

Digitális technika

VI.

Logikai elemcsaládok

6.1. Logikai rendszerek jellemzői

Logikai alapfüggvények megvalósítása

Sokféleképpen lehetséges:

- elektroncsöves áramkörök
- jelfogós, relés áramkörök (áram logika, folyik-nem folyik)
- diszkrét félvezető áramkörök (dióda, tranzisztor) → sok változat
- integrált áramkörök: sok változat
bipoláris (TTL, ...), MOS (CMOS, ...)

Logikai elemcsaládok
(feszültség logikák)

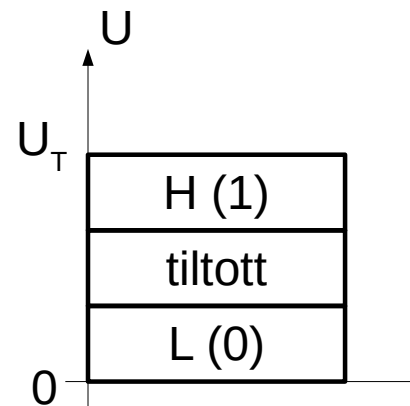
Logikai szintek

- logikai értékek \leftrightarrow feszültség szintek (tartományok)
0, 1 \leftrightarrow H(high) magasabb, L(low) alacsonyabb

-kétféle hozzárendelés lehetséges:

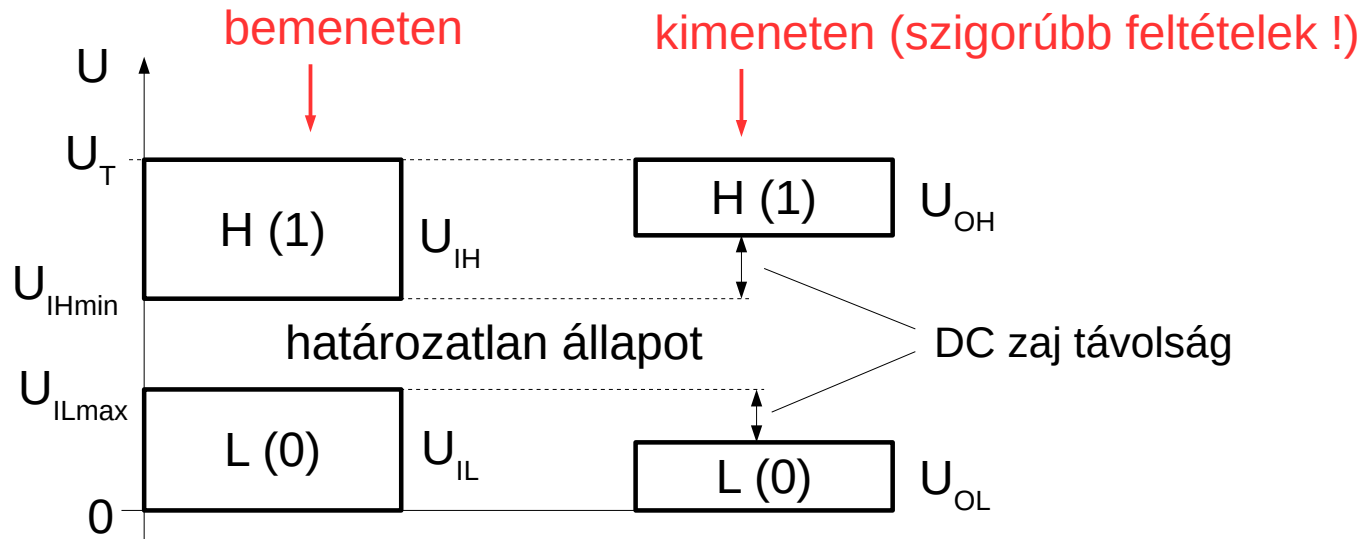
pozitív logika: 1 \rightarrow H és 0 \rightarrow L

negatív logika: 1 \rightarrow L és 0 \rightarrow H



6.1. Logikai rendszerek jellemzői

Feszültség szintek (pozitív logika)



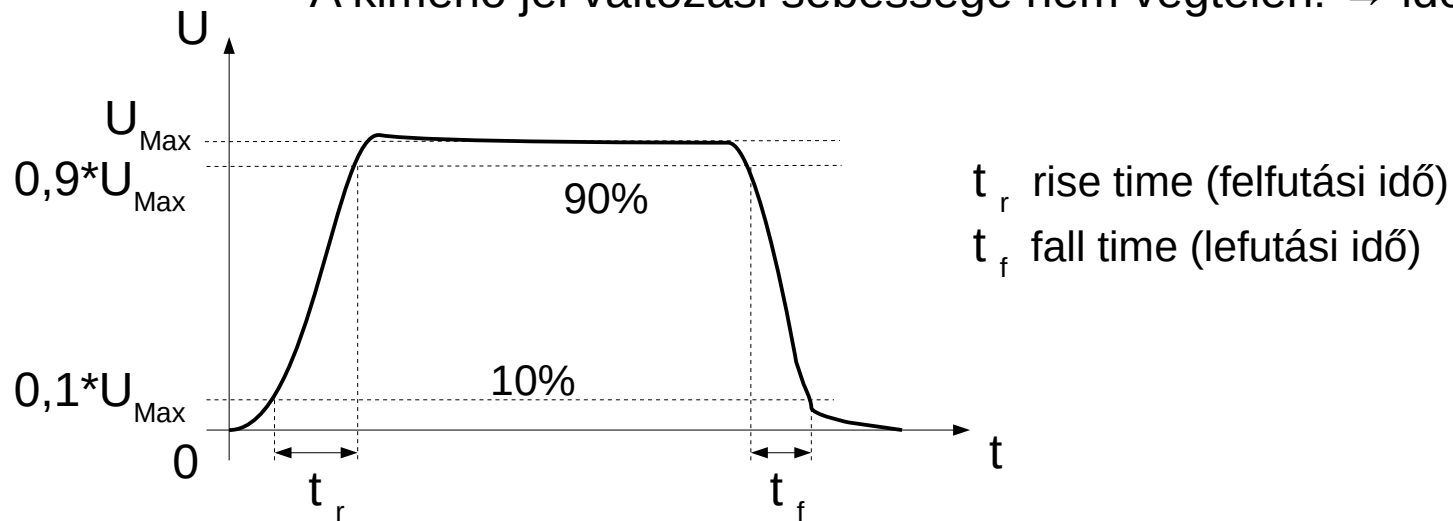
Zavar elhárító képesség

- $U_{IHmin} < U_{OHmin}$ és $U_{ILmax} > U_{OLmax}$ —————> DC zaj távolság (DC noise margin)
- annál megbízhatóbb a rendszer minél nagyobb a zaj távolság

6.1. Logikai rendszerek jellemzői

Felfutási, lefutási idő

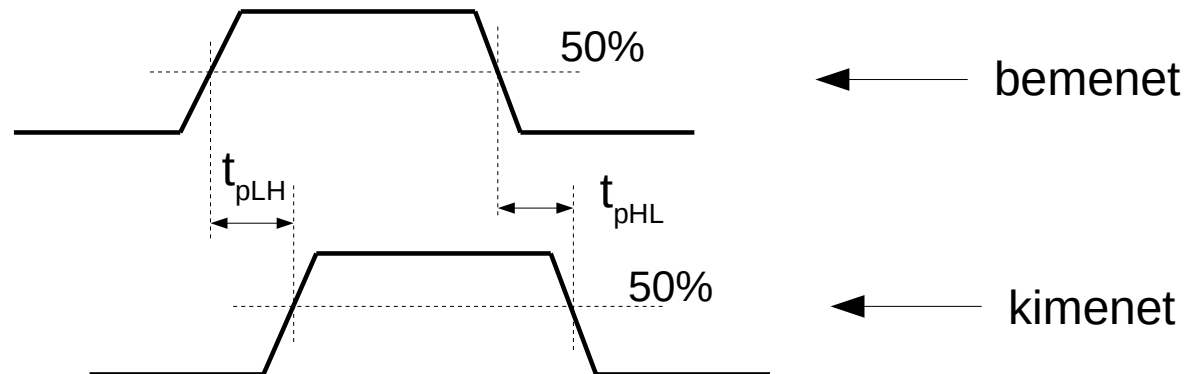
A kimenő jel változási sebessége nem végtelen! → idő



késleltetés

- t_{pd} propagation delay time
a bemenő jel változása
csak késleltetve jelentkezik
a kimeneten

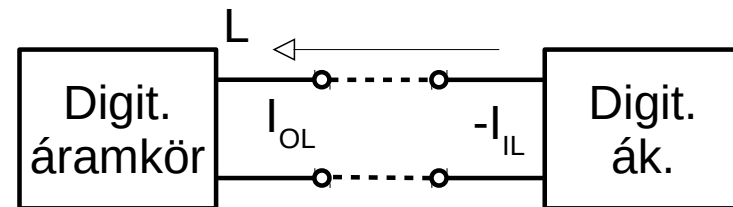
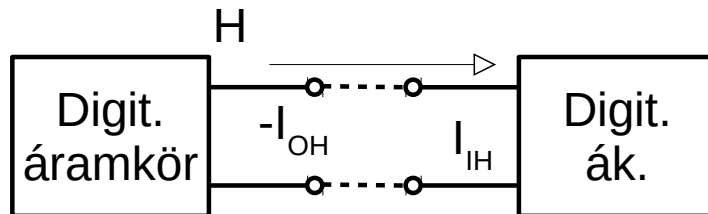
$$t_{pd} = (t_{pLH} + t_{pHL})/2$$



6.1. Logikai rendszerek jellemzői

Terhelhetőség

- a digitális áramkörök kimeneteit nem lehet akármennyire megterhelni
- a kimenő jel szintje ugyanis függ a terhelés értékétől !
- L és H szinten a terhelés eltérő lehet
- bemeneti áramfelvétel (I_{IL} és I_{IH}), maximális kimeneti áram (I_{OL} és I_{OH})



fan-out (egységterhelhetőség) → egy kimenetre hány bemenet csatlakoztatható

fan-in (egységterhelés) → az áramkör a tipikus érték hányszorosával terhel

Disszipáció

P_d hővé alakuló teljesítmény (50%-os kitöltési tényezőjű vezérlés esetén)

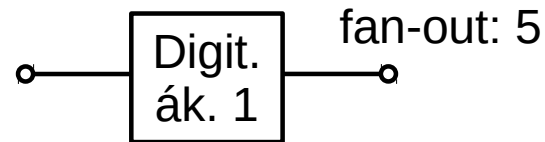
Maximális feszültség értékek

- maximális tápfeszültség (károsodás nélkül)
- tápfeszültség minimum/maximum a helyes működéshez
- bemenetre kapcsolható maximális feszültség

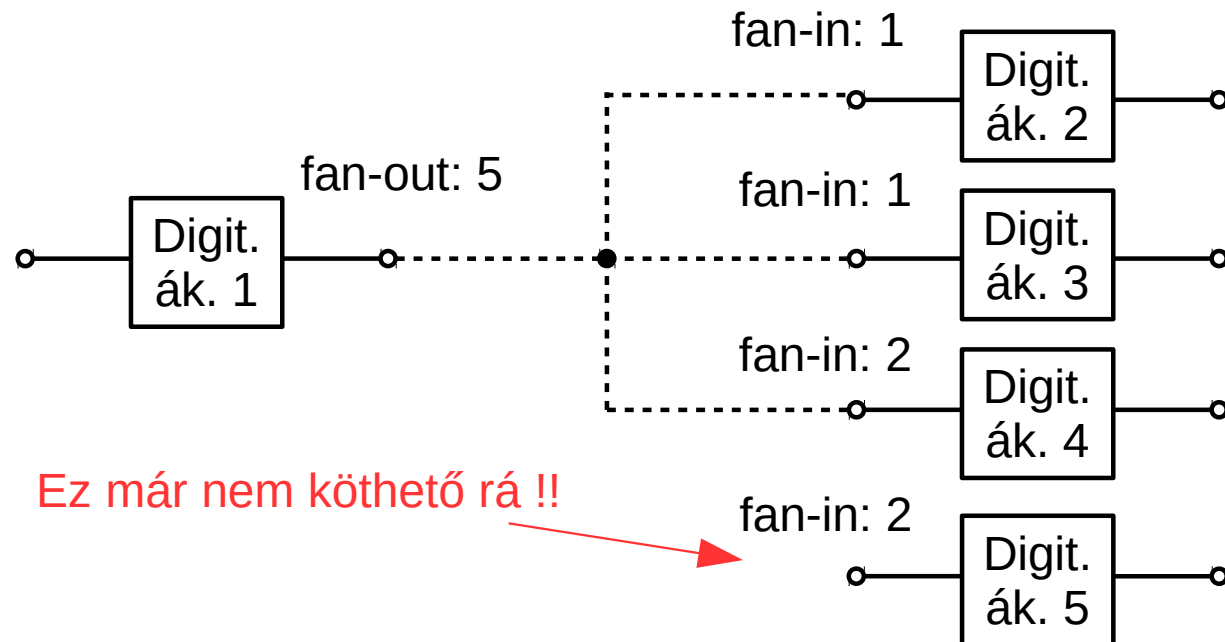
6.1. Logikai rendszerek jellemzői

Mintafeladat:

hány áramkör kapcsolható az alábbi áramkör kimenetére?



Megoldás: az attól függ hogy milyen áramkörökről van szó (mennyi a fan-in értékük)
például ha a fan-in értékek vegyesen 1 ill. 2



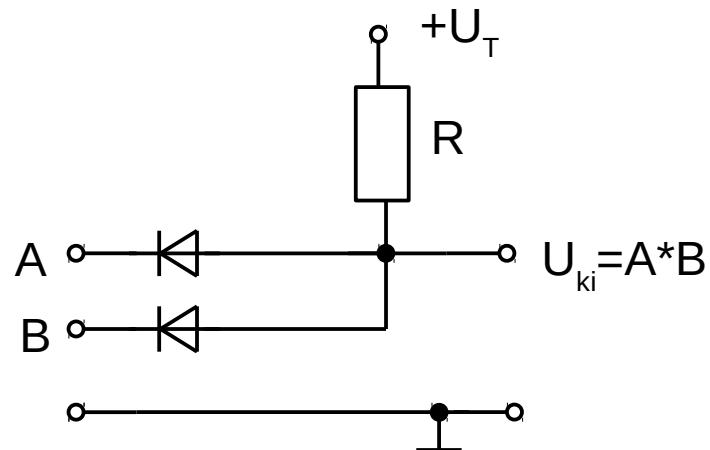
6.2. Bipoláris elemek alkalmazása

Diódás kapuáramkörök

- diódák + ellenállások (D-logika)

- AND kapu, pozitív logika

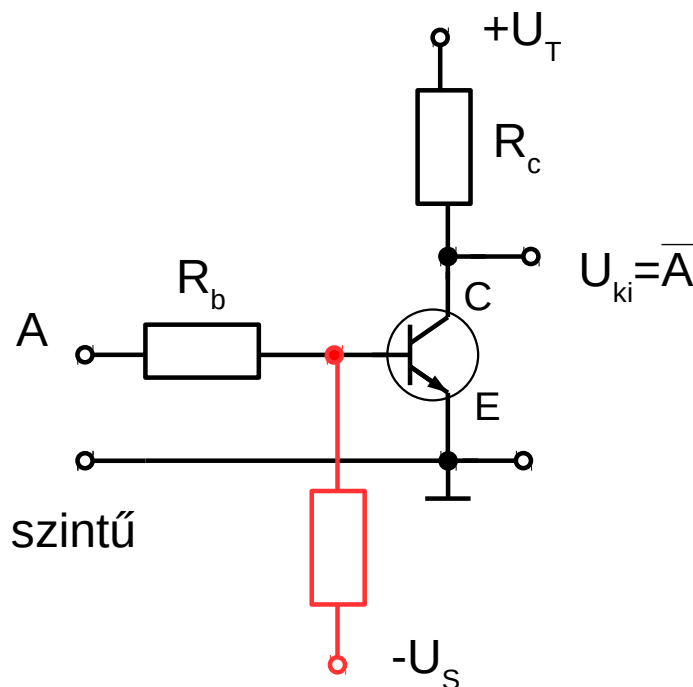
Az alacsonyabb szintű bemenet határozza meg a kimenet szintjét, ha valamelyik bemenet L szintű akkor a dióda vezet → a kimenet is L szintű lesz



Tranzisztor alkalmazása

inverter + erősítés és szint-illesztés is

- ha a bemenet (A) L szintű a tranzisztor bázisán nem folyik áram → tranzisztor zár (C-E között ~szakadás) → kimenet H szintű
- ha a bemenet H szintű → a bázison áram folyik, a tranzisztor nyit (C-E között ~rövidzár) → kimenet L szintű
- a tranzisztor stabil lezárásához szükséges $-U_s$



6.2. Bipoláris elemek alkalmazása

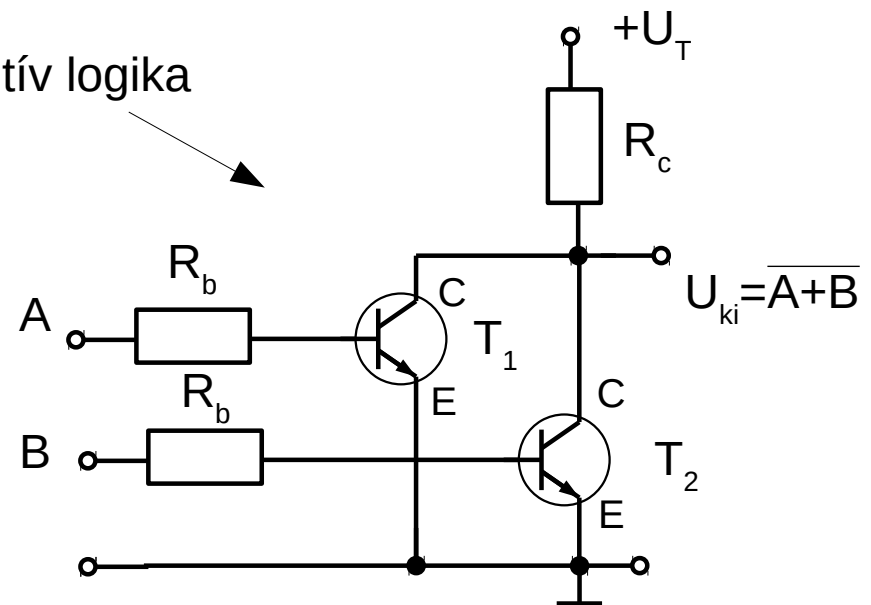
Ellenállás-tranzisztor logika

Resistor-transistor logic, RTL

NOR kapu, pozitív logika

Működése:

- ha mindkét bemenet L szintű \rightarrow a tranzisztorok zárnak \rightarrow kimenet H szintű (C-E között \sim szakadás)
- ha valamelyik bemenet H szintű \rightarrow a tranzisztor nyit \rightarrow kimenet L szintű (mert C-E között \sim rövidzár)



Jellemzői:

- fan-out ~ 5 késleltetés (t_{pd}) $\sim 50\text{ns}$ $P_d \sim 5\text{mW}$
- $U_T \sim 3,6\text{V}$ H szint $\sim 1,6\text{V}$ L szint $\sim 0,2\text{V}$
- volt IC-és megvalósítás is
- kimenetei közvetlenül összekapcsolhatók! \rightarrow huzalozott ÉS

6.2. Bipoláris elemek alkalmazása

Dióda-tranzisztor logika

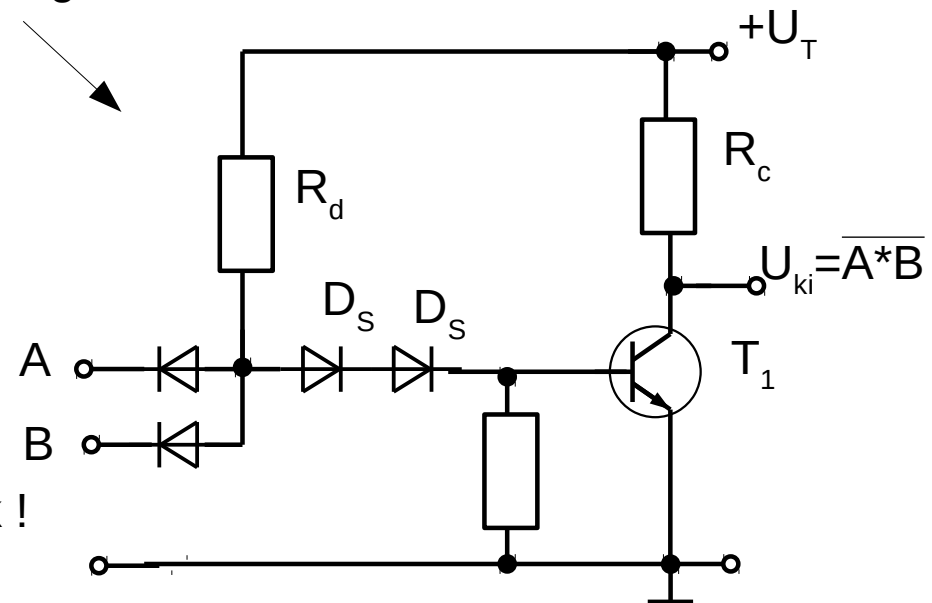
diode-transistor logic, DTL

Diódás AND vagy OR kapuból és tranzisztoros inverterből áll

NAND kapu, pozitív logika

Jellemzői:

- fan-out ~ 8 késleltetés (t_{pd}) $\sim 30\text{ns}$
- $f \sim 10\text{MHz}$
- $U_T \sim 5\text{V}$
- H szint $\sim 3,5\text{ V}$ L szint $\sim 0,3\text{ V}$
- volt IC-és megvalósítás is
- nagy zajtávolság ($\sim 1,2\text{V}$)
- gyorsabb mint az RTL
- kimenetei közvetlenül összekapcsolhatók !
(huzalozott ÉS)



Emitter-csatolt logika

ECL, nagyon gyors! (mert nem telítéses)

Inverter-inverter logika (IIL)

Tranzisztor-tranzisztor logika (TTL)

6.3. TTL áramkör család

TTL áramkörök

- Tranzisztor-tranzisztor logika, a Texas Instruments cég fejlesztette ki ezt az integrált áramkörös áramkörcsaládot
- Igazából több altípus is van, ezek alapvetően sebességben, áramfelvételben (fogyasztásban) és működési hőmérséklet tartományban térnek el egymástól.

- Eredeti Texas sorozatok:

SN74..... → ipari változat, 0 – 70 °C

SN54..... → katonai változat, -55 – 125 °C

SN84..... → -25 – 85 °C

- Leggyakoribb az SN74..... sorozat, ahol a végén levő számok adják meg hogy az adott IC-ben milyen digitális áramkör van, és különböző plusz betűk az egyes alcsaládokra utalnak

pl. SN7400 → normál, 4db két bemenetű NAND kapu

SN74L00 → kis fogyasztású, 4db NAND kapu

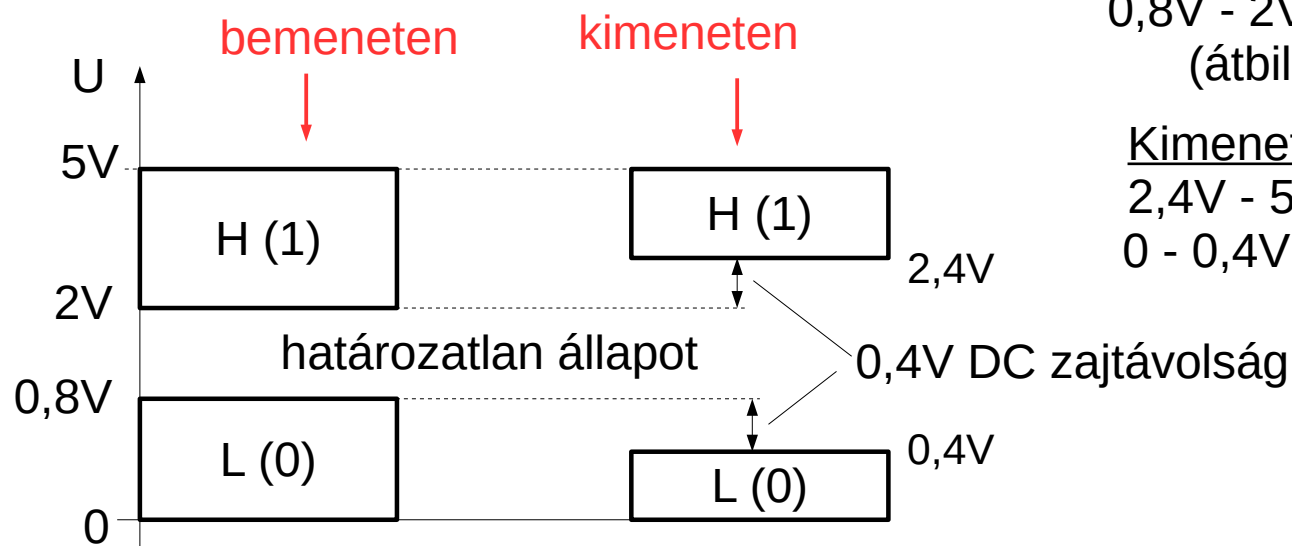
SN74S00 → gyors (Schottky), 4db NAND kapu

SN74LS74 → kis fogyasztású, gyors, 2db D tároló

6.3. TTL áramkör család

- TTL áramkörök jellemzői

- integrált áramkörös megoldás bipoláris tranzisztorokkal, ahol bemeneti diódák helyett több emitteres tranzisztor a bemeneten
- tápfeszültség: 5V (általában +/- 5% vagy 10%-os tűréssel)
- feszültség szintek



Bemenet:

2V - 5V (H – high) → 1-es logikai érték
0 - 0,8V (L – low) → 0-ás logikai érték
0,8V - 2V között határozatlan
(átbillenés 1,4V körül)

Kimenet:

2,4V - 5V (H – high) → 1-es log. ért.
0 - 0,4V (L – low) → 0-ás log. ért.

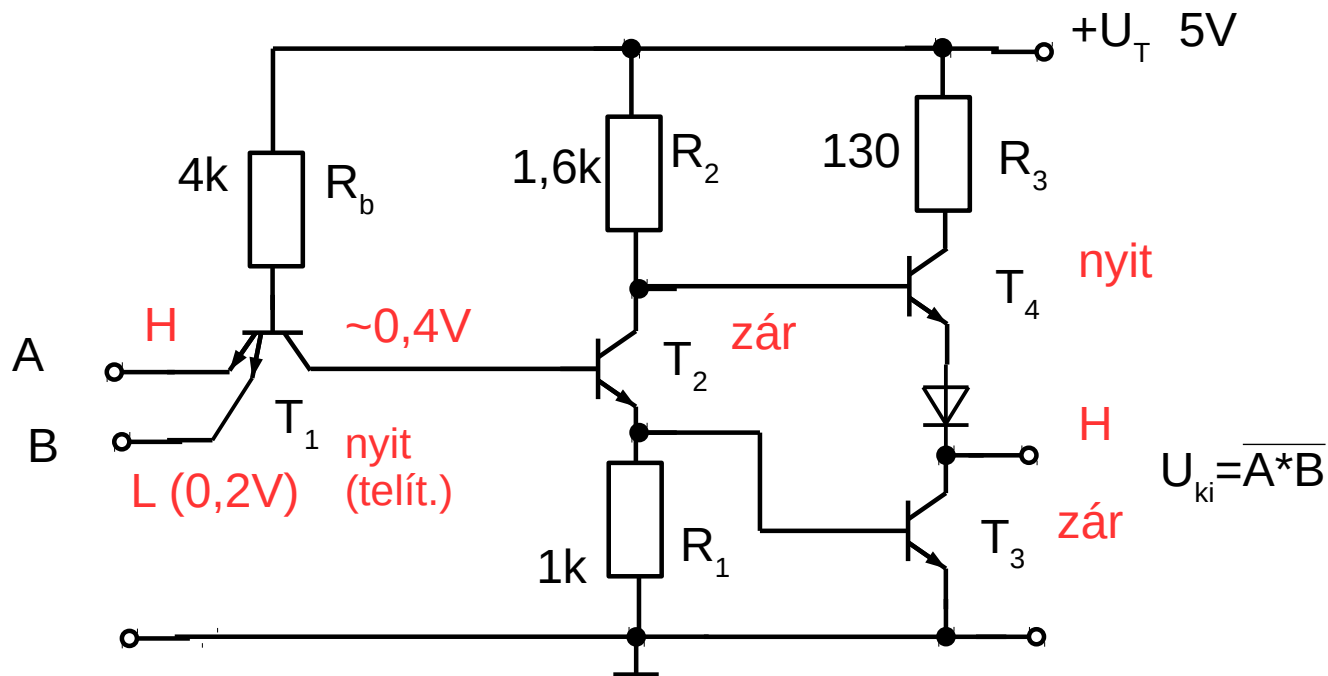
Tipikus kimeneti szintek:

H – 3,3V

L – 0,2V

6.3. TTL áramkör család

Standard TTL NAND kapu

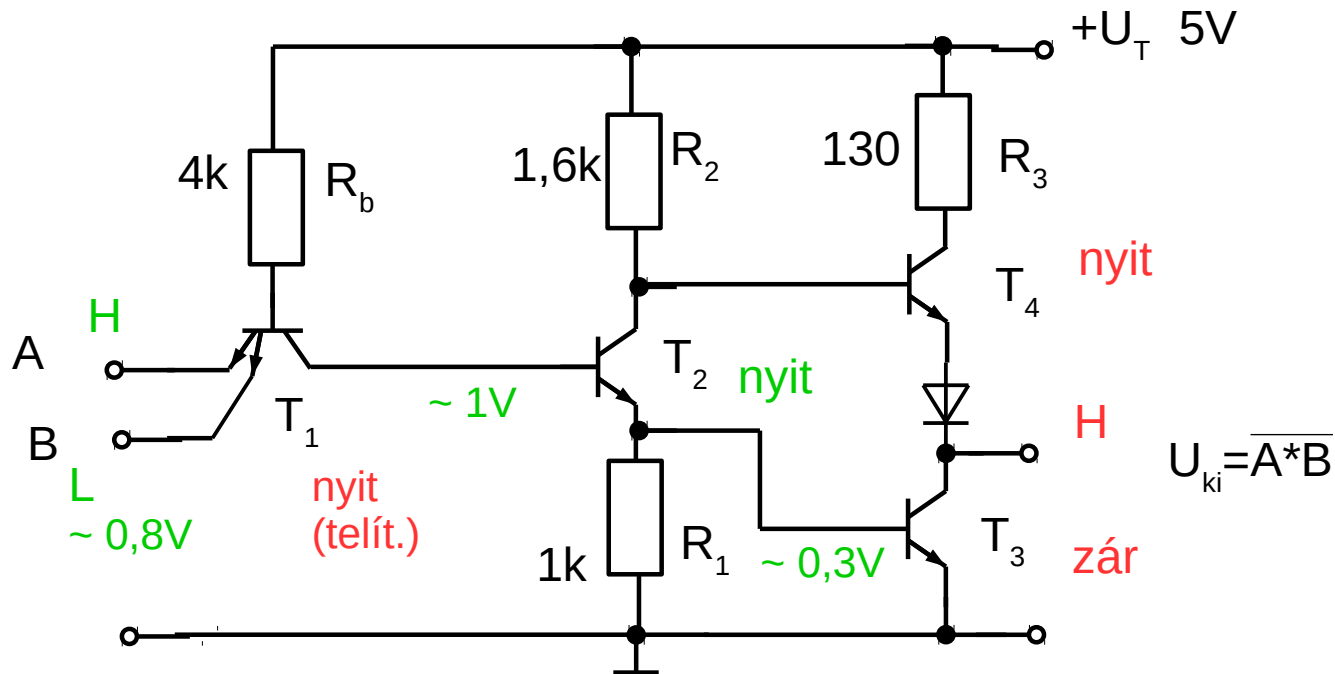


Működése:

1. legalább az egyik bemenet L szintű (0 – 0,7 V) → T_1 tranzisztor nyit, telítésbe megy → $U_{CE} \sim 0,2V$ → T_2 és T_3 tranzisztor zár, T_4 tranzisztor nyit → kimenet H szintű lesz

6.3. TTL áramkör család

Standard TTL NAND kapu

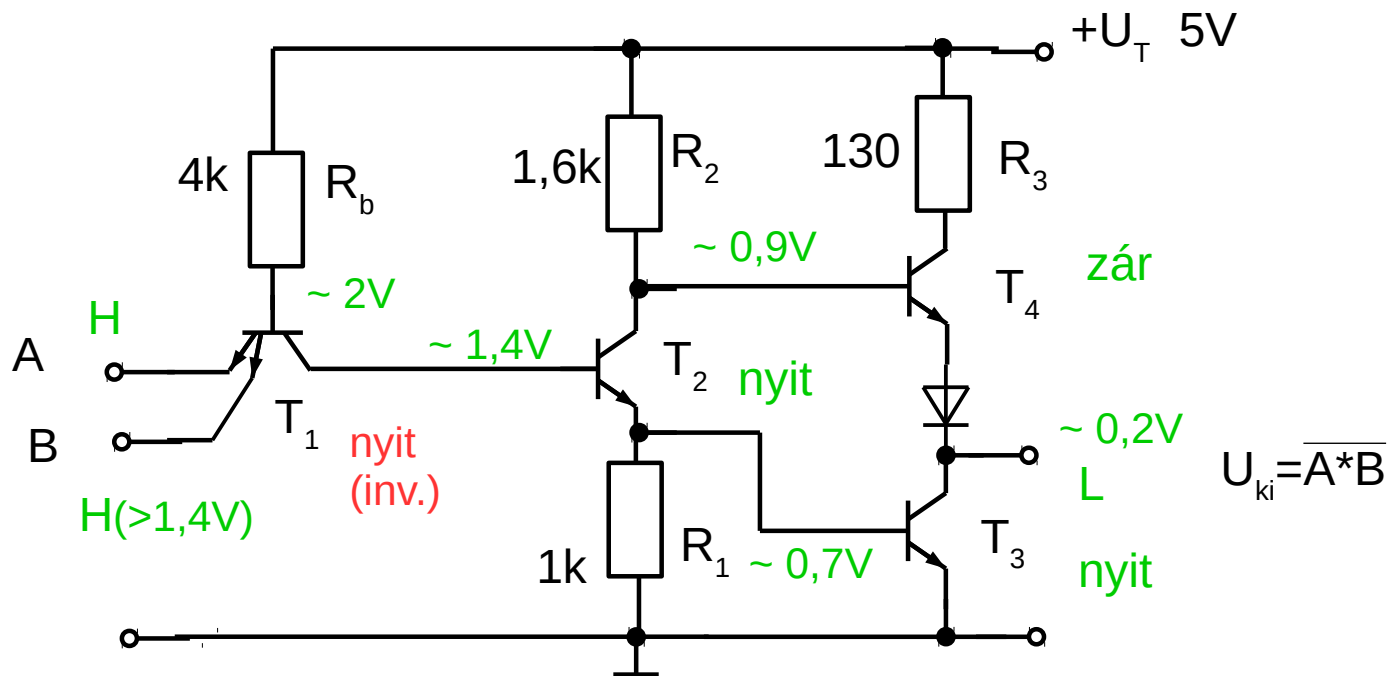


Működése:

2. a kisebb szintű bemeneten 0,7 – 1,4 V közötti érték $\rightarrow T_2$ nyit, de T_3 még zár, U_{ki} változatlan

6.3. TTL áramkör család

Standard TTL NAND kapu



Működése:

3. a kisebb szintű bemeneten $\sim 1,4V \rightarrow$ átbillenés, T_3 nyit \rightarrow kimenet $H \rightarrow L$
4. a kisebb szintű bemeneten $> 1,4V \rightarrow T_4$ zár, kimenet stabilan L

6.3. TTL áramkör család

TTL sorozatok

- Standard TTL, SN74.... pl. SN7400 4db két bemenetű NAND kapu
fan-out 10 késleltetés (t_{pd}) ~ 10ns $P_d \sim 10\text{mW}$
 $I_{IL} \sim -1,6\text{mA}$ $I_{IH} \sim 40\mu\text{A}$ $I_{OL} \sim 16\text{mA}$ $I_{OH} \sim -400\mu\text{A}$
- Low power TTL (L) kis fogyasztású pl. SN74L00
fan-out 10 késleltetés (t_{pd}) ~ 33ns $P_d \sim 1\text{mW}$
- Schottky TTL (S) nagy sebességű pl. SN74S00
fan-out 10 késleltetés (t_{pd}) ~ 5ns $P_d \sim 20\text{mW}$
B-C átmenetekre Schottky diódák → nem megy telítésbe a tranzisztor → gyorsabban lezár
- Low power Schottky TTL (LS) pl. SN74LS00
fan-out 20 késleltetés (t_{pd}) ~ 10ns $P_d \sim 2\text{mW}$
- High speed TTL (H) nagy sebességű (kisebb ellenállások miatt)
késleltetés (t_{pd}) ~ 6ns $P_d \sim 22,5\text{mW}$
- Advanced low power Schottky TTL (ALS)
késleltetés (t_{pd}) ~ 4ns $P_d \sim 1\text{mW}$

6.4. Kimeneti struktúrák

Totem-pole kimenet

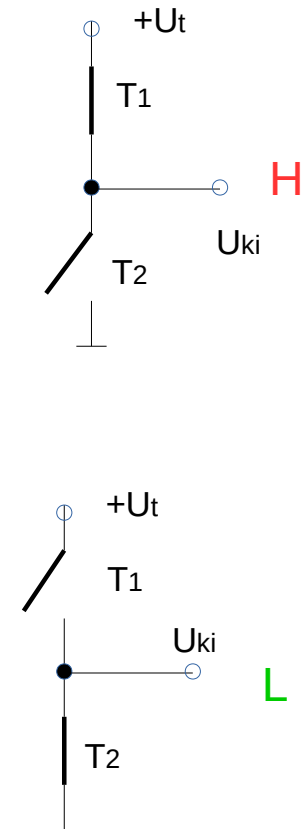
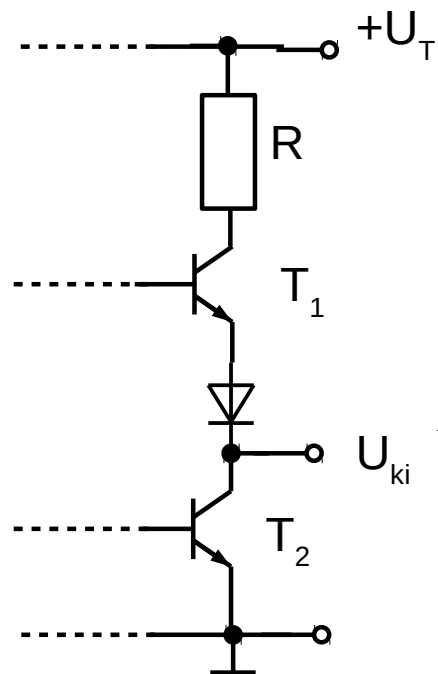
Alap esetben ilyen egy
TTL áramkör kimenete

L és H kimeneti szint
esetén is a kimenő áram
egy nyitott tranzisztoron át
folyik → vagy a T_1 vagy
a T_2 nyit

Ilyen kimenetek közvetlenül
nem köthetők össze !!!

Bizonytalan
kimeneti szint

Meghibásodás
lehetséges

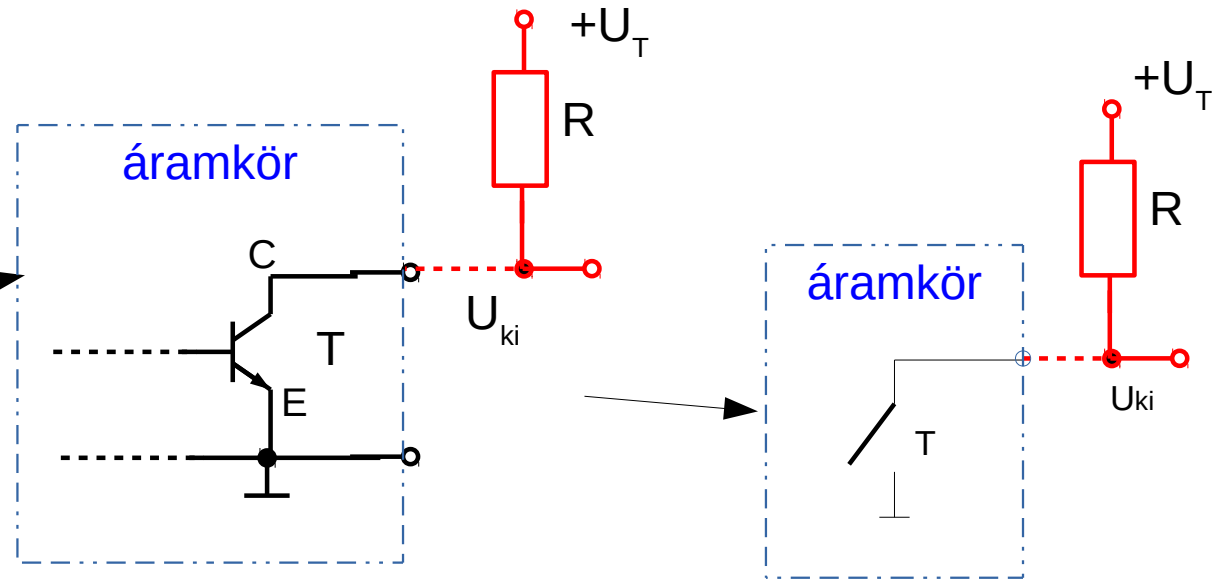


6.4. Kimeneti struktúrák

Open collector

Az áramkör csak logikai L szintet kapcsol !!

Külső ellenállás kell a H szint megoldásához !!
(felhúzó ellenállás)



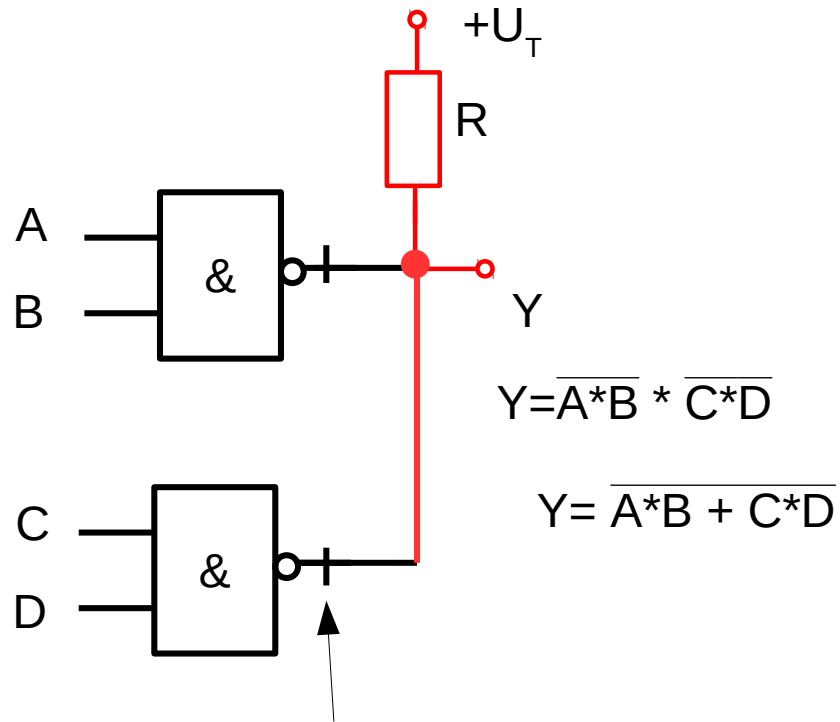
Működése:

- ha a tranzisztor zár (kapcsoló nyit) → C-E között ~szakadás → kimenet H szintet (U_T) kap az ellenálláson keresztül
- ha a tranzisztor nyit (kapcsoló zár) → C-E között ~rövidzár → a kimenet L (0) szintet kap a tranziszton keresztül

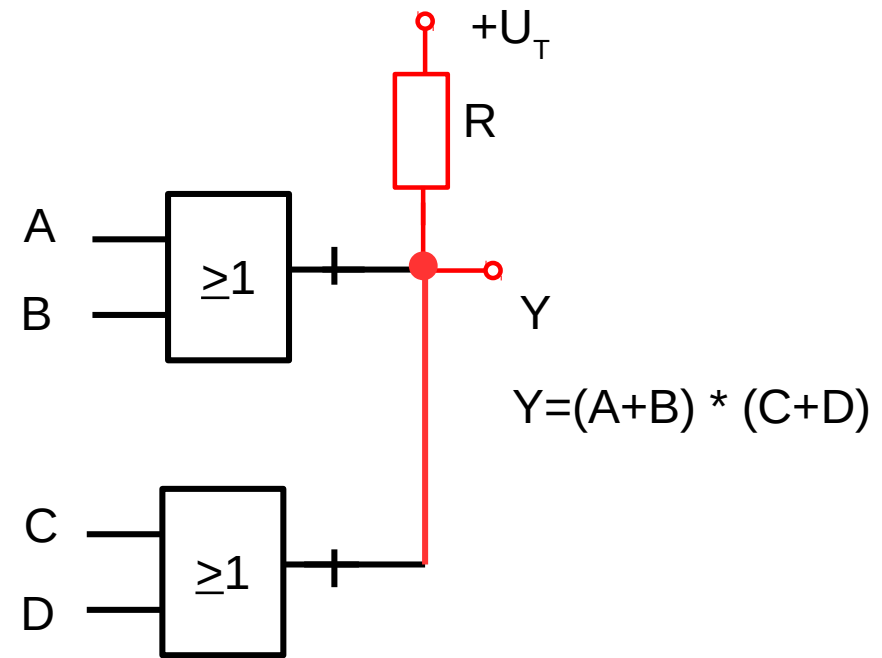
Az ilyen kimenetek közvetlenül összeköthetők → huzalozott ÉS kapcsolat !

6.4. Kimeneti struktúrák

Open collector, huzalozott ÉS



Open-collector kimenet jelölése!



pl. SN7403 → 4db NAND kapu,
open-collector kimenettel

6.4. Kimeneti struktúrák

Három állapotú kimenet

three-state vagy tri-state

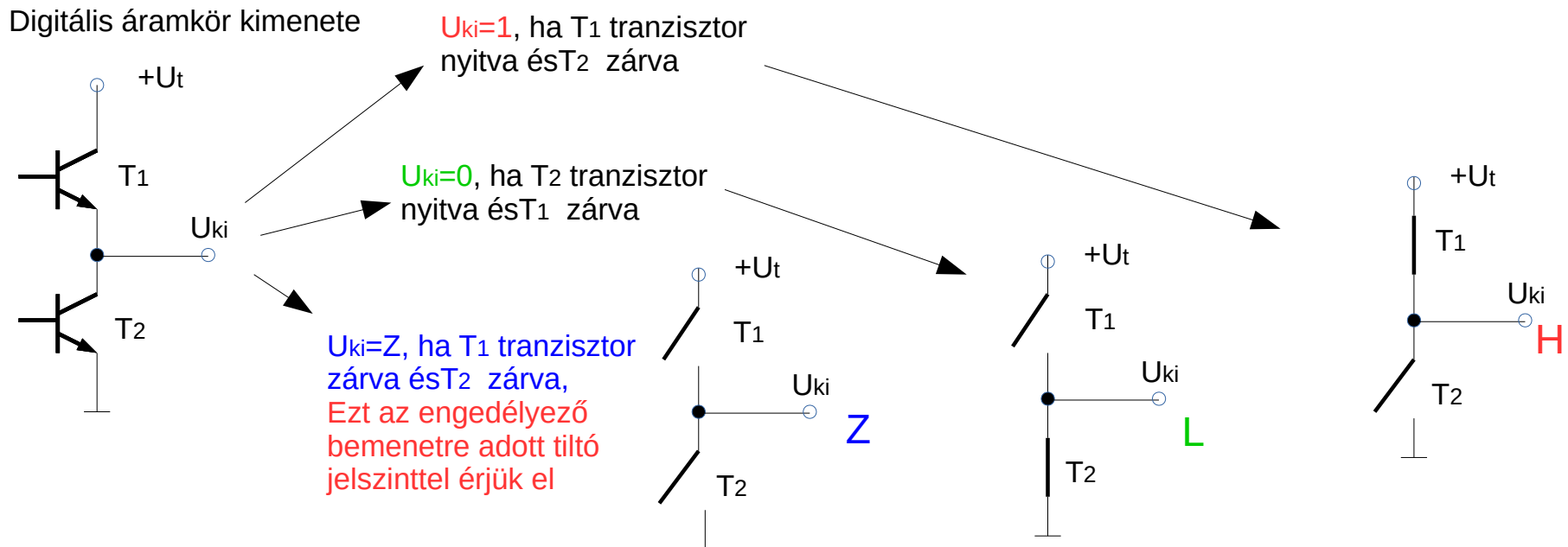
A digitális áramkörökben a két logikai állapot – L és H (0,1) - mellett egy harmadik is használatos → a Z-vel jelölt nagy impedanciás állapot !

Ez közel szakadást jelent,
az ilyen állapotú kivezetés
mintha ott sem lenne

Külön engedélyező/tiltó
bemenet kell hozzá !

Jól használható egy-egy áramkör
kiiktatására, annak fizikai eltávolítása nélkül
(elég a kimeneteit Z állapotúra állítani,
lásd később a sín/busz rendszereknél)

Működése, leegyszerűsítve:



6.5. SSI, MSI, LSI, VLSI

- A digitális integrált áramkörök csoportosíthatók bonyolultság szerint
 - kis komplexitású elemek, SSI áramkörök

SSI, Small Scale Integration (1958-tól)
néhány kapuáramkörből állnak, 10-20 (<50) pl. tárolók
 - közepes bonyolultságú elemek, MSI

Medium Scale Integration (1960-tól)
összetettebb funkció, néhányszor tíz kapuáramkör (<200)
pl. regiszterek, számlálók
 - nagy bonyolultságú elemek, LSI

Large Scale Integration (1964)
néhány száz – több ezer kapuáramkör
pl. az első mikroprocesszorok (1971)
 - nagyon nagy bonyolultságú elemek, VLSI

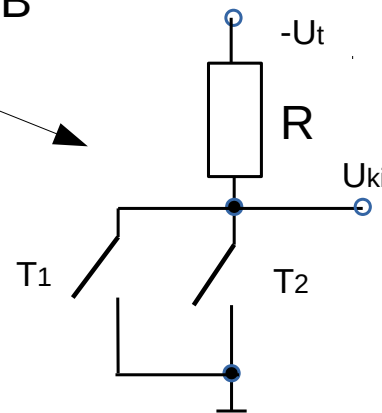
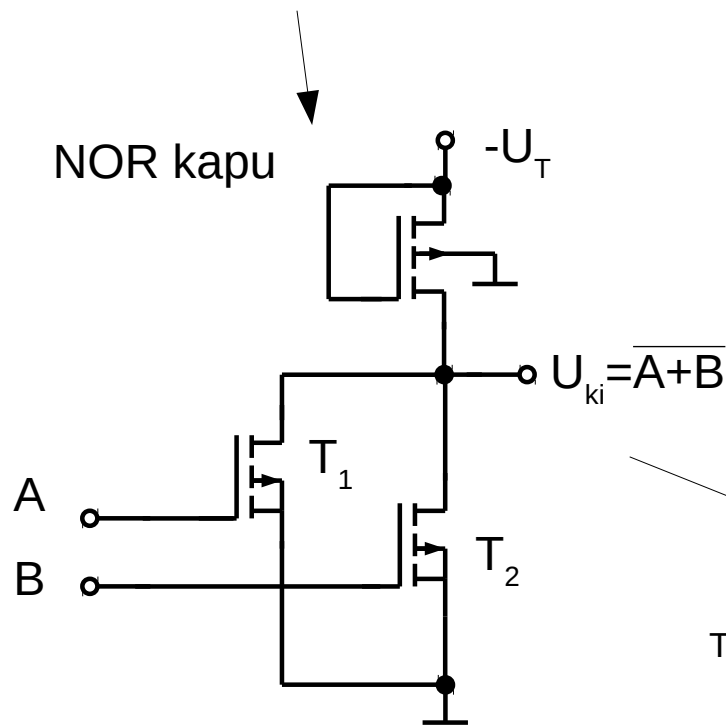
Very Large Scale Integration
több tízezer kapuáramkör
pl. memóriák, mikroprocesszorok

6.6. MOS elemek alkalmazása

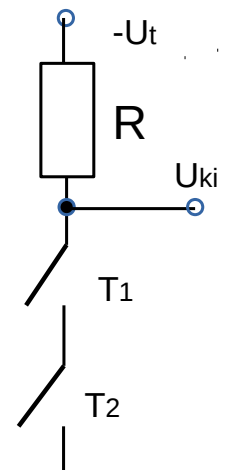
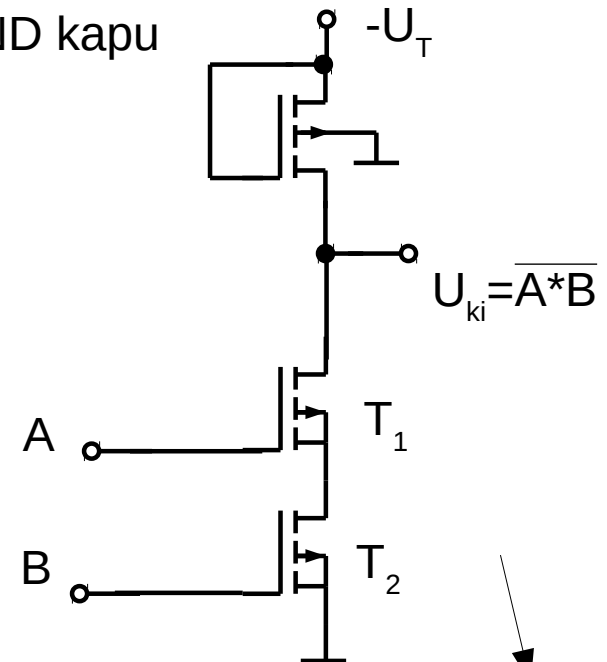
- MOSFET-ek használatának előnyei (bipoláris elemekkel szemben)
 - kevesebb technológiai lépés → egyszerűbb gyártás → **olcsóbb !!**
 - jobb kihozatal (kevesebb hibás elem) → olcsóbb
 - nagyobb elemsűrűség érhető el (10-30 szoros)
 - **kisebb fogyasztás !!!**
 - igen nagy a fan-out, ~100 (mert a MOSFET-ek bemeneti impedanciája igen nagy, több száz $M\Omega$)
 - hátrány: kicsit lassúbb működési sebesség
- MOS áramkörcsaládok
 - NMOS, csak 'n' csatornás MOSFET-eket tartalmaz
 - PMOS, csak 'p' csatornás MOSFET-eket tartalmaz
 - CMOS, 'n' és 'p' csatornás MOSFET-eket tartalmaz vegyesen (Complementary MOS)
 - NMOS, PMOS technológiával elsősorban LSI, VLSI áramkörök készülnek (mikroprocesszorok, memóriák), mert az SSI, MSI gazdaságtalan így
 - CMOS technológiával pedig elsősorban SSI, MSI áramkörök készülnek

6.7. PMOS áramkörök

- Jellemzői:
 - technológia egyszerűbb
 - hátrány: kicsit lassúbb működési sebesség
- Áramköri megoldások:



NAND kapu



6.8. CMOS áramkörök

- CMOS áramkörök: 'n' és 'p' csatornás MOSFET-eket tartalmaznak vegyesen

Több típus van itt is. Elterjedt pl. a CD4000 sorozat

pl. CD4017 → dekádikus számláló

CD4001 → 4db 2 bemenetű NOR kapu

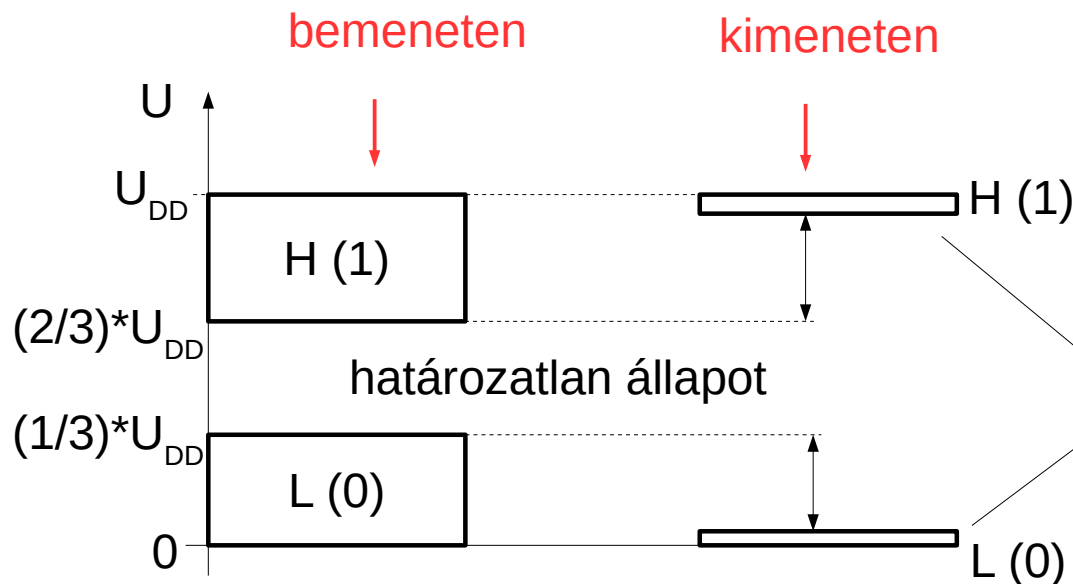
CD4011 → 4db 2 bemenetű NAND kapu

- CMOS áramkörök jellemzői
 - tápfeszültség: általában 3-15V között változhat !! (de néhány család esetén szűkebb tartomány van)
 - igen nagy a fan-out, ~100 (mert a bemeneti impedancia több száz $M\Omega$)
 - sokkal kisebb fogyasztás a TTL áramkörökhöz képest

6.8. CMOS áramkörök

- CMOS áramkörök jellemzői

- nagy zavar érzéketlenség, DC zavar távolság $\sim 0,3 \cdot U_T$
- tápfeszültség ($U_T \rightarrow U_{DD}$) széles tartományban változhat
- bemeneti áram jellemzően $\sim 10\text{pA}$ (mindkét logikai szinten)
- feszültség szintek



Bemenet:

$0,7 \cdot U_{DD} - U_{DD}$ (H – high) $\rightarrow 1$
 $0 - 0,3 \cdot U_{DD}$ (L – low) $\rightarrow 0$
átbillenés $0,5 \cdot U_{DD}$ körül

Kimenet:

Nagyon keskeny, néhány tized voltos tartományok (kisebb mint 1V)

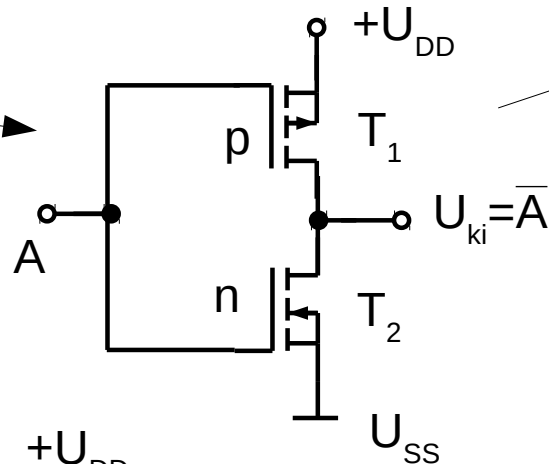
6.8. CMOS áramkörök

- Áramköri megoldások:

CMOS inverter

T_1 FET 'p' csatornás,

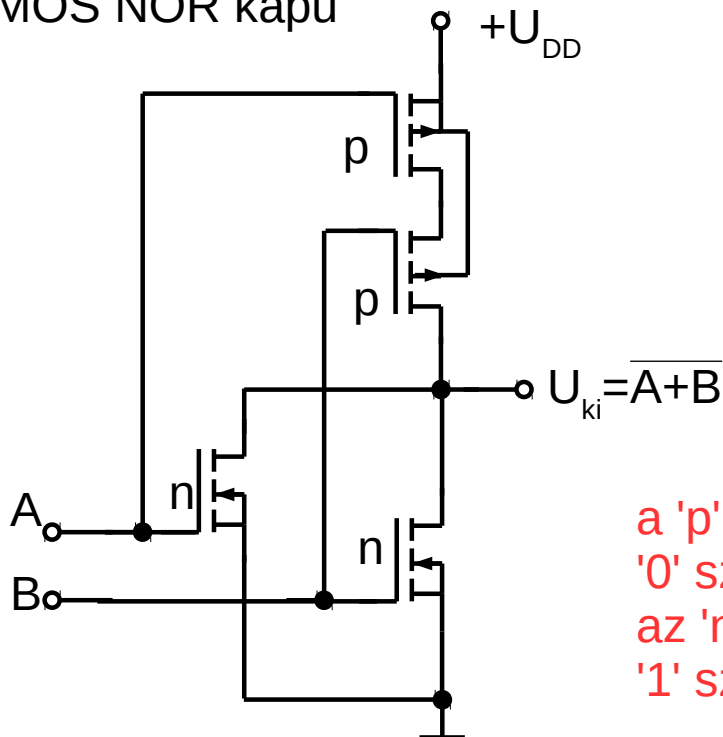
T_2 FET 'n' csatornás



Működése:

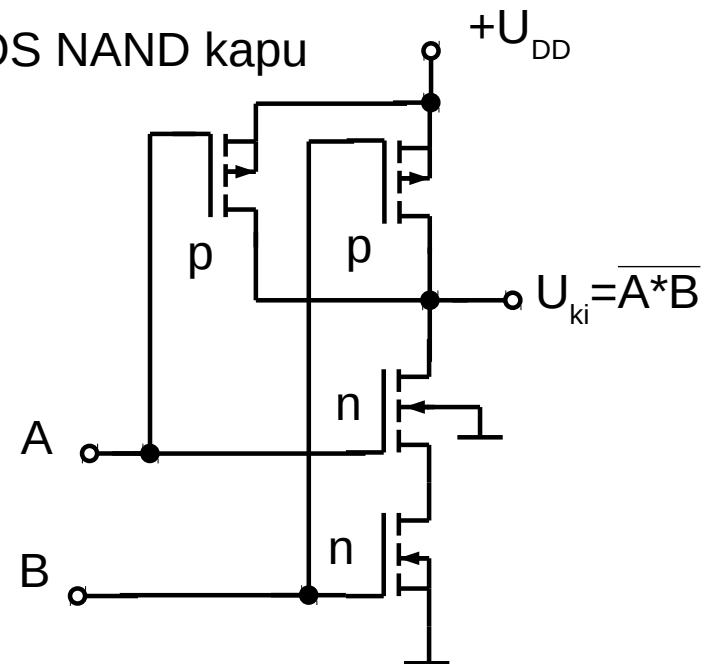
- ha a bemenet L szintű $\rightarrow T_1$ nyit és T_2 zár \rightarrow kimenet H szintű
- ha a bemenet H szintű $\rightarrow T_2$ nyit és T_1 zár \rightarrow kimenet L szintű

CMOS NOR kapu



a 'p' csatornás FET
'0' szintre,
az 'n' csatornás FET
'1' szintre nyit !!

CMOS NAND kapu



6.8. CMOS áramkörök

- CMOS sorozatok

- CD40 (CMOS 4000 sorozat) pl. CD4011 4db két bemenetű NAND kapu

$$U_{DD} \quad 3 - 18V \quad \text{késleltetés } (t_{pd}) \sim 60ns$$

$$U_{ILmax} \sim 0,3 \cdot U_{DD} \quad U_{IHmin} \sim 0,7 \cdot U_{DD}$$

pl. ha $U_{DD} = 5V \rightarrow U_{IHmin} = 3,5V !! \rightarrow$ TTL áramkör nem hajtja meg

- 74C..... sorozat

$$U_{DD} \quad 3 - 15V$$

Lábkompatibilis az SN74.... sorozattal

- 74HC..... sorozat, nagy sebességű

$$U_{DD} \quad 2 - 6V \quad \text{késleltetés } (t_{pd}) \sim 7ns$$

Lábkompatibilis az SN74.... sorozattal

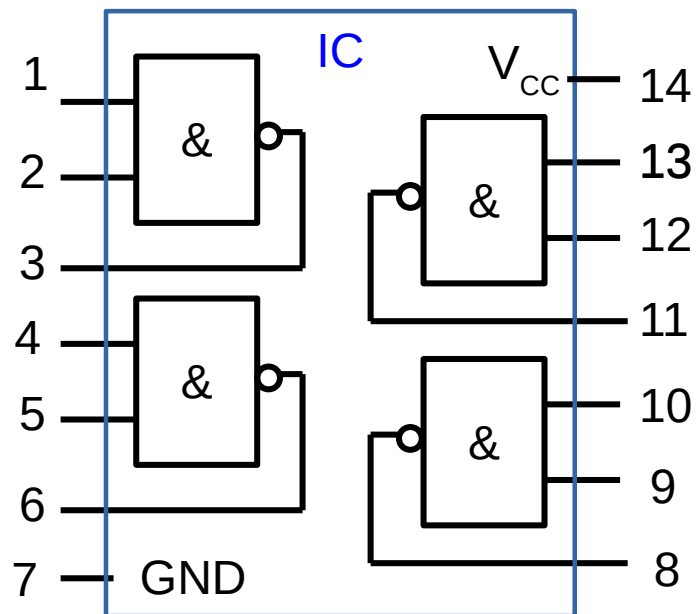
- 74HCT..... sorozat

$$U_{DD} \quad 5V (+/-10\%) \quad \text{késleltetés } (t_{pd}) \sim 10ns$$

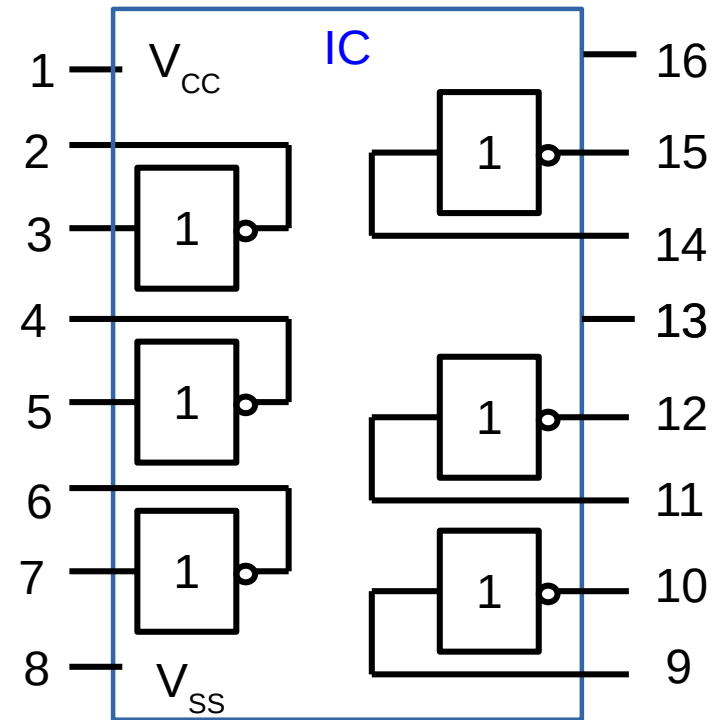
Teljes TTL kompatibilitás (\sim SN74LS.....), kimenet szigorúbb
(H 3,84 - 5V L 0 – 0,33V)

6.9. Néhány IC

SN7400 → 4db TTL NAND kapu



CD4049 → 6db CMOS inverter



6.10. Ellenőrző teszt

1. Mit jelent a pozitív logika ?

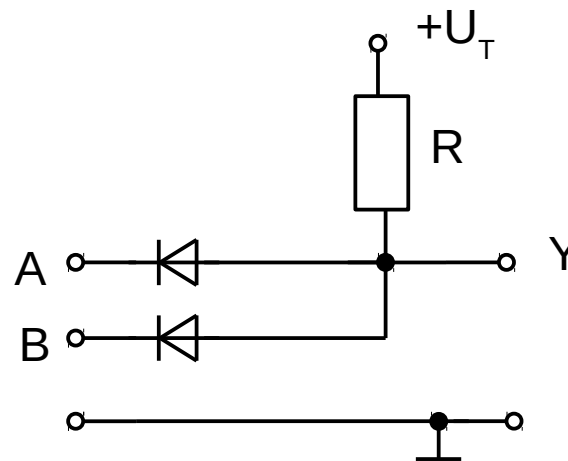
- A, 1- pozitív feszültség, 0- negatív feszültség
- B, 1- negatív feszültség, 0- pozitív feszültség
- C, 1- magasabb feszültség szint, 0- alacsonyabb feszültség szint
- D, 1- alacsonyabb feszültség szint, 0- magasabb feszültség szint

2. Mit jelent egy áramkör esetén a 10-es fan-out ?

- A, a bemenete 10 áramkör kimenetére köthető
- B, kimenetére 10 másik áramkör bemenete köthető
- C, 10 kimenete van az áramkörnek
- D, kimenetére 10db, 1-es fan-in értékű áramkör köthető

3. Milyen áramkör ez ?

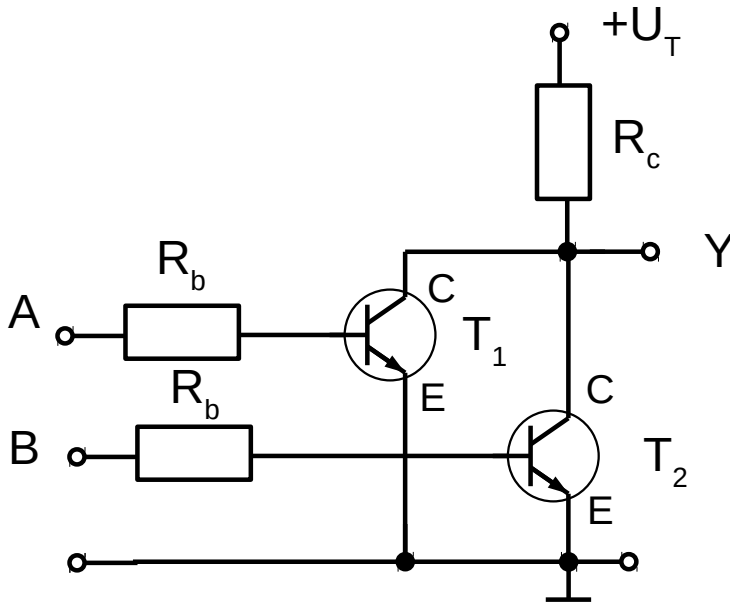
- A, AND kapu
- B, NOR kapu
- C, NAND kapu
- D, OR kapu



6.10. Ellenőrző teszt

4. Milyen áramkör ez ?

- A, AND kapu
- B, NOR kapu
- C, NAND kapu
- D, OR kapu



5. A TTL áramkörök tápfeszültsége milyen értékű ?

- A, 3V
- B, 5V
- C, 2V
- D, 0,8V

6.10. Ellenőrző teszt

6. TTL áramkörök bemenetén a H szint közötti feszültségtartomány.

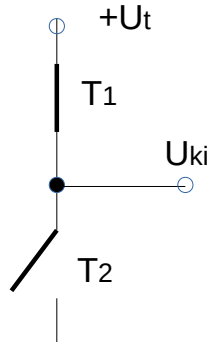
- A, 2,4V - 5V
- B, 0,8V - 2V
- C, 2V - 5V
- D, 0,8V - 2,4V

7. Milyen típusú kimeneteket nem szabad közvetlenül összekötni?

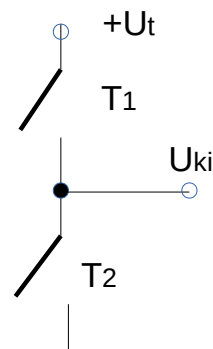
- A, tri-state
- B, open-collector
- C, totem-pole

8. Melyik ábra ábrázolja a nagy impedanciás állapotot ?

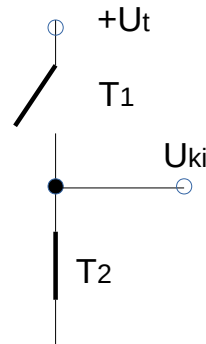
A



B



C



6.10. Ellenőrző teszt

9. Melyik nem jellemző a CMOS áramkörökre ?

- A, fogyasztás kicsi
- B, csak 'p' csatornás FET-et tartalmaz
- C, fan-out nagy
- D, a tápfeszültség nem fix

10. Milyen áramkör ez ?

- A, AND kapu
- B, NOR kapu
- C, NAND kapu
- D, OR kapu

