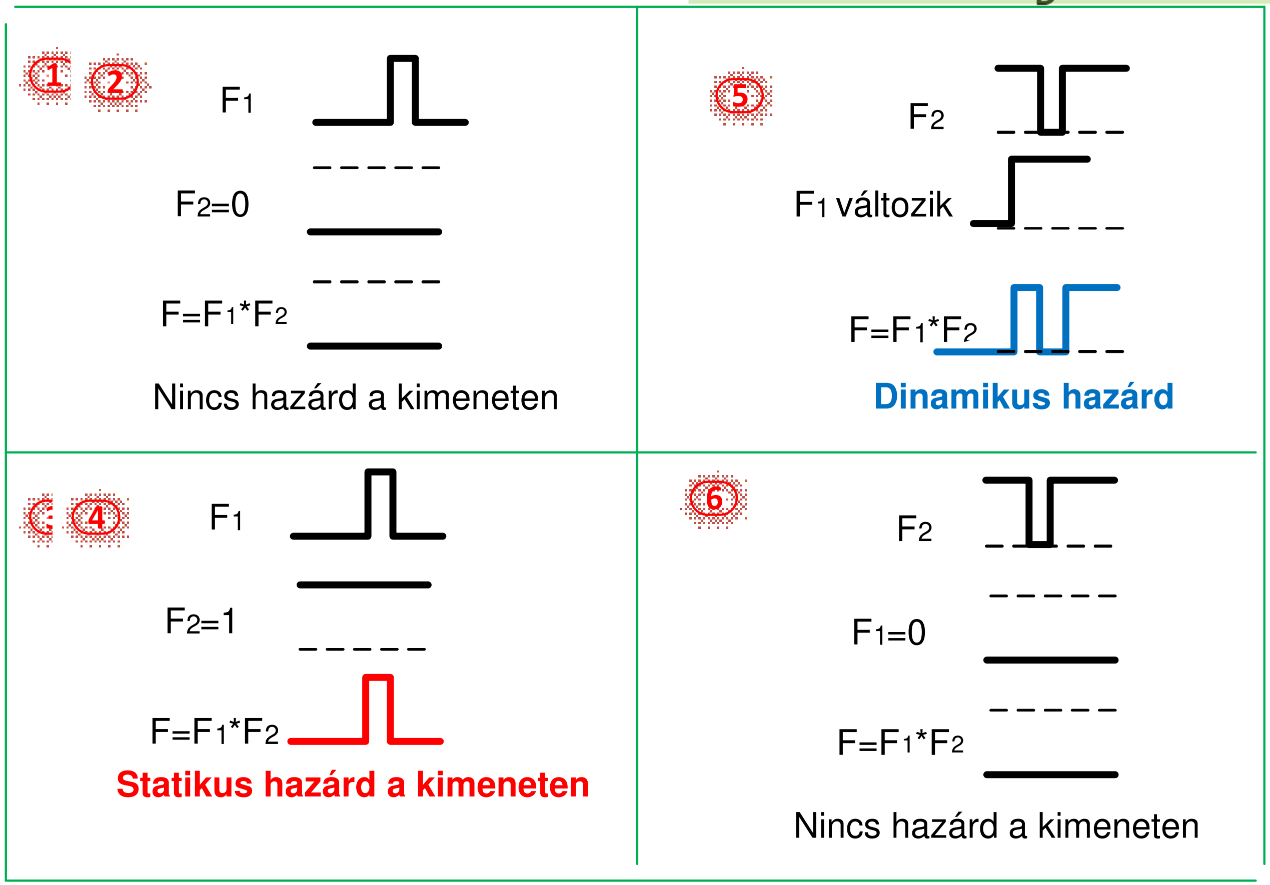
Példa 6.
Megoldás

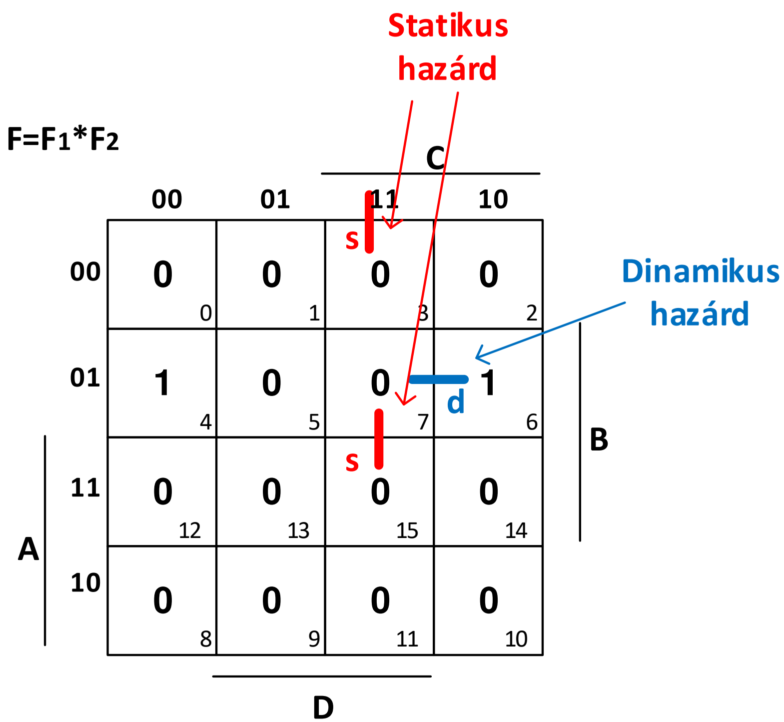
$$F_1 = (A+\overline{D})\cdot\overline{A}$$

$$F_2 = (B\overline{D}+CD)$$









Példa 6. Megoldás: *Hazárdmentesítés kimeneti függvényenként*

$$F_1 = (A+\overline{D}) \cdot \overline{A} \cdot \overline{D} = \overline{A} \cdot \overline{D}$$

$$F_2 = (B\overline{D} + CD + BC)$$