

Fehér Gyula

**Logikai áramkör  
családok**

ELVI ALAPOK

# TARTALOMJEGYZÉK

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ÁTVITELI JELLEMZŐK .....</b>                                | <b>3</b>  |
| 1.1 ÁTVITELI FÜGGVÉNY.....                                        | 4         |
| 1.2 KÜSZÖBFESZÜLTSG.....                                          | 6         |
| 1.3 A $H$ ÉS $L$ TARTOMÁNYOK HATÁRAI.....                         | 7         |
| 1.4 A TÍPIKUS $U_H$ ÉS $U_L$ SZINTEK ÉRTÉKEI.....                 | 8         |
| 1.5 ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK .....                                      | 9         |
| <b>2. BE- ÉS KIMENETI JELLEMZŐK .....</b>                         | <b>11</b> |
| 2.1 BEMENETI JELLEMZŐK.....                                       | 12        |
| 2.2 KIMENETI JELLEMZŐK.....                                       | 14        |
| 2.3 SPECIÁLIS KIALAKÍTÁSOK.....                                   | 16        |
| 2.4 ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK .....                                      | 18        |
| <b>3. SEBESSÉG-JELLEMZŐK.....</b>                                 | <b>19</b> |
| 3.1 ÁLTALÁNOS JELLEMZŐK .....                                     | 20        |
| 3.2 JELTERJEDÉSI (KÉSLELTETÉSI) IDŐ $T_{PD}$ .....                | 21        |
| 3.3 ÁTKAPCSOLÁSI (LEFUTÁSI ÉS FELFUTÁSI) IDŐK $T_F$ , $T_L$ ..... | 22        |
| 3.4 ÖSSZETETT RENDSZEREK BELSŐ DINAMIKUS KÖLCÖNHATÁSAI .....      | 24        |
| 3.5 ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK .....                                      | 25        |
| <b>4. A TELJESÍTMÉNYFELVÉTEL JELLEMZŐI .....</b>                  | <b>27</b> |
| 4.1 A TELJESÍTMÉNYFELVÉTEL ÖSSZETEVŐI .....                       | 28        |
| 4.2 SZTATIKUS TELJESÍTMÉNYFELVÉTEL.....                           | 28        |
| 4.3 DINAMIKUS TELJESÍTMÉNYFELVÉTEL.....                           | 29        |
| 4.4 ELLENÜTEMŰ VÉGFOKOZAT ÁTKAPCSOLÁSI VESZTESÉGE .....           | 30        |
| 4.5 A KIMENETI FOKOZAT DISSZIPÁCIÓJA.....                         | 31        |
| 4.6 TELJESÍTMÉNYFELVÉTEL-JELTERJEDÉS SZORZAT .....                | 31        |
| 4.7 ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK .....                                      | 32        |
| <b>5. JELFORMÁLÓ ÉS IDŐZÍTŐ ALKALMAZÁSOK.....</b>                 | <b>33</b> |
| 5.1 JELFORMÁLÓK .....                                             | 34        |
| 5.2 IDŐZÍTŐK .....                                                | 39        |
| 5.3 ÓRAJEL-GENERÁTOROK .....                                      | 43        |
| 5.4 ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK .....                                      | 45        |
| <b>6. IRODALOMJEGYZÉK.....</b>                                    | <b>46</b> |

# 1. ÁTVITELI JELLEMZŐK

*A logikai építőelemek be- és kimeneteik között folytonos fizikai leképztést valósítanak meg. Ezt a függvény-kapcsolatot az eszközök belső fizikai működése határozza meg és leírására az átviteli függvény szolgál. A függvény sztatikus jellemző, ami szó szerinti értelemben azt jelenti, hogy a be- és kimeneti jelek állandósult értékei között teremt kapcsolat. Ez azonban nem mozdulatlanságot tételez fel, hanem csak azt hangsúlyozza, hogy a be- és kimeneti jeleknek az áramkör működési sebességéhez képest kell elegendően lassúnak, követhetőnek lenni.*



**Célkitűzés:** A fejezet az átviteli függvény fontosabb általános jellemzőit, az inverterek és kapuk átviteli függvényét, a küszöb feszültséget, a  $H$  és  $L$  szinttartományok határainak az átviteli függvény alapján való kijelölési módját és ennek előnyeit mutatja be. Az itt leírtak áttanulmányozásának és feldolgozásának eredményeként az olvasó megérti, hogy:

- A digitális rendszerek építőelemeinek be- és kimeneti jeleit folytonos fizikai működés kapcsolja össze.
- A fizikai eszközök folytonos belső működése eredményeként az eszközök be- és kimeneti jelei közötti  $f$  függvénykapcsolat, az átviteli függvény is folytonos.
- Az átviteli függvény az (eszköz működési sebességéhez képest) állandósultnak tekinthető  $U_{be}$  és  $U_{ki}$  értékek közötti  $U_{ki} = f(U_{be})$  kapcsolatot írja le.
- Az átviteli függvény által összerendelt  $U_{be}, U_{ki}$  pontpárok, az eszköz munkapontjai.
- A kapuk átviteli függvénye az inverterek átviteli függvényéhez nagyon hasonló módon leírható.
- Az átviteli függvény által meghatározott  $U_K$  küszöb feszültség a logikai építőelemek egyik legfontosabb jellemzője.
- Az  $U_K$  küszöb feszültség a  $H$  és  $L$  szinttartományok egymáshoz közelebb eső határainak egyik fontos meghatározója.
- A be- és kimenetek  $H$  és  $L$  tartományainak határait az átviteli függvény alapján célszerű kijelölni.
- A logikai építőelemek mindegyikét egyedi átviteli függvény írja le, de a közös, átfogó jellemzésre a tipikus átviteli függvény jól használható.
- A be- és kimeneti  $H$  ill.  $L$  tartományok kijelölését követően a folytonos működéssel megvalósított diszkrét leképztés meghatározható. A logikai működéshez ugyanakkor még a logikai hozzárendelést is rögzíteni kell.
- Mivel az átviteli függvény (az eddig leírtakon kívül is) egész sor kulcs-jellemző meghatározója, ismerete az alkalmazók számára is fontos.

## 1.1 Átviteli függvény

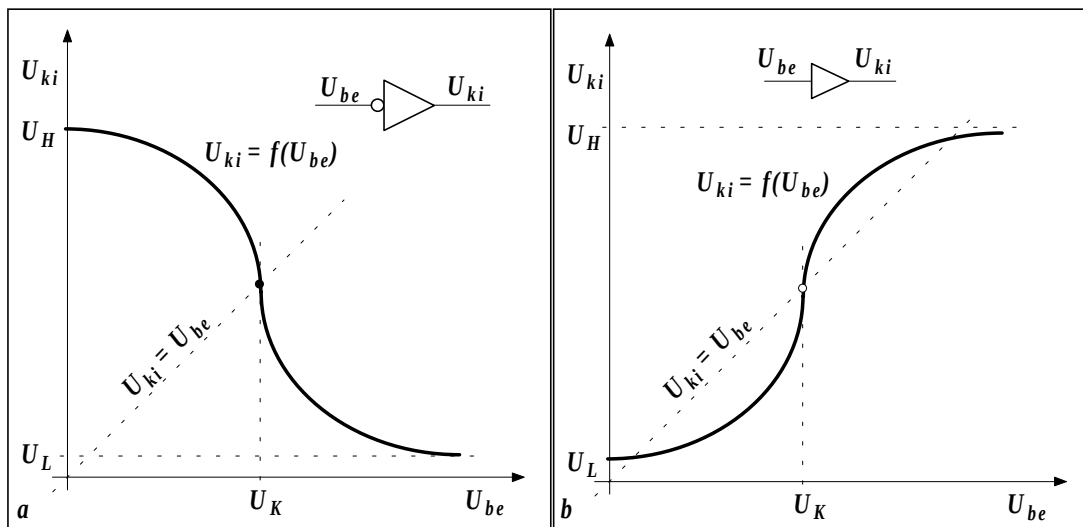
[1] 5.

Az elemi logikai funkciókat ellátó elektronikus eszközök bemeneti és kimeneti jeleik között folytonos leképzést valósítanak meg. Ennek a függvénykapcsolatnak a legfontosabb jellemzőit a legegyszerűbb logikai műveletet megvalósító eszköz, az inverter példáján keresztül mutatjuk be. Látni fogjuk, hogy az eredmény teljesen általános érvényű, tetszőleges funkciójú és tetszőleges bemenetszámú kapura alkalmazható.

### 1.1.1 Az inverter átviteli függvénye, munkapont



Egy inverter  $U_{ki} = f(U_{be})$  átviteli függvénye az inverter be- és kimeneti feszültsége közötti függvénykapcsolatot írja le. Ez, a csak állandósultnak tekinthető (az eszköz működési sebességéhez képest lassan változó) be- és kimeneti feszültségek között igaz leképzés, a bemeneti feszültség minden értékéhez a kimeneti feszültség egy értékét rendel. Az így kijelölt, összetartozó  $U_{be}$ ,  $U_{ki}$  feszültségpárok az inverter egy-egy lehetséges állapotát, munkapontját specifikálják. Az inverter sztatikus működésének vizsgálata az inverter-munkapontok vizsgálata.



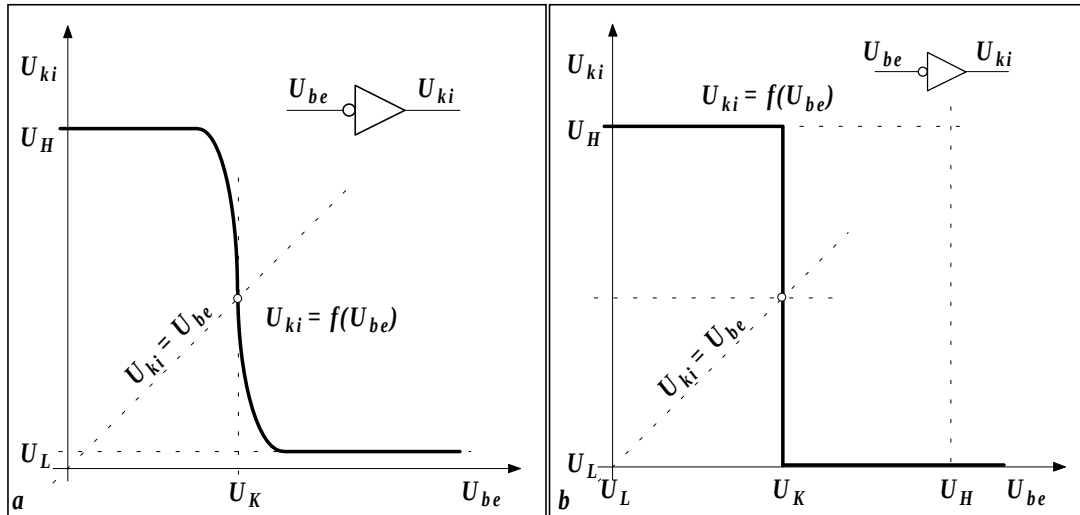
1-1. ábra

Bármilyen áramkör-családot vizsgálunk, a családot jellemző inverter átviteli karakterisztikája a 1-1. ábra/a-n láthatóhoz hasonló formát mutat. (Az invertálást nem végző, "ismétlő"-nek vagy "leválasztó"-nak is nevezett elem átviteli függvénye a 1-1. ábra/b-n látható.

### 1.1.2 Ideális átviteli függvény

Az átviteli függvénygörbe alakja a működés szempontjából meghatározó fontosságú. Ettől a nemlineáris görbétől ugyanis az áramkör-családot jellemző kulcs-adatok egész sora függ. Ezért az áramkör-családok tervezői mindent megtesznek a minél előnyösebb görbe kialakítása érdekében. Az 1-2. ábra egy a ki- és bemeneti

feszültség-értékeket az 1-1. ábraán láthatónál határozottabban két tartományra bontó, ezért jobb alkalmazási tulajdonságokat eredményező átviteli függvényt mutat, az 1-2. ábrán pedig egy ideális átviteli függvény látható. Ez utóbbinál minden bemeneti feszültség-értékhez ideális  $U_H$  vagy  $U_L$  kimeneti érték tartozik.

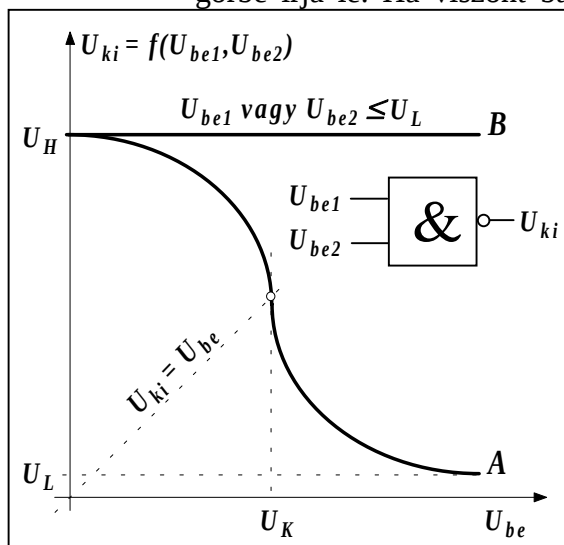


1-2. ábra

### 1.1.3 Kapuk átviteli függvénye



A kapuk átviteli függvénye nagyon egyszerűen visszavezethető az inverterére. Az 1-3. ábra egy kétbemenetű, pozitív logika szerint NAND funkciót megvalósító kapu átviteli függvényét mutatja. Ezen két görbe látható. Az A jelű az inverterével teljesen megegyező alakú, a B jelű egy vízszintes egyenes. Ha a kapu egyik bemeneti jele  $H$  értékű, akkor a másik bemenet és a kimenet közötti leképezést az A jelű görbe írja le. Ha viszont bármelyik bemenet  $L$  szinten van, akkor a



1-3. ábra

felvehető. A különböző bemenetekhez tartozó átviteli függvények egymáshoz és az adott család invertereinek átviteli függvényéhez nagyon hasonlóak. (A hasonlóság oka az azonos technológia és a belső

a másik bemenet és a kimenet kapcsolata a B jelű egyenes szerint alakul. Más fizikai működésű és több bemenetű kapu esetén ugyanezen elv szerint, ugyanilyen jellegű átviteli függvényt kapunk. A kapuknak tehát annyi átviteli függvényük van ahány bemenetük. Ezek egyenként meghatározhatók. A vizsgálni kívánt ( $n$  sorszámmal azonosított) bemenethez tartozó átviteli függvény felvétele előtt a többi bemenetet olyan feszültségszintre kell kapcsolni, hogy a kimenet állapota egyedül a vizsgálandó bemenet értékétől függjön. Ezek után az  $U_{ben}$  bemeneti feszültség folyamatos változtatásával az  $U_{ki} = f_n(U_{ben})$

áramköri felépítés azonossága.) Jellemzésükre egységesen az adott áramkör-család tipikus átviteli függvényét használjuk.

#### 1.1.4 Tipikus átviteli függvény

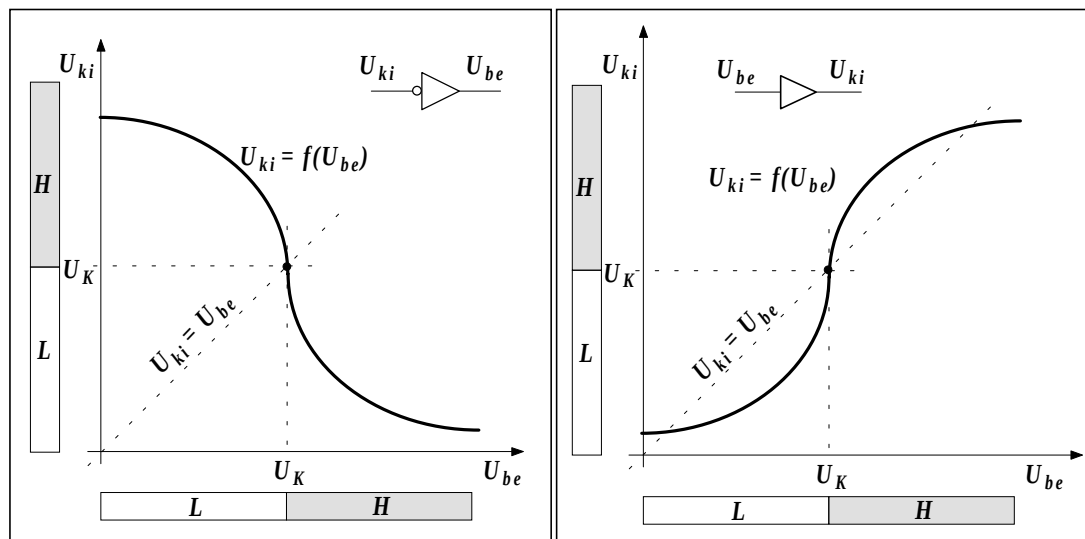


Az áramkör-családok katalógusaiban az ún. tipikus átviteli függvényt adják meg. Ez nem egy konkrét inverter  $U_{ki} = f(U_{be})$  függvénye. Olyan görbe amely sok-sok inverter, rögzített (környezeti hőmérséklet, tápfeszültség-tartomány, terhelés, ...) feltételek mellett mért egyedi átviteli függvényének átlagolásával lett meghatározva. Még véletlenül sem találunk olyan áramkört amely pontosan a tipikus görbének megfelelő viselkedést mutat. Ha viszont egy feladat megoldásához ismernünk kell a felhasználni kívánt inverterek átviteli függvényét, akkor ennek legjobb közelítését a tipikus átviteli függvény adja.

## 1.2 Küszöbfeszültség

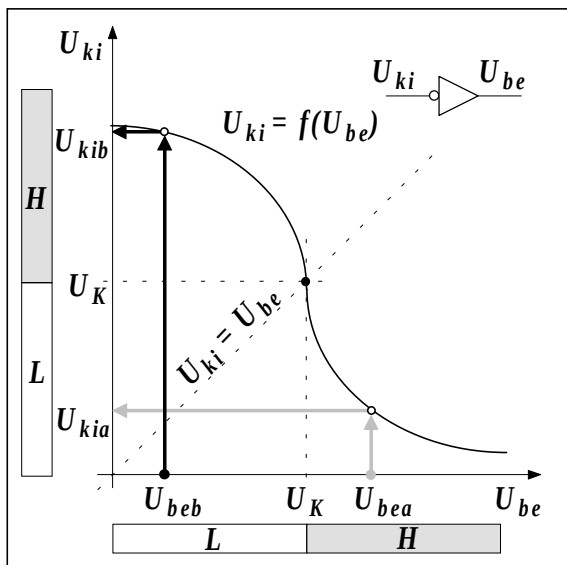


A gyakorlatban a  $H$  és  $L$  tartományok kijelölése sohasem önkényes, nem szakad el azoktól az eszközöktől amelyek produkálják illetve fogadják a logikai értékek fizikai hordozóit. A kérdés az, hogy ismerve a logikai építőelemek fizikai működési jellemzőit, miként célszerű kijelölni a  $H$  és  $L$  tartományok határait. A választ ismét a legegyszerűbb logikai funkciót megvalósító eszköz, az inverter vizsgálatával célszerű meghatározni. Eredményeink most is egyszerűen és közvetlenül általánosíthatók.



1-4. ábra

Valódi invertereink átviteli függvényének nincsen olyan kitüntetett bemeneti feszültségértéke amelyet elérve a kimenet ugrásszerűen átkapcsol az egyik jellemző feszültségszintről a másikra, amint azt az 1-2. ábrán látható görbével leírt ideális inverter teszi. A bemeneti feszültséget folyamatosan növelve a kimeneti feszültség folyamatosan csökken és fordítva. Ezért önkényesen kell meghatároznunk, hogy a bemeneti feszültség mely tartományát tekintjük  $L$  tartományba tartozónak, és mettől meddig terjed a  $H$  tartomány.



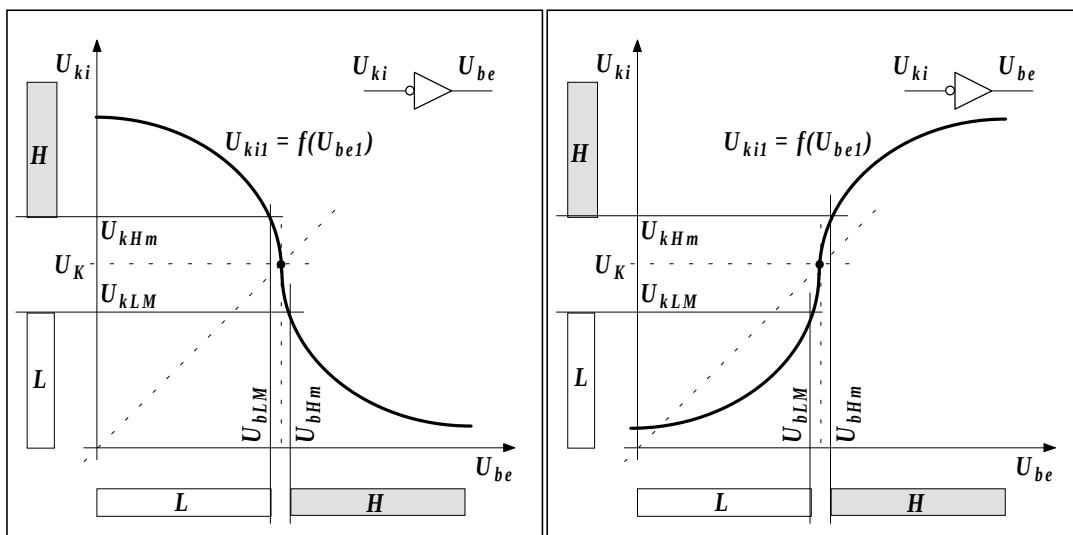
1-5. ábra

Kézenfekvő az a választás, amely szerint a két tartomány közötti választóvonalat ahhoz a bemeneti feszültséghez rendeljük amelynél az  $U_{ki} = U_{be}$  feltétel teljesül. Ezt a feszültséget  $U_K$ -val jelöljük és küszöbfeszültségnek nevezzük. Értékének grafikus meghatározása nagyon egyszerű: az  $U_{ki} = U_{be}$  feltételnek eleget tévő pontok mértani helye az átviteli függvény ábrázolására használt koordináta-rendszerben egy origón átmenő 45 fokos meredekségű egyenesen van. Ennek az  $U_{ki} = f(U_{be})$  görbével való metszéspontja jelöli ki a keresett  $U_K$  feszültség értékét.

Ennek alapján tetszőleges  $U_{be}$  feszültség esetén egyszerűen eldönthető, hogy az  $H$

vagy  $L$  szintnek minősül-e, és milyen szinttartományba eső kimenetet produkál (1-5. ábra). Ideális átviteli függvény esetén az  $U_K$  küszöbfeszültség  $U_K = (U_H - U_L)/2$  értéke a be- és kimeneti jeltartományt két szimmetrikus részre osztja. Ennek az az előnye, hogy mindkét szint esetén azonos  $|U_Z - (U_H - U_L)/2|$  jeltorzulást enged meg: Az ideális  $U_H$  értéket csökkentő  $U_Z < (U_H - U_L)/2$  zavaróhatás még nem okoz működési hibát és ugyanez igaz az  $U_L$  értékét növelő zavarjelek maximális  $U_Z < (U_H - U_L)/2$  amplitúdójára is (1-2. ábra).

### 1.3 A $H$ és $L$ tartományok határai



1-6. ábra

Az  $L$  és  $H$  tartományok határának az  $U_K$  küszöbfeszültségnél történő meghúzása azokhoz az eszközökhöz köti a tartományokat amelyek megvalósítják azokat. Ez az eszközökre vonatkozóan komoly elvárásokat jelent. Ha ugyanis az eszközök saját küszöbfeszültségük alapján minősítik  $H$  vagy  $L$  értékűnek a bemenetükre jutó jeleket, akkor

minden eszköz küszöb feszültségének azonosnak kell lennie. Ennek az elvárásnak az eszközök csak korlátozottan tudnak megfelelni. Ez az egyik oka, hogy a logikai áramkör-családok bemenetein megengedett  $H$  és  $L$  tartományok egymáshoz közelebb eső határértékeit az  $U_K$  küszöb feszültségtől távolabb eső szintekhez rendeljük (1-6. ábra).



A bemeneti  $L$  szinttartomány megengedett felső (maximális)  $U_{bLM}$  határértéke az  $U_K$  érték alatt van ( $U_{bLM} < U_K$ ), a bemeneti  $H$  szinttartomány megengedett alsó (minimális)  $U_{bHm}$  határértéke pedig az  $U_K$  érték fölött húzódik ( $U_{bHm} > U_K$ ). Ezzel a megkötéssel megelőzhetők az olyan működési hibák amelyeket a gyártás apró bizonytalanságai (gyártási szórás), a tápfeszültség ingadozásai, a környezeti hőmérsékletváltozások és még több más tényező miatt az eszközök nem teljesen azonos értékű  $U_K$  küszöb feszültsége okozna. Külön megfontolásokat igényel e határok tényleges értékének meghatározása. (A későbbiekben látni fogjuk, hogy -a zavarójelekkel szembeni védetség javítása céljából- a  $H$  és  $L$  szinttartományok bemeneteken megengedett határértékeire vonatkozóan további megkötéseket kell tenni.)

#### [1] 5.1.2.3.

A  $H$  és  $L$  szinttartományok egymáshoz közelebb eső  $U_{bHm}$  és  $U_{bLM}$  határainak kijelölését követően az egymástól távolabb eső szinthatárokat is rögzíteni kell. Ezt szerencsére könnyű megtenni. A logikai áramkörök kimenetei ugyanis a  $H$  szinttartomány felső határaként maximum az áramkör  $U_T$  tápfeszültségével megegyező  $U_{kHM} = U_T$  maximális szintet képesek előállítani, ez a  $H$  szinttartomány felső korlátja. Az alsó korlát hasonló módon a kimenet által előállítható legnegatívabb  $U_{kLm}$  feszültségértékkel azonos. Az áramkör-családok zöménél ez  $U_{kLm} = 0V$  értéket jelent.

### 1.4 A tipikus $U_H$ és $U_L$ szintek értékei

Az  $U_{ki} = f(U_{be})$  átviteli függvény grafikus alakja jól mutatja, hogy nemideális áramkörök esetén az  $U_{ki}$  érték elég széles tartományban változik az  $U_{be}$  függvényében. A digitális áramkörökkel végzett gyakorlati munka során viszont nagyon előnyös azt tudnunk, hogy az azonos átviteli függvénnyel leírható kapukból álló rendszeren belül tipikusan milyen  $U_H$  és  $U_L$  értékek fognak előállni, mik lesznek a leggyakrabban előforduló feszültség szintek. Lesznek e egyáltalán ilyenek? Erre a kérdésre az egyes áramkör egyedek vizsgálata nem tud választ adni. A válasz csak az egyedek közötti kölcsönhatásokat vizsgálva meghatározható.



## 1.5 Ellenőrző kérdések

- E5.1. Miért folytonos a kapuk és inverterek ki- és bemenetei közötti függvénykapcsolat?
- E5.2. Mit értünk a kapuk és inverterek átviteli függvényén, milyen működést ír le, milyen megkötéssel használható?
- E5.3. Hogyan néz ki és mi jellemzi az ideális inverter átviteli függvényét?
- E5.4. Rajzoljon le egy nemideális átviteli függvényt, ismertesse hibáit.
- E5.5. Rajzolja le és ismertesse egy kapu átviteli függvényét.
- E5.6. Hány átviteli függvénnyel rendelkezik egy kapu és miért?
- E5.7. Hogyan lehet meghatározni az egyes kapubemenetekhez tartozó átviteli fv.-t?
- E5.8. Milyen kapcsolat van az egy áramkör-családhoz tartozó kapuk és inverterek átviteli függvényei között?
- E5.9. Mit ír le és mire használható a tipikus átviteli függvény?
- E5.10. Mit értünk egy inverter vagy egy kapu munkapontján?
- E5.11. Miért gond a nemideális átviteli függvélynél a  $H$  és  $L$  szinthatárok meghúzása?
- E5.12. Mi az a küszöb feszültség, milyen kapcsolatban van az átviteli függvénnyel?
- E5.13. Mekkora az ideális inverter  $U_K$  értéke és ez milyen előnyöket biztosít?
- E5.14. Hogyan határozzuk meg az átviteli függvény alapján a  $H$  és  $L$  tartományok egymáshoz közelebb eső határait?
- E5.15. Miért éppen az  $U_K$  küszöb feszültséghez kötjük a  $H$  és  $L$  szinttartományok határait, milyen előnye van ennek?
- E5.16. Hogyan határozzuk meg a  $H$  és  $L$  tartományok egymástól távolabbi határait, hogyan jelentkezik ez az átviteli függvényen?
- E5.17. Kialakulhatnak tipikus, jellemző, gyakran előforduló  $U_H$  és  $U_L$  szintek a digitális rendszerekben?
- E5.18. A jelszinttartományokat illetően milyen következménye van az  $U_K$  küszöb feszültség változásainak?
- E5.19. Miért és milyen megkötéseket kell tenni a bemeneti  $H$  és  $L$  tartományokra?

## 2. BE- ÉS KIMENETI JELLEMZŐK

*Az ideális logikai áramkörök végtelen nagy bemeneti ellenállással (nulla terhelő hatással) és tökéletesen feszültséggenerátoros kimenettel rendelkeznek, ezért a ki- és bemenetek összekapcsolásakor nemkívánatos hatások nem lépnek fel, túlterhelési hibákra, jelszintcsökkenésre nem kell számítani. A gyakorlatban ennél lényegesen kellemetlenebbek a feltételek.*



**Célkitűzés:** A fejezet bemutatja, hogy a logikai áramkör-családok be- és kimeneti ellenállásai többszörösen nem ideálisak. Egyrészt véges be- és nem zérus kimeneti ellenállással jellemezhetők, másrészt nemlineárisak. A fejezet feldolgozásának eredményeként az olvasó megismeri:

- Milyen terheléstípusokként viselkednek a logikai áramkörök bemenetei.
- Miért és milyen mértékben munkapontfüggő a logikai áramkörök bemeneti ellenállása.
- Miért célszerű  $i_{be}=f(u_{be})$  függvénnyel jellemezni a logikai áramkörök bemeneteit.
- Mit értünk a bemeneti áramok határadatain, mitől függenek ezek.
- Hogyan lehet egyszerűen leírni a logikai áramkörök terhelési és terhelhetőségi jellemzőit, mire használható ez a gyakorlatban.
- Miért és milyen mértékben munkapontfüggő a logikai áramkörök kimeneti ellenállása.
- Miért célszerű  $u_{ki}=f(i_{ki})$  függvénnyel jellemezni a logikai áramkörök kimeneteit.
- Mit értünk a kimeneti áramok határadatain, mitől függenek ezek.
- Milyen speciális bemeneti és kimeneti megoldások léteznek, mire szolgálnak ezek.
- Mire szolgálnak és hogyan használjuk a nyitott kollektoros kimenetet.
- Milyen logikai funkciókat lehet a nyitott kollektorú kimenettel megvalósítani.
- Hogyan méretezhető a nyitott kollektoros kimenet felhúzó ellenállása.
- Hogyan működik és mire szolgál a három állapotú kimenet.
- Mi az előnye a háromállapotú kimenetnek, mire kell ügyelni az alkalmazásánál.

## 2.1 Bemeneti jellemzők

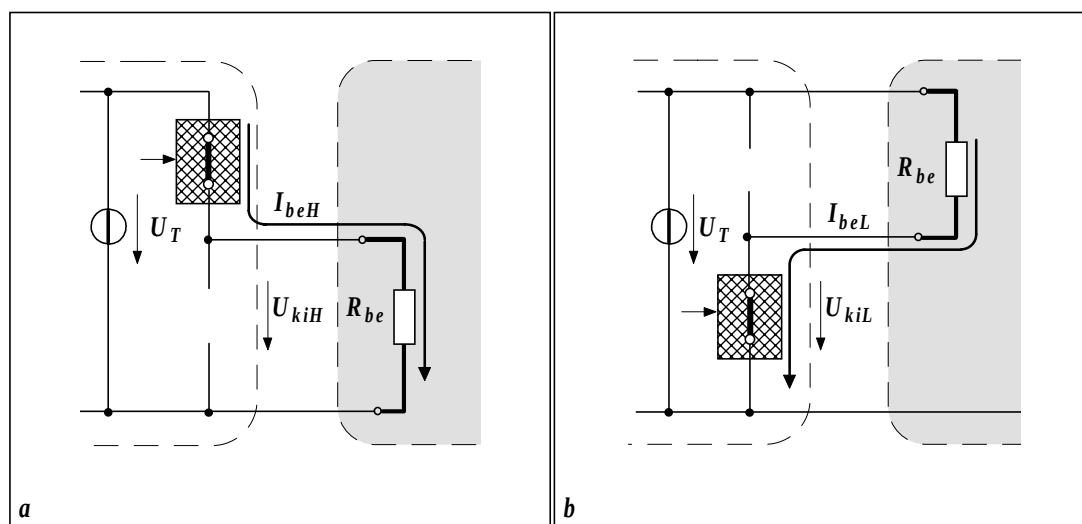
[1] 5.2.

A digitális rendszerek logikai építőelemekből állnak. Tipikus, hogy egy-egy kimenetre több bemenet is kapcsolódik. A kimenetek generátorként szolgáltatják azokat a jeleket amelyeket a bemenetek terhelésként fogadnak. Sajnos sem a kimenetek sem a bemenetek nem ideálisak, így kölcsönhatásuk jeltorzulást (és így hibás működést) okozhat. Egy áramkör családon belül viszonylag egyszerű ennek a megakadályozása, mert a bemenetek terhelési és a kimenetek terhelhetőségi adatait ismerve egyszerű szabályokkal rögzíthetők a korrekt működés feltételei. A különböző áramkör-családok közötti együttműködés megteremtéséhez vagy nem logikai áramkörökhöz való kapcsolódás megoldásához már nem elegendők az egyszerű szabályok és formulák. Ismerni kell a ki- és bemenetek tényleges viselkedését is.

### 2.1.1 A bemenet mint terhelés típusa



Ideális esetben  $R_{be} = \infty$ . Egyik sarkára a meghajtó jelforrás (kapukimenet) kapcsolódik, másik sarka pedig (a bemenet áramköri kialakításától függően) vagy a jelföldre vagy a tápfeszültségre van kötve (2-1. ábra). Előbbit *normál (passzív) terhelésnek*, utóbbit pedig *felhúzó típusú (aktív) terhelésnek* nevezzük. A passzív terhelésként viselkedő bemenetre  $U_H$  feszültség-szintet kapcsolva, az  $I_{beH}$  bemeneti áram "befelé" folyik (2-1. ábra/a) és ezt az áramot a meghajtó kimenetnek kell produkálnia. Ugyanezt a bemenetet  $U_L$  szintre kapcsolva a terhelőáram gyakorlatilag zérus. Az aktív bemenetnél éppen fordított a helyzet: áram a bemenet  $U_L$  szintjének beállításához szükséges és ez az  $I_{beL}$  bemeneti áram "kifelé" folyik (2-1. ábra/b).



2-1. ábra

### 2.1.2 Bemeneti karakterisztika $i_{be} = f(u_{be})$

A logikai áramkörök  $i_{be}$  bemeneti áramát adja meg az  $u_{be}$  bemeneti feszültség függvényében. Ideális esetben a függvény (egy végtelen

nagy bemeneti ellenállást leíró) a vízszintes tengelyen fekvő egyenes. Logikai áramkörökénél ez sajnos nem így van. A függvény egyrészt nem egyenes, másrészt többnyire nem is a tengelyen halad. Ez azt jelenti, hogy a logikai áramkörök bemeneti ellenállása nem állandó, hanem a bemeneti feszültség függvényében változik.

### 2.1.3 Tipikus bemeneti karakterisztika



Az  $i_{be} = f(u_{be})$  függvény áramkör-egyedenként és a hőmérséklettől, tápfeszültségtől függően is más és más görbét ír le. Valójában tehát egy görbesereg megadására lenne szükség. Ehelyett általában a tipikus  $i_{be} = f(u_{be})$  függvényt adják meg az adatlapok. Ez a görbe sok egyed, rögzített környezeti feltételek (hőmérséklet, tápfeszültség, terhelés) mellett felvett  $i_{be} = f(u_{be})$  függvényének átlagolásával áll elő.

### 2.1.4 Bemeneti ellenállás

Az elektronikus eszközök bemenetének terhelő hatását  $R_{be}$  bemeneti ellenállásuk jellemzi. Ha ez az  $U_{be}$  bemeneti feszültségtől függetlenül állandó, akkor az  $R_{be} = U_{be}/I_{be}$  összefüggés alapján lehet értékét meghatározni. Ha viszont az  $I_{be} = f(U_{be})$  függvénykapcsolat nem állandó akkor  $R_{be}$  az  $U_{be}$  feszültség függvényében más és más értéket vesz fel, munkapontfüggő. Értéke ilyenkor az

$$R_{be0} = \left. \frac{du_{be}}{di_{be}} \right|_{U_{be}=U_{be0}}$$



összefüggés alapján meghatározható. Ha  $i_{be} = f(u_{be})$  görbe ismert akkor ennek az  $U_{be0}$  értékhez tartozó érintője éppen az  $1/R_{be0}$  értéket adja meg. (Az  $u_{be}$  és  $i_{be}$  jelölés az idő függvényében változó feszültség- és áramértékeket azonosítja.)

### 2.1.5 Bemeneti áramok határadatai

Sok esetben nincs szükség a teljes  $i_{be} = f(u_{be})$  fv.-re, elegendő annak csupán néhány kulcspontját ismerni:

Az  $L$  állapotú bemeneten átfolyó áram maximális értéke  $I_{bLM} = \max(I_{bL})$

A  $H$  állapotú bemeneten átfolyó áram maximális értéke  $I_{bHM} = \max(I_{bH})$

### 2.1.6 Egységterhelés

Egy áramkör család minden eleme nagyon hasonló áramköri kapcsolásokból épül fel. Ezért, még a nagyon eltérő funkciójú elemek bemenetei is közel azonos felépítésűek. Ennek eredményeként a bemenetek terhelési jellemzői is nagyon közelállóak, egységesnek tekinthetők. Egy ilyen "jellemző bemenet" terhelése az ún. *egységterhelés*. Ha a bemenet  $H$  és  $L$  állapotában nem azonos  $i_{be}$  folyik, akkor a nagyobb abszolút értékűt tekintjük jellemzőnek: pl.  $|I_{bLM}| > |I_{bHM}|$  esetén az  $|I_{bLM}|$  adja az egységterhelés értékét.

Az egységterhelés bevezetésének előnye, hogy ezzel a kimenetek terhelhetősége nagyon egyszerűen megadható és így a hibás működést eredményező túlterhelések nagyon egyszerűen megelőzhetők. (Ha kimenet terhelhetősége 10 egység, akkor csak arra kell ügyelni, hogy a kimenetre maximálisan 10 bemenetet köthetünk.)

## 2.2 Kimeneti jellemzők

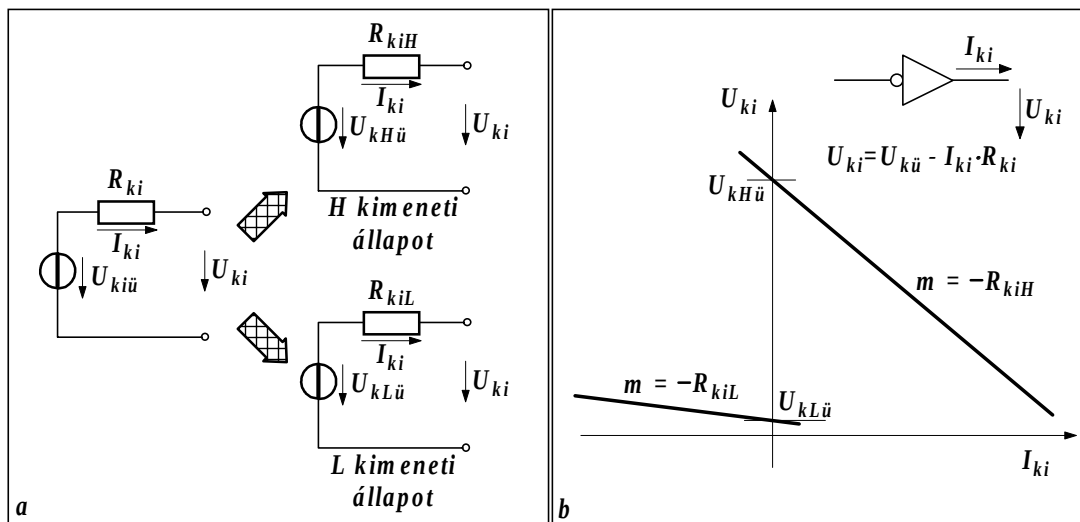
[1] 5.2.

A ma használt áramkör-családok építőelemeinek kimenetei feszültség-generáros jellegűek. Ideális esetben tehát a terheléstől függetlenül állandó értékű kimeneti feszültséget szolgáltatnak. A gyakorlatban viszont, a kapuk  $R_{ki} = \Delta u_{ki} / \Delta i_{ki}$  kimeneti ellenállása nem zérus, így a kimeneti feszültség a kimeneti áram növekedtével változik ( $H$  állapotban csökken,  $L$  állapotban nő).

### 2.2.1 Kimeneti karakterisztika $u_{ki} = f(i_{ki})$



A kimeneti karakterisztika a logikai áramkörök  $u_{ki}$  kimeneti feszültségét adja meg az  $i_{ki}$  kimeneti áram függvényében. Ideális esetben a függvény (egy zérus kimeneti ellenállású és  $U_H$  vagy  $U_L$  kapocsfeszültségű generátort leíró) a vízszintes tengellyel párhuzamos egyenes. Logikai áramköreinknél sajnos ez nem így van.



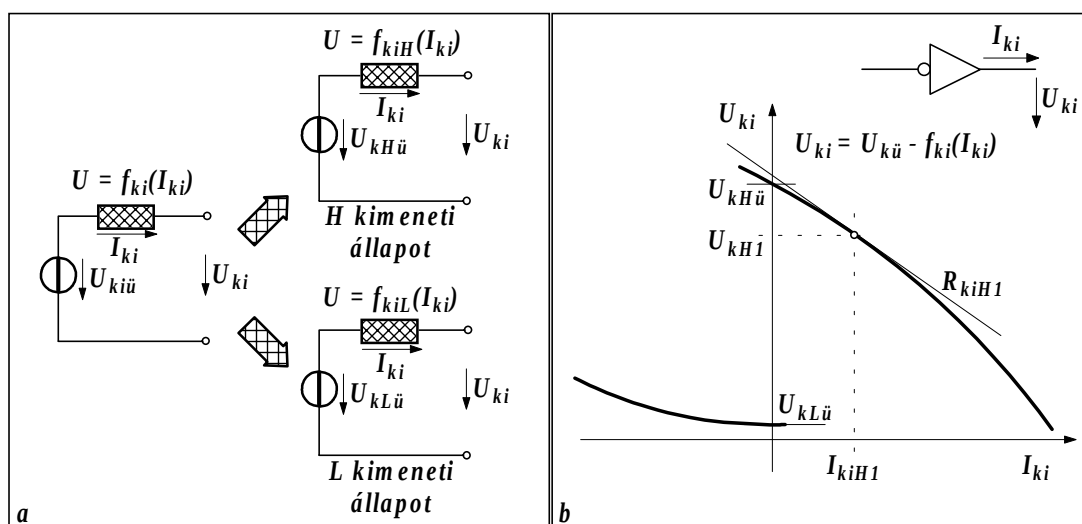
2-2. ábra

A kapuk kimeneteinek villamos helyettesítőképe a 2-2. ábra szerint modellezhető. A modell figyelembe veszi, hogy az  $R_{ki} = \Delta u_{ki} / \Delta i_{ki}$  kimeneti ellenállás értéke egyrészt nem zérus (ezért az  $u_{ki} = f(i_{ki})$  görbe a vízszintes tengellyel sajnos nem párhuzamos), másrészt érvényesíti azt a tényt is miszerint a kimenet  $L$  és  $H$  állapotaiban mérhető  $R_{kiL}$  és  $R_{kiH}$  kimeneti ellenállások általában nem azonos értékűek. Bonyolítja a helyzetet, hogy  $R_{kiH}$  és az  $R_{kiL}$  (a kimeneti kapcsoló tranzisztorok kollektor-emitter vagy source-drain ellenállásai) nem állandó értékek, hanem a kimeneti feszültségtől függően változnak. Ezen nemlineáris viselkedés miatt a kapuk kimeneti modellje további finomításra szorul (2-3. ábra). Mindezen hatások eredményeként a logikai áramkörök

$u_{ki}=f(i_{ki})$  jelleggörbéje nem egyenes, az  $R_{ki}=\Delta u_{ki}/\Delta i_{ki}$  kimeneti ellenállása nem állandó.  $R_{ki}$ -t az

$$R_{ki0} = \left. \frac{du_{ki}}{di_{ki}} \right|_{I_{ki}=I_{ki1}}$$

összefüggés alapján lehet meghatározni. Ez, méréssel felvett  $u_{ki} = f(i_{ki})$  függvény esetén, a görbe  $i_{ki}=i_{ki0}$  pontjához tartozó érintő megszerkesztését jelenti.



2-3. ábra

### 2.2.1.1 Tipikus kimeneti karakterisztika



Az  $u_{ki} = f(i_{ki})$  függvény áramkör-egyedenként és a hőmérséklettől, tápfeszültségtől függően is más és más lefutást mutat. Valójában tehát egy görbesereg megadására lenne szükség. Ehelyett általában a tipikus  $i_{be} = f(u_{be})$  görbét adják meg az adatlapok.

### 2.2.2 Kimeneti áramok határadatai

$I_{kLM}$  az  $L$  állapotú kimeneten átfolyó  $I_{ki}$  áramnak az a maximális értéke amely mellett a kimeneti ellenálláson eső  $U_{ki}=I_{ki} \cdot R_{ki}$  kimeneti feszültség még nem haladja meg a kimenet  $L$  állapotában megengedett  $U_{kLM}$  maximális értéket.

$I_{kHM}$  a  $H$  állapotú kimeneten átfolyó áram azon maximális értéke amely mellett a kimeneti feszültség értéke még nem csökken  $U_{kHm}$  értéke alá..

### 2.2.3 Egységterhelhetőség (Fan-out)

A logikai áramkörökből történő egyszerű építkezés érdekében a kimenetek terhelhetőségét (a CMOS áramkörök kivételével) egységterhelésben is megadják. Az *egységterhelhetőség* azt mondja meg, hogy az áramkör családra jellemző bemenetből hányat lehet a kimenetre kapcsolni. Ez a szám a szórásokat és azt is figyelembe veszi, hogy a bemenetek által mutatott terhelés nem azonos a bemenet  $H$  és  $L$

állapotában:  $\text{Fan-out}_H = I_{kHM}/I_{bHM}$  ,  $\text{Fan-out}_L = I_{kLM}/I_{bLM}$  A fenti két érték közül a kisebb lesz a jellemző egységterhelhetőségi szám.

## 2.3 Speciális kialakítások

Az eddigiekben a "normál", a tipikus be- és kimenetekről szoltunk. A gyakorlatban sokszor van szükség speciális be- ill. kimeneti kialakításokra, a normál megoldások módosítására, kiegészítésére.

### 2.3.1 A bemenetek kiegészítő áramkörei



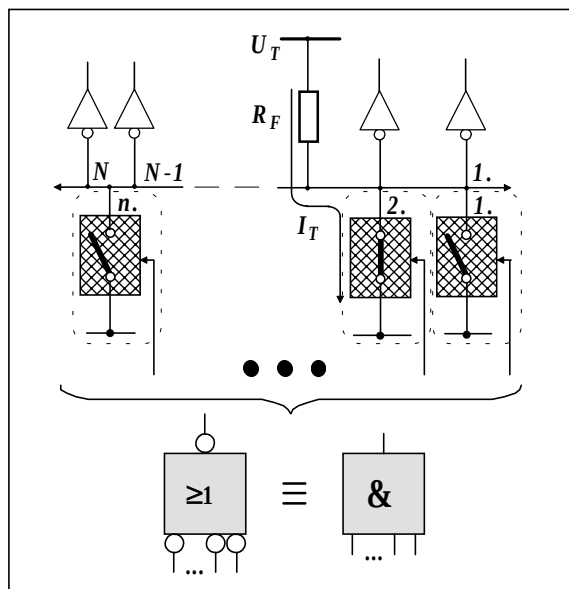
Minden család esetén védőáramkörök biztosítják, hogy a megengedett feszültségtartományt meghaladó, az áramkör meghibásodását okozó feszültség ne alakulhasson ki a bemeneteken. A háromállapotú kimenetekkel meghajtott kommunikációs vonalak esetén gyakran előfordul, hogy a vonalak "lebegő" állapotba kerülnek. Ilyenkor a bemeneteken a  $H$  és az  $L$  szintek közötti feszültségek is kialakulhatnak, amelyek működési zavarokat és többlet teljesítmény-felvételt okoznak. Ezek megakadályozására a korszerű áramkör családok egy része olyan kiegészítő áramköröket alkalmaz amelyek lebegő állapot esetén megtartják az utolsó logikai szint értékét.

### 2.3.2 Speciális kimenetek

[1] 5.2.1.

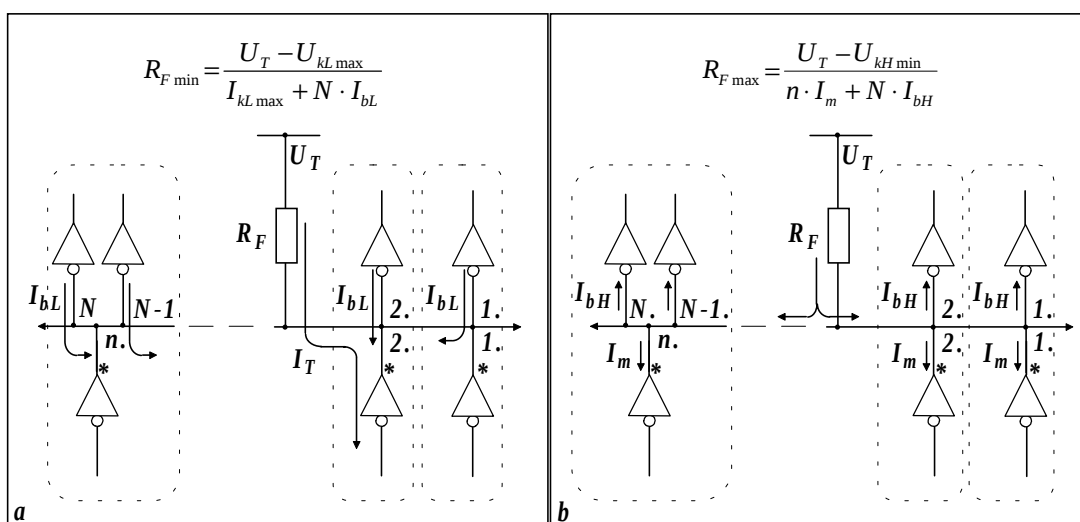
Elsősorban a részegységek közötti kommunikációs infrastruktúra kialakítását teszik egyszerűen megvalósíthatókká a nyitott-kollektoros és a három-állapotú kimenetek.

#### 2.3.2.1 Nyitott kolektoros kimenet



2-4. ábra

Ennél a megoldásnál a logikai áramkör kimeneti fokozata egyetlen olyan kapcsolóból áll amelynek az egyik sarka földelt, a másik pedig szabadon felhasználható. (Innen ered az elnevezés.) Több ilyen kimenet egyetlen ellenállással való összekapcsolása olyan működést produkál (2-4. ábra) amelynél az összekötő vezeték földpotenciálra kerül ha bármely kapcsoló zárt. Ha viszont a kapcsolók mindegyike szakadt állapotú, akkor a vezeték az  $R_F$  felhúzó-ellenállás  $U_T$  szintre állítja. Ez a fizikai működés negatív logikai szerint VAGY kapcsolat, pozitív logika szerint ÉS kapcsolat megvalósítására ad módot. Az ilyen, huzalozott logika hátránya a lassú működés. A kimenet  $L$  szintbe állítása ugyan gyors, mivel a kapcsolókat megvalósító tranzisztorok bekapcsolási ellenállása kicsi, de kikapcsoláskor már az  $R_F$  a

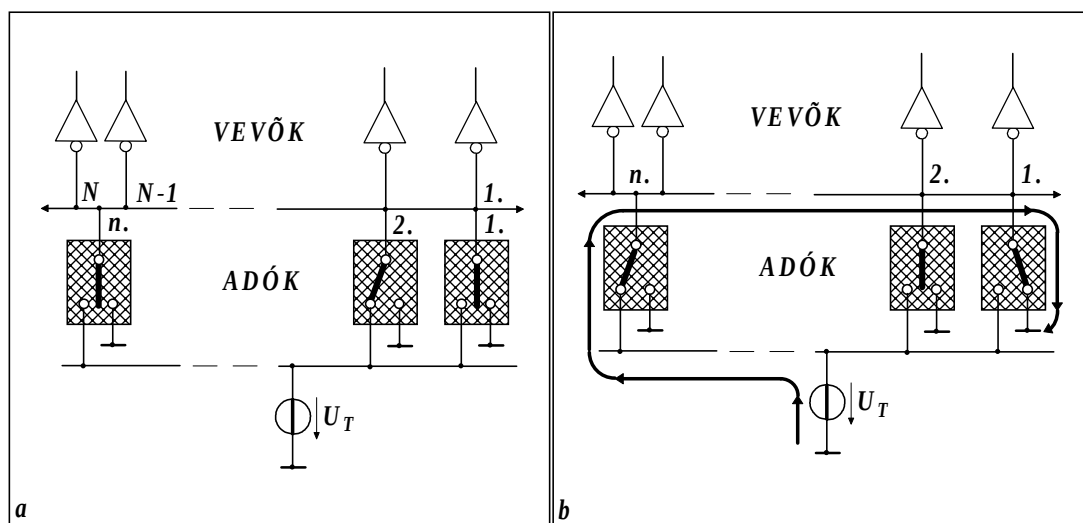


**2-5. ábra**

meghatározó. Az  $R_F$  ellenállás minimális értékét a vezetéket  $L$  szintre húzó (vezető) tranzisztor  $I_{kL \max}$  maximális árama korlátozza.  $R_{fmin}$  a 2-5. ábra/a szerint meghatározható. Az  $R_{fmax}$  értéket a szakadt kapcsolók  $I_m$  szivárgási árama és a  $H$  szinten lévő bemenetek  $I_{bH}$  árama korlátozza, értéke a 2-5. ábra/b szerint számítható. A ténylegesen beépített  $R_F$  a két szélső érték közötti értékű.

### 2.3.2.2 Három-állapotú kimenet

A digitális rendszerek belső kommunikációja osztottan használt (busz) vonalakra épül. Itt az éppen aktív kivételével az adók nagyimpedanciás állapotot vesznek fel, lekapcsolódnak a vonalról (8-6. ábra/a). Ez nyitott kollektorú kimenetekkel is megvalósítható de (a már említett okok miatt) lassabb. A három-állapotú kimenet a  $H$  és az  $L$  szinteket egyaránt kis ellenállással kényszeríti a vonalra, ezért még hosszú, terhelt vonalakat is kezelni tud. A vonalra kapcsolódást nagyon precízen kell megszervezni. Ha egyszerre több adó aktív, köztük olyan nagy áram állhat elő a (8-6. ábra/b) amely meghibásodást okozhat



**2-6. ábra**



## 2.4 Ellenőrző kérdések

- E8.1. Mi jellemezné az ideális logikai áramkör bemeneteket, miért lenne az jó?
- E8.2. Mi jellemezné az ideális logikai áramkör kimeneteket, miért lenne az jó?
- E8.3. Mi jellemzi a tényleges logikai áramkörök be- és kimeneteit?
- E8.4. Milyen nemkívánatos kölcsönhatások léphetnek fel a logikai áramkörök nem ideális be- és kimeneti jellemzőinek eredményeként?
- E8.5. Mi jellemzi az aktív ill. a passzív típusú bemeneteket?
- E8.6. Hogyan lehetséges méréssel meghatározni, hogy milyen típusú bemenete van egy logikai áramkörnek (rajzzal illusztrálja válaszát)?
- E8.7. Miért célszerű megkülönböztetni az aktív és a passzív típusú bemeneteket?
- E8.8. Milyen irányú áram folyik az aktív és a passzív bemenetek  $H$  ill.  $L$  szintre kapcsolásakor?
- E8.9. Mi jellemzi a logikai áramkörök ideális és valódi  $I_{be}=f(U_{be})$  jelleggörbéit?
- E8.10. Mit ad meg a tipikus bemeneti karakterisztika?
- E8.11. Hogyan határozható meg az  $R_{be}$  bemeneti ellenállás ha az feszültségfüggetlen?
- E8.12. Hogyan, milyen összefüggés alapján és milyen módszerrel határozható meg az  $R_{be}$  bemeneti ellenállás ha az feszültségfüggő?
- E8.13. Mit írnak le a bemeneti áramok határadatai, miért előnyös a használatuk?
- E8.14. Mit értünk az egységterhelés fogalmán, mitől függ ennek az értéke?
- E8.15. Mit értünk az egységterhelhetőség fogalmán, mitől függ ennek az értéke?
- E8.16. Mi jellemezné az ideális logikai áramkör-kimeneteket, miért lenne az jó?
- E8.17. Milyen villamos helyettesítőképpel írható le a logikai áramkörök kimenete?
- E8.18. Mit ír le és milyen az ideális és a valódi kimeneti karakterisztika?
- E8.19. Miért áll két görbéből a kimeneti karakterisztika?
- E8.20. Mutassa be a lineáris és a nemlineáris kimeneti karakterisztikákat.
- E8.21. Mit ír le a tipikus kimeneti karakterisztika?
- E8.22. Mit írnak le a kimeneti áramok határadatai, miért előnyös a használatuk?
- E8.23. Hogyan határozható meg az  $R_{ki}$  kimeneti ellenállás ha az feszültségfüggetlen?
- E8.24. Hogyan határozza meg  $R_{ki}$  kimeneti áramtól függő értékét (válaszát rajzzal illusztrálja)?
- E8.25. Mire szolgálnak a bemeneti kiegészítő áramkörök?
- E8.26. Hogyan működik és mire jó a nyitott kollektorú kimenet?
- E8.27. Ismertesse a nyitott kollektorú kimenet  $R_f$  felhúzó ellenállásának szélső értékeit meghatározó tényezőket.
- E8.28. Mire szolgál és hogyan működik a három-állapotú kimenet?

### 3. SEBESSÉG-JELLEMZŐK

*A sebesség-jellemzők a digitális rendszerek kulcsparaméterei. Az állandóan növekvő elvárások soha sem kielégíthetők. A minél magasabb sebesség eléréséért folytatott harc folyamatos. A nagysebességű logikai áramkörök használata azonban nem csak előnyöket hanem problémákat is jelent. Minél gyorsabb áramköröket használunk annál precízebb tervezésre és megvalósításra van szükség. A legnagyobb gondot a sebességgel együtt növekvő teljesítményfelvétel és hőtermelés, a belső működésre és a külvilágra gyakorolt zavaró hatások emelkedése okozza.*



**Célkitűzés:** A fejezet bemutatja, hogy milyen tényezők korlátozzák az elérhető sebességet, mi a következménye a gyors kapcsolási folyamatoknak, mik a legfontosabb sebességjellemzők. Az itt leírtak feldolgozásának eredményeként az olvasó megismeri:

- A logikai áramkörök átkapcsolási folyamatainak fontosabb korlátozó tényezőit.
- A kapukat terhelő kapacitások hatásait.
- A működési sebességet jellemző átkapcsolási idők definícióit, mérésük lehetőségeit a mérés gyakorlati nehézségeit.
- A jelterjedési idő definícióját, mérésének lehetőségeit a mérés gyakorlati nehézségeit.
- A jelterjedési idő szintfüggő és szintfüggetlen mérésének sajátosságait, az egyes módszerekkel kapott eredmények közötti kapcsolatot.
- Miért nem lehet a digitális rendszereken belül kialakuló sebesség-jellemzőket az építőelemek egyedi vizsgálatával meghatározni.
- A sebességjellemzők egységugrás alakú bemeneti jellel történő mérésének előnyeit és hátrányát, a realisabb eredményt szolgáltatató mérés lehetőségét.
- A jelterjedési idő és az átkapcsolási idők közötti harmonikus összhang lényegét és alkalmazástechnikai jelentőségét.
- A gyors működéssel együttjáró fokozott teljesítményfelvétel kiváltó okait.
- A sebességjellemzők természetes körülmények közötti mérésének módját.
- A nagysebességű átkapcsolások és a jelek spektruma közötti kapcsolatot, az ebből adódó következményeket.
- A nagysebességű átkapcsolások miatt fellépő zavaróhatásokat.
- A vezetékszakaszokon megvalósuló jeltovábbítás folyamatát, a vezetékszakaszok meghatározó tényezővé válásának okait és következményeit.
- A digitális jelátvitel reflexiós jelenségeit, az ezáltal fellépő jeltorzulások megelőzésének módját.

### 3.1 Általános jellemzők

[1] 5.1.3.

A kapuhálózatok dinamikus tulajdonságai alapjellemzők. Még akkor is ismernünk kell ezeket ha nem tervezőként hanem felhasználóként kerülünk kapcsolatba a korszerű digitális rendszerekkel. A nagysebességű működés korlátaival és veszélyforrásaival minden nap találkozunk. A digitális rendszerek eredő működési sebességét elsődlegesen a kapuk jelterjedési ideje határozza meg. A sebességgel kapcsolatos mindennapi problémák zöme viszont a kapuk egyre rövidebb átkapcsolási idejéhez kötődik. A gyors átkapcsolások ugyanis számos "misztikus" hiba forrásává válhatnak. Természetesen szó sincs semmiféle titokról, nagyon is egyértelmű fizikai jelenségek azok amelyek e hibákat előidézik. Egyedül az okoz némi nehézséget, hogy ezek megértéséhez a napi tapasztalatainkra épülő hagyományos áramköri szemléletmódot ki kell egészíteni a nagyon gyors átkapcsolási folyamatok nyomonkövetését és megértését biztosítóval. Külön is szólni kell a digitális áramköröket összekötő vezetékszakaszokról. Ezek szerepe a késleltetési és az átkapcsolás jellemzők szempontjából egyaránt meghatározó.

#### 3.1.1 A kapacitások szerepe

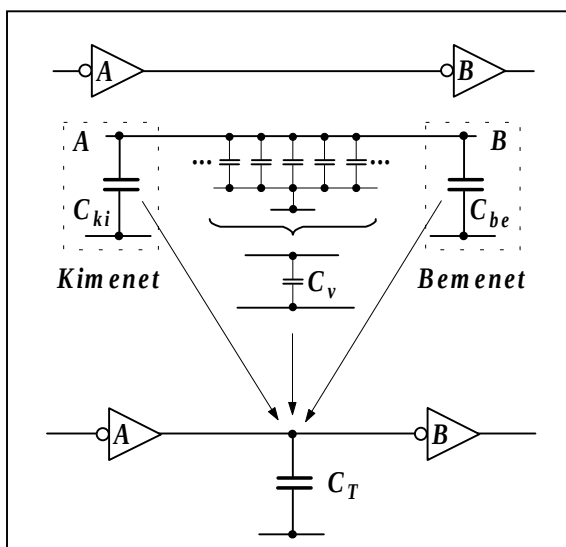


A sebességjellemzők értéke erősen függ a kimenet és a jelföld között ható  $C_T$  terhelő kapacitástól amely három komponens eredőjeként áll elő (3-1. ábra). A kimenet saját  $C_K$  kapacitása, a jeltovábbító vezeték és a jelföld közötti  $C_V$  kapacitás és a vezetékszakasz végén lévő bemenet(ek)  $C_B$  kapacitása párhuzamosan kapcsolódik. Az így előálló

$$C_T = C_K + C_V + C_B$$

eredő terhelőkapacitás töltését minden átkapcsoláskor változtatni kell. Az  $U_L$  szintről  $U_H$ -ra kapcsoláskor fel kell tölteni, az  $U_H$  szintről  $U_L$ -be kapcsoláskor pedig ki kell sütni azt. Az átkapcsolások mindegyike

$\Delta U = U_H - U_L$  ill.  $\Delta U = U_L - U_H$  feszültségváltozást jelent. Ezek csak  $C_T$  töltésének  $\Delta Q = C_T \Delta U$  változtatásával hozhatók létre.



3-1. ábra

A gyors működés gyors átkapcsolást, a gyors átkapcsolás gyors áttöltést, utóbbi pedig nagy energiát igényel. A zérus áttöltési idő (egységugrás alakú átmenet) végtelen nagy energiát igényel! Áramkörünk viszont csak korlátozott energia átadására képesek, így az átkapcsolások  $\Delta t$  ideje nem lehet zérus értékű.

Az  $L \rightarrow H$  átmenethez szükséges



$\Delta Q = I_T \cdot \Delta t$  töltés a logikai áramkörön keresztül a tápegységből jut a terhelő kapacitásba. Ez a  $C_T$  -be juttatott energia azután a  $H \rightarrow L$  átmenethez tartozó kisütéskor a kimeneti tranzisztorok ellenállásain hővé alakul. Mindezek határozottan jelzik, hogy a digitális rendszerek átkapcsolási gyakorisága és teljesítményfelvétele (ezzel arányban hőtermelése) szoros kapcsolatban állnak egymással.

### 3.2 Jelterjedési (késleltetési) idő $t_{pd}$

[1] 5.1.3.2.

A kapuk és az ezekből felépített összetett kapuhálózatok működési sebességét elsődlegesen a jelterjedési idő jellemzi. Ez a bemeneti jelváltás és az általa kikényszerített kimeneti átkapcsolás között eltelt időintervallum. Megmutatja, hogy az áramkör bemenetén fellépő hatásra a kimenet mekkora késleltetéssel reagál. A **hatás** a bemenet állapotának megváltozása, az erre adott **válasz** a kimenet állapotváltása.

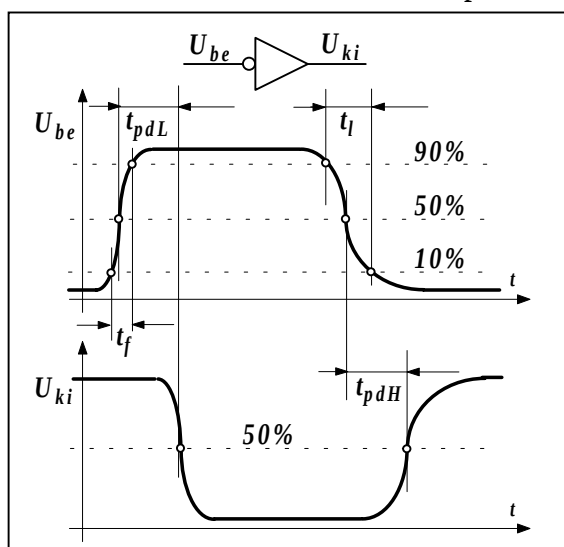


Ezek bekövetkezése minkét oldalon az  $U_K$  küszöbfeszültség eléréséhez kötődik. Ha a bemeneti feszültségváltozás a küszöbfeszültséget a  $t_b$  időpontban éri el akkor a bemenet állapotváltása ehhez a  $t_b$  időponthoz rendelhető. Ugyanez igaz a kimenet esetén is: Ha a bemenet hatására elindult kimeneti feszültségváltozás a  $t_k$  pillanatban éri el  $U_K$ -t, a kimenet átkapcsolása ebben az időpontban áll elő. Így a jelterjedési idő mérése a  $t_{pd} = t_k - t_b$  időintervallum meghatározását jelenti (3-2. ábra).

Gyakori, hogy a  $t_{pd}$ -t nem az előbbiek szerint mérik, hanem az impulzustechnikában szokásos módon a be- és kimeneti jelváltások 50% -os értékei közötti időintervallumot (3-2. ábra) határozzák meg. Erre az ad alapot, hogy az áramkör-családok jelentős részénél az  $U_K$  küszöbfeszültség értéke gyakorlatilag megegyezik a jelváltások 50% -os amplitúdó-értékével. Ha ez nem áll fenn, akkor az eredeti definíció szerinti módszert kell követni!

#### 3.2.1 Felfutási és lefutási késleltetés $t_{pdH}$ , $t_{pdL}$

A kimenet  $L \rightarrow H$  állapotváltásához tartozó  $t_{pdH}$  rendszerint nem egyezik



meg a kimenet ellenkező irányú,  $H \rightarrow L$  átkapcsolásához tartozó  $t_{pdL}$  értékkel. Ilyenkor külön-külön kell meghatározni az ellentétes irányú állapotváltásokhoz tartozó  $t_{pd}$  értéket.

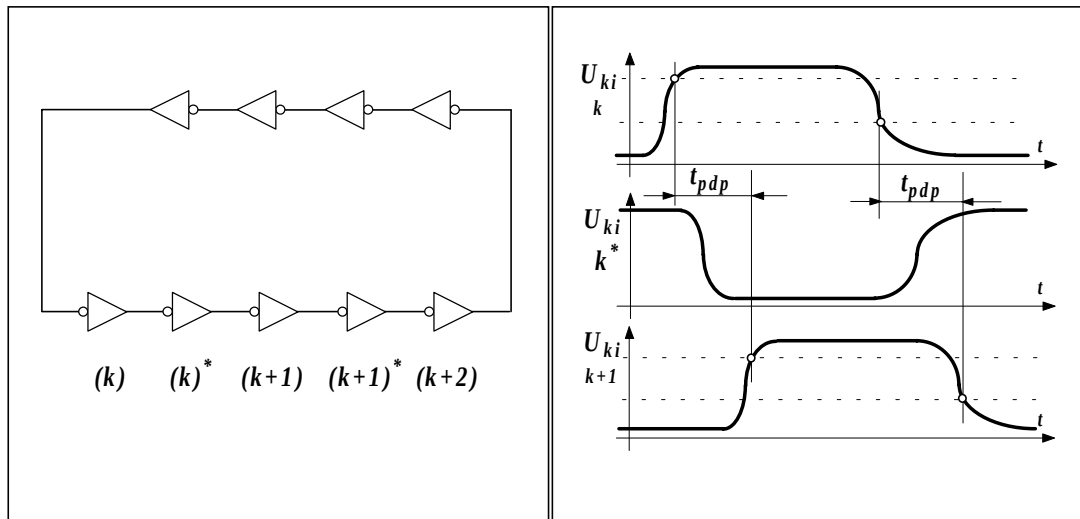
#### 3.2.2 Átlagos késleltetés $t_{pdHL}$

A családok működési sebességének jellemzésére sokszor a  $t_{pdH}$  és a  $t_{pdL}$  értékek

$$t_{pd} = \frac{t_{pdL} + t_{pdH}}{2}$$

számtani közepét használják.

3-2. ábra



3-3. ábra

### 3.2.3 Párkésleltetés $t_{pdp}$ (szintfüggetlen mérés)



A késleltetési idő mérésének feszültségshoz kötése nehezíti a mérést és hibák forrása lehet. Ezért gyakori, hogy a mérést egy páratlan számú inverzből kialakított invertergyűrűn (3-3. ábra) mérjük. Ezt úgy hozzuk létre, hogy a páratlan számú inverterből álló lánc utolsó kimenetét összekötjük a lánc bemenetével. Így olyan hálózat áll elő amelynek nincs stabil állapota. A láncok kimenetei folyamatosan az egyik állapotból a másikba kapcsolnak, a lánc rezgésbe jön. (A kapcsolást gyűrűs oszcillátornak is nevezzük.) A gyűrű minden páros ill. páratlan sorszámú inverterének kimenetén azonos jelalak áll elő. Ezek az egymástól két inverternyi távolságban előálló jelalakok csak a közbezárt inverterpár által meghatározott  $t_{pdp}$  értékű késleltetéssel térnek el egymástól. A  $t_{pdp}$  **pár-késleltetés** mérését nem kell szinthez kötni, hiszen két azonos irányban változó, azonos formájú jelről van szó. Ezek bármely két azonos fázishelyzetű pontja között ugyanakkora (éppen  $t_{pdp}$  értékű) késleltetést mérhetünk (3-3. ábra). Az ebből egy inverterre visszaszámított jelterjedési idő:

$$t_{pd} = \frac{t_{pdp}}{2}$$

A (3-3. ábra) alapján belátható, hogy  $t_{pdH} + t_{pdL} = t_{pdp}$ . Ezt korábbi összefüggésünkbe helyettesítve a szintfüggő és a szintfüggetlen jelterjedési idők között a

$$t_{pd} = \frac{t_{pdp}}{2} = \frac{t_{pdL} + t_{pdH}}{2}$$

összefüggést kapjuk a.

### 3.3 Átkapcsolási (lefutási és felfutási) idők $t_f$ , $t_l$

Az átkapcsolási idő az az időintervallum amely alatt egy logikai áramkör kimenete az egyik stabil állapotból kiindulva eljut a másik

stabil állapotba. Ideális esetben ez egységugrásszerűen, végtelen rövid idő alatt játszódik le. Áramkörünk nem zérus átkapcsolási ideje annak a következménye, hogy csak véges jelváltozási sebességet képesek produkálni. Ennek fizikai okát már e fejezet bevezetőjében is említettük: a jelszintváltozások energiatárolók töltésével és kisütésével járnak.



A rövid átkapcsolási idő nem feltétlenül előny! A jelterjedési időhöz képest nagyon rövid átkapcsolási idő a rendszer működését nem teszi gyorsabbá (a rendszer időzítését a kapuk jelterjedési ideje határozza meg), viszont számos gyakorlati hátránnyal jár: az alig néhányszor 10cm-es összekötő vezetékek megszűnnek egyszerű vezetékeként viselkedni, topológiájukat szigorúan tervezni kell, fellép a reflexió jelensége, a jelek nagyon magas (több 100Mhz-es) felharmonikus tartalma komoly zavaróhatást eredményez a rendszeren belül és azon kívül is, csak speciális csatlakozókat lehet használni

Az azonos jelterjedési idejű áramkör-családok közül egyértelműen a hosszabb átkapcsolási idejű az egyszerűbben és olcsóbban használható.

Ez a magyarázata, hogy a nagysebességű áramkör-családok különös gondot fordítanak a le- és felfutási idők kézben tartására. A korszerű családok külön átkapcsolási sebesség szabályozó áramkörök beépítésével igyekeznek a kapuk időzítési jellemzőit stabilizálni és a legelőnyösebb értékekre beállítani.

### 3.3.1 Az átkapcsolás kezdő- és végpontjai



Az átkapcsolási idő definiálásának és mérésének alapproblémája, hogy nehéz a jelváltás kezdő és végpontjainak kijelölése. Az átkapcsolási folyamat ugyanis általában zérus sebességről indul, folyamatosan növekedve eléri egy maximális értéket, majd sebessége fokozatosan ismét zérus értékre csökken (3-2. ábra). Ilyen módon nem egyértelmű, hogy hol indul és hol végződik egy átkapcsolás. A mindenki számára azonos tartalmú és reprodukálható mérés érdekében az átkapcsolás kezdő- és végpontját a szintváltozás valamilyen egyszerűen és pontosan azonosítható pontpárjához kell rendelni. A leggyakrabban alkalmazott megoldásnál a kapcsolási folyamat kezdetét a feszültségváltozást leíró időfüggvény azon  $t_1$  időpontjához rendeljük ahol az eléri a teljes  $\Delta U = U_H - U_L$  szintváltozás 10 %-át (3-2. ábra). Az átkapcsolást pedig ott tekintjük befejezettnek ahol az eléri a teljes  $\Delta U$  változás 90%-át. (3-2. ábra). E definíció erőssége az egyszerűsége. Gyenge oldala viszont, hogy az átkapcsolási folyamat kezdeti és befejező szakaszán gyakori lengések és a zavarójelek könnyen meghamisítják a mérést. Ennek megelőzése érdekében (zajos környezetben) a kezdő és végpontokat a  $\Delta U$  változás 20%-os ill. 80%-os amplitúdóihoz rendeljük.



### 3.3.2 Fel- és lefutási idő $t_{f\ 10-90}$ , $t_{l\ 10-90}$

A *felfutási idő* az egységugrás bemeneti jelre adott válaszzel 10%-a és 90%-a közötti szakasz befutásához szükséges idő. Ez a kimeneti *L-H* átmenet minősítésének egyik legelterjedtebb módja (3-2. ábra).

A *lefutási idő* az egységugrás bemeneti jelre adott válaszzel 10%-a és 90%-a közötti szakasz befutásához szükséges idő. Ez a kimeneti *H-L* átmenet minősítésének egyik legelterjedtebb módja (3-2. ábra).

A  $t_k$  *kapcsolási időt* a  $t_f \approx t_l$  esetben használjuk:  $t_k = t_f \approx t_l$

### 3.3.3 A bemeneti feszültségváltozás átkapcsolási időre gyakorolt hatása



Az inverterek kimeneti feszültségváltozását bemeneti feszültségük megváltozása okozza. Ideális áramkör esetén ha a bemeneti feszültség eléri a küszöbfeszültség értékét akkor a kimenet (attól függetlenül, hogy  $U_{be}$  milyen sebességgel érte el  $U_K$ -t) az áramkörre jellemző legnagyobb sebességgel állapotot vált. Valódi áramköreink (sajnos) nem ezt teszik. A kimeneti jel átkapcsolási sebessége erősen függ attól, hogy  $U_{be}$  mekkora sebességgel éri el a küszöbfeszültséget. Ezért az átkapcsolási idők mérésénél mindig meg kell adni, a mért érték milyen sebességű bemeneti jelváltozáshoz tartozik. A vizsgálatokhoz általában egységugrás jelet alkalmazunk. Ennek előnye, hogy a mérések könnyen reprodukálhatók, a mért értékek egymással jól összehasonlíthatók. Van azonban egy hibájuk: Az összetett digitális rendszerekben mérhető átkapcsolási idők és átkapcsolási sebességek nem egyeznek meg a fenti módon mért értékekkel, mivel a rendszerekben a bemeneteket nem ideális feszültségugrások hanem kapukimenetek jelei mozgatják!

## 3.4 Összetett rendszerek belső dinamikus kölcsönhatásai



Az inverterlánc (mint kapuhálózati modell) a dinamikus kölcsönhatások funkciófüggetlen vizsgálatára is módot ad, és ezzel lehetővé teszi az összetett rendszereken belüli, tényleges körülmények közötti átkapcsolási idők meghatározását. A lánc elején egységugrással elindított állapotváltási folyamat ugyanis úgy halad végig az invertereken, ahogyan az élükre állított dominósor első elemének feldöntésével kezdetét vevő felborulási hullám a dominósoron: Elegendően hosszú lánc esetén az első bemenettől távolabb lévő inverterek fel- és lefutó jeleinek alakja függetlenné válik a bemeneti változás sebességétől! A keresett, csak az inverterek jellemzőitől függő átkapcsolási idők meghatározásához végtelen hosszú láncra van szükség. Ez a gyakorlatban kisszámú inverterből kialakítható gyűrűs oszcillátorral jól modellezhető. A gyűrűs oszcillátor ugyanis olyan jelalakokat állít elő amelyek kizárólag csak az inverterek tulajdonságaitól függenek. (A gyűrű berezgését követően a körbefutó jelek alakját már csak a gyűrűt alkotó inverterek formálják.)



### 3.5 Ellenőrző kérdések

- E9.1. Milyen okok miatt kulcsparaméterek a sebességjellemzők?
- E9.2. Sorolja fel, milyen hátrányos következményekkel jár a működés gyorsítása?
- E9.3. Milyen szerepe van az áramkörök és az azokat összekötő vezetőszakaszok kapacitásainak a sebességet meghatározó tényezők között?
- E9.4. Milyen kapacitások vesznek részt a sebesség-jellemzőket meghatározó eredő  $C$  kapacitás kialakításában?
- E9.5. Milyen fizikai folyamat, milyen módon korlátozza az átkapcsolások sebességét?
- E9.6. Mit értünk jelterjedési késleltetési időn, hogyan lehet ezt mérni?
- E9.7. Milyen szerepe van az  $U_K$  küszöb feszültségnek a jelterjedési idő definiálásában?
- E9.8. Miért kötjük a jelterjedési idő mérését az  $U_K$  értékhez, miért logikus ez?
- E9.9. Miért van szükség az átlagos késleltetés specifikálására?
- E9.10. Mikor lehet a késleltetés mérését az 50%-os pontok alapján elvégezni?
- E9.11. Hogyan lehet a jelterjedési idő szintfüggetlen mérését megvalósítani?
- E9.12. Mi az a párkésleltetés, hogyan mérjük, milyen összefüggésben áll ez az egyéb késleltetési jellemzőkkel?
- E9.13. Hogyan definiáljuk a le- és felfutási időket?
- E9.14. Miért okoz gondot a le- és felfutási idők mérése, mi a megoldás?
- E9.15. Milyen veszélyei vannak a 10%-90% módszernek, mi a megoldás?
- E9.16. Milyen összhangban kell állni a jelterjedési időnek és az átkapcsolási időnek?
- E9.17. Milyen következményei vannak a nem optimálisan összehangolt jelterjedési-késleltetés és átkapcsolási-jellemzőknek?
- E9.18. Az azonos késleltetésű áramkör-családok közül a gyorsabb vagy a lassabb átkapcsolási idejűt használná (indokolja választát)?
- E9.19. Milyen hatása van a kimenet le- és felfutási idejére a bemeneti jelváltásnak?
- E9.20. Milyen előnye és hátrányos következménye van az átkapcsolási idők mérésénél az egységugrás alakú bemeneti jel alkalmazásának?
- E9.21. Hogyan lehet a logikai áramkörök sebességjellemzőit úgy mérni, hogy bemeneti jelük sebessége éppen az általuk előállítható maximális sebességgel legyen megegyező?
- E9.1 Miért van szükség az összetett digitális rendszerek funkciófüggetlen modelljére a dinamikus jellemzők vizsgálatakor?
- E9.2 Milyen inverterláncot és hogyan modellez a gyűrűs kapcsolás.
- E9.3 Hogyan állnak elő a gyűrűs lánc alkalmazásával azok a feltételek amelyekkel a dinamikus jellemzőknek csak a logikai áramkörök által meghatározott értékei vizsgálhatók?

## 4. A TELJESÍTMÉNYFELVÉTEL JELLEMZŐI

*A digitális rendszerek teljesítményfelvételi jellemzői az érdeklődés abszolút középpontjában vannak. A tervezés minden szintjén komoly optimalizálás folyik az alacsony fogyasztású rendszerek kidolgozása érdekében. Ennek egyik könyörtelen kényszerítője az egyetlen szilíciumlapkán megvalósított, egyre bonyolultabb és egyre magasabb órajelfrekvencián üzemelő áramkörök folyamatosan növekvő teljesítményfelvétele, ami arányosan növekvő hőtermelést produkál. Ennek a hőnek az elvezetése az egyik legnehezebben megoldható feladat. De nem kevésbé erős szorítást képviselnek az akkumulátoros üzemű berendezések sem. Itt a legnagyobb hajtóerőt az akkumulátorok nagyon alacsony és csak igen lassan javuló térfogategység/Watt-óra kapacitása jelenti. A teljesítményjellemzők tehát egyértelműen kulcs-paraméterek.*



**Célkitűzés:** A fejezet átfogó képet ad a digitális rendszerek teljesítményfelvételét meghatározó tényezőkről és folyamatokról, arról, hogy a teljesítményfelvételt nem lehet egyetlen számmal jellemezni, csak a sztatikus és dinamikus komponensek együttese ad reális tájékoztatást. Az itt leírtak feldolgozásának eredményeként az olvasó megismeri:

- Mit értünk a sztatikus és a dinamikus teljesítményfelvétel fogalmán.
- A sztatikus teljesítményfelvétel meghatározóit.
- A dinamikus teljesítmény-felvétel lényegét és folyamatát.
- Milyen komponensekből áll a sztatikus teljesítményfelvétel.
- Milyen tényezőktől függ a sztatikus és a dinamikus teljesítményfelvétel mértéke.
- Milyen komponensekből áll a dinamikus teljesítményfelvétel.
- Az ellenütemű kimenet dinamikus terhelő- és zavaró-hatását.
- Hol és milyen módon alakul hővé a dinamikus felvett teljesítmény.
- Hogyan kell értelmezni a tipikus teljesítményfelvételt, milyen összefüggésben áll ez a tipikus tápáram-felvétel specifikációval.
- Mikor kell figyelembe venni a kimeneti fokozat disszipációját.
- Miért csökkentik a gyártók a logikai áramkörök tápfeszültség értékét.
- Miért általános törekvés a logikai áramkör-családok jelszint-tartományának csökkentése.
- Mik a leggyakrabban alkalmazott teljesítményfelvételt csökkentő megoldások, milyen módon fejtik ki ezek hatásukat.
- Mit értünk a teljesítményfelvétel-jelterjedés szorzaton, milyen fizikai tartalom rendelhető ehhez, milyen gyakorlati szerepe van, hogyan képes azt betölteni.

## 4.1 A teljesítményfelvétel összetevői



A logikai áramkörök üzemeltetése energiát igényel, amit a tápegység biztosít. Az ebből felvett energia döntően két célt szolgál. Egyrészt a digitális rendszer állapotváltásaihoz szükséges (a 0. fejezetben ismertetett)  $P_{Dd}$  munkát fedezi, másrészt a váltások közötti aktuális állapot fenntartásának  $P_{Ds}$  hőveszteségét pótolja:  $P_D = P_{Ds} + P_{Dd}$ . Előbbi dinamikus utóbbit pedig sztatikus teljesítményfelvételnek nevezzük.

Az állapotát ritkán változtató digitális rendszer (pl. digitális óra) teljesítményigényét döntően az alkalmazott logikai áramkör család sztatikus teljesítményfelvétele határozza meg. Az állapotait nagyon rövid időközönként megváltoztató rendszernél (pl. magas frekvenciájú órajellel ütemezett számítógép esetén) a dinamikus teljesítményfelvétel dominál. A két teljesítmény viszonya az alkalmazott áramkör családtól függ. A nagy  $P_{Ds}$  sztatikus teljesítményfelvételű áramkör-családoknál is van  $P_{Dd}$  dinamikus teljesítményfelvétel de ezt az alacsonyabb frekvenciákon  $P_{Ds}$  elfedi. A kapcsolási frekvencia növekedtével azonban  $P_{Dd}$  egyre határozottabban jelentkezik.

A logikai áramkörök teljesítményfelvétele csak közvetetten áll kapcsolatban a gyártók adatlapjain szereplő tipikus tápáram- és tipikus teljesítményfelvétel (disszipáció) értékekkel. Ez utóbbi legtöbbször egyszerűen figyelmen kívül hagyja a nagy átkapcsolási gyakoriság miatt előálló többlet tápfelvételt és ugyanígy nem számol a fokozott terhelés miatt előálló járulékos teljesítményigénnyel sem. E hatások miatt nagyon gyakori, hogy a tényleges tápáram-felvétel messze meghaladja a specifikációban megadott tipikus értéket.

## 4.2 Szatikus teljesítményfelvétel



A logikai áramkörök nyugalmi állapotának fenntartásához energia szükséges. (Ennek mértéke a lehetséges két állapot esetén nem feltétlenül azonos.) Egy nyugalomban lévő, terhelés nélküli logikai áramkör sztatikus teljesítményfelvételét az áramkör belső ellenállásain hővé alakuló energia mennyisége határozza meg. Ha minden ellenálláson ismerjük az ott átfolyó  $I$  áram és az ennek hatására az ellenálláson eső  $U$  feszültség értékét, akkor az ellenállásonkénti  $P_i = U_i \cdot I_i$  szorzatok  $P_{Ds} = P_1 + P_2 + \dots + P_i$  összege adja az áramkör teljes sztatikus teljesítményfelvételét. Mivel a logikai áramkörök egyforma valószínűséggel vannak akár egyik akár a másik állapotban, az áramkör sztatikus teljesítményfelvétele a két állapothoz tartozó teljesítményfelvétel számtani közepével egyenlő. Ha az áramkör valamiért az egyik állapotban nagyobb valószínűséggel tartózkodik akkor ezt megfelelő súlyozott átlaggal vehetjük figyelembe.

### 4.3 Dinamikus teljesítményfelvétel

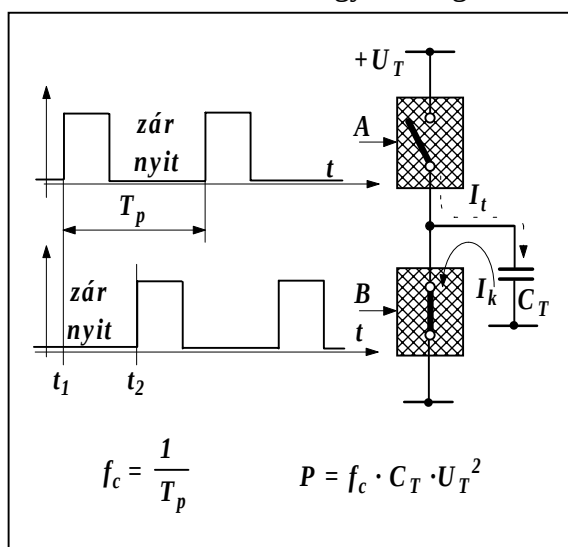


Egy logikai áramkör kimenetének minden átkapcsolásakor  $\Delta E$  többlet-energiára van szüksége. Ilyenkor ugyanis a logikai áramkörnek (a 0. fejezetben ismertetett módon) minden alkalommal vagy fel kell töltenie vagy ki kell sütnie a kimenetére kapcsolódó eredő terhelőkapacitást és belső kapacitásait is. Az áttöltés munkavégzést jelent. Az ehhez szükséges energiát a tápegység fedezi. Az átkapcsolásonként erre fordított  $\Delta E$  energia hő formájában hagyja el az áramkört, a rendszer környezetébe kerül. Állandó,  $f$  gyakoriságú átkapcsolások esetén a dinamikus teljesítményfelvétel értéke:  $P_{Dd} = f \cdot \Delta E$ .

A logikai áramkörök kimenetét terhelő  $C_T$  kapacitás áttöltésének folyamatát és az ehhez kapcsolódó teljesítményfelvétel alakulását a 4-1. ábra szemlélteti. Mindkét kapcsoló szakadt, majd  $t_1$  időpontban  $A$  bekapcsol és  $C_T$ -t  $U_T$  feszültségre tölti. A töltés során a töltőáram átfolyik a nyitott állapotban  $R_A$  ellenállású kapcsolón. Az ellenálláson az  $I_t$  töltőáram  $U_R = I_t \cdot R_A$  feszültségesést hoz létre, így a töltési idő alatti hőveszteség értéke:  $p_t = I_t \cdot U_R = I_t^2 R_A$ . A  $t_2$  időpont előtt  $A$  kikapcsol,  $t_2$ -kor a  $B$  kapcsoló zár és az  $R_B$  ellenálláson keresztül kisüti  $C_T$ -t. A kisütés eredményeként a kapacitás feszültsége  $U_C = 0V$ . Ez csak úgy valósulhat meg ha a feltöltéskor az  $R_A$ -n át a kapacitásba juttatott  $Q$  töltés kisütéskor az  $R_B$  ellenálláson át maradék nélkül távozik. Ilyen módon a töltési folyamat alatt  $R_A$ -n hővé alakuló energia pontosan megegyezik a  $C_T$  kisütése alatt  $R_B$ -n át a környezetbe távozóval. A folyamatot periodikusan ismételve minden ciklus során  $\Delta E = C_T \cdot U_T^2$  energiaveszteség lép fel, amit a tápegység pótol. Ha a folyamatot  $f$  gyakorisággal ismételjük akkor a tápegységnek ehhez

$$P_{Dd} = f \cdot C_T \cdot U_T^2$$

értékű teljesítményt kell szolgáltatnia. Látható, hogy ez a teljesítmény nem függ attól, hogy milyen áramkör családról van szó,  $U_T$  értéke viszont nagyon meghatározó! Fel kell hívni a figyelmet arra, hogy



4-1. ábra

összefüggéseinkbe az  $U_T$  érték csak azért került mert azt tételeztük fel, hogy a vizsgált logikai áramkör kimenete az egyik állapotban  $U_H = U_T$  értékű, a másik állapotban pedig  $U_L = 0V$  értéket vesz fel! Ha az áramkör  $U_T = 5V$  tápfeszültséget használ, de kimenete csak az  $U_H = 3.8V$  és  $U_L = 0V$  értékek által meghatározott  $\Delta U = U_H - U_L = 3.8V$  tartományban mozog, akkor a kapacitások áttöltésekor is csak ez a  $\Delta U = 3.8V$  feszültségváltozás fog megjelenni. Ilyenkor az  $f$  gyakoriságú átkapcsolások

$$P_{Dd} = f \cdot C_T \cdot \Delta U^2$$

dinamikus teljesítmény felvételt produkálnak. Az áramkör család  $\Delta U = U_H - U_L$  jelszint-tartománya tehát az igazán meghatározó. A legelterjedtebb áramkör-családoknál ez gyakorlatilag megegyezik az  $U_T$  értékkel.  $\Delta U$ -t csökkentve a nagysebességű rendszerek dinamikus teljesítményfelvétele is jelentősen csökken. Ez a magyarázata annak a folyamatnak amelynek eredményeként a korábbi 5V helyett először 3.3V, majd 2.5V, ezt követően pedig 1.8V tápfeszültségű áramkör-családok jelentek meg! Érdemes utánaszámolni, hogy egy  $U_T = 5V$ -os áramkör családot 3.3V-os tápfeszültségűre cserélve a dinamikus teljesítményfelvétel 50%-al csökken!

#### 4.4 Ellenütemű végfokozat átkapcsolási vesztesége



A 4-1. ábrán az A és B kapcsolók szigorúan úgy működnek, hogy ha az egyik vezet (bekapcsolt állapotú), akkor a másik garantáltan szakadt (kikapcsolt) állapotban van. Ezért az átkapcsoláskor csak a  $C_T$  töltéséhez ill. kisütéséhez kapcsolódó teljesítményveszteség lép fel. A ma használt áramkör-családok zömének kimenete az A és B kapcsolókhoz hasonlóan, ellenütemben működő tranzisztorokat tartalmaz. Ezeknél azonban (a minél nagyobb sebesség elérése miatt) a kimenet átkapcsolása során nincs időben szétválasztva a két kapcsoló működtetése. A kimeneti feszültség minden átkapcsolása során előáll az a nemkívánatos helyzet, hogy az éppen lezárás (kikapcsolás) felé haladó kapcsoló még vezet amikor ellenütemben működtetett párja már nyitni (bekapcsolni) kezd. Ennek eredményeként mindkét kapcsoló vezet. A kapcsaik közötti ellenállás elég kicsi ahhoz, hogy a tápfeszültség és a föld közé kapcsolódó soros eredőjükön nagy áram alakuljon ki. Ez az  $i_r$  áram a kapcsolók ellenállásain áthaladva  $p_r = i_r \cdot U_T$  teljesítmény- veszteséget produkál. A tápfeszültség és a földvezeték közötti "rövidzár" szerencsére csak rövid ideig áll fent, viszont minden egyes átkapcsolásnál fellép és növeli az áramkör dinamikus teljesítmény-felvételét. Ráadásul jelentős zavaróhatást is generál (a "rövidzár" alatt kialakuló áramimpulzusok a tápellátást biztosító vezetékek induktivitásain feszültségimpulzusokat produkálnak. Ezek az áramkörök kimenetén is megjelenhetnek). Az  $i_r$  áram által okozott teljesítmény veszteség csúcsértéke:

$$\hat{p}_r = \hat{i}_r \cdot U_T = \max(p_r(t))$$

átlagértéke ( $f = 1/T$  gyakoriságú átkapcsolást feltételezve):

$$\bar{p} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{U_T}{T} \int_0^T i_r(t) dt$$

Ez az összefüggés az átkapcsolási teljesítményveszteség mérési módját is mutatja. Könnyen belátható, hogy a gyors bemeneti váltásokhoz kisebb átkapcsolási veszteség tartozik. Ennek az az oka, hogy a két kapcsoló egyidejű vezetése ilyenkor rövidebb ideig tart. A nagyon lassú

bemeneti váltások nyilván ellenkező hatásúak. Ennek szélső esete amikor egy (pl. nem használt, nem bekötött, "lógó") bemenet tartósan nyitva tartja mindkét kapcsolót. Ez, a CMOS áramköröknél nagyon könnyen előforduló eset, extra teljesítmény veszteséget produkál, tehát nagyon ügyelni kell a megakadályozására.

### 4.5 A kimeneti fokozat disszipációja

Az adatlapokon szereplő teljesítményfelvételi adatok rendszerint a terhelés nélküli helyzetet mutatják be. Ha a logikai áramkör kimenetére kapcsolt bemenet(ek) vagy más terhelések  $R_{be}$  bemeneti ellenállása kicsi, akkor az elvárt kimeneti jelszintek  $U_{ki}$  értékének beállítása nagy  $I_R = U_{ki}/R_{be}$  áramot igényel. Ez a nagy áram az  $U_{ki}$  szintet beállító kapcsoló bekapcsolási ellenállásán átfolyva jelentős hőt és így teljesítmény-veszteséget termel.

### 4.6 Teljesítményfelvétel-jelterjedés szorzat

[1] 5.1.3.2.

Már többször említettük, hogy minden áramkör család egy a sebesség, a teljesítményfelvétel és a zavarvédetség közötti kompromisszumot realizál. Bármely jellemzőt könnyű önmagában, a többi rovására javítani. Ezért a  $P_D$  fogyasztás csökkentése csak akkor tekinthető igazi eredménynek ha ez nem jár a  $t_{pd}$  jelterjedési idő növekedésével. Döntő előrelépést, magasabb "jósági fokot" csak a kulcs-paraméterek együttes javulása jelez.



A logikai áramkör-családokat csak akkor szabad valamelyik kiragadott alapjellemzőjükkel minősíteni ha kimondottan az adott tulajdonság alapján kívánunk összehasonlítani vagy választani. Minden más esetben olyan jósági fokmérőt célszerű alkalmazni amely több kulcs-paraméter számértékének kombinációjával segíti az eligazodást. Ilyen, az áramkör-családok jósági fokát kifejező kombinált jellemző a  $t_{pd} \cdot P_D$  teljesítményfelvétel-jelterjedés szorzat. Ez a gyakran csak PDP (Power-Delay Product) néven említett, energia dimenziójú mennyiség közelítőleg azt adja meg, hogy a jellemzett logikai építőelem mekkora munkával képes végrehajtani egy logikai műveletet. A közel azonos  $t_{pd} \cdot P_D$  értékű áramkör-családokat közel azonos "jósági fok" jellemzi. A  $t_{pd} \cdot P_D$  érték jelentős csökkenése viszont egy magasabb fokú jóságot, az alkalmazhatósági kör jelentős bővülését jelzi.



## 4.7 Ellenőrző kérdések

- E10.1. Miért kiemelt fontosságúak a teljesítményjellemzők?
- E10.2. Mik a legfontosabb kényszerítői az alacsony fogyasztást biztosító fejlesztéseknek, mi lenne ezek nélkül?
- E10.3. Mit értünk sztatikus teljesítményfelvételen, mire szolgál ez?
- E10.4. Mit értünk dinamikus teljesítményfelvételen, mire szolgál ez?
- E10.5. Milyen kapcsolat áll fenn a tényleges és a tipikus tápáram-felvétel között?
- E10.6. Mit értünk átlagos és súlyozott sztatikus teljesítményfelvételen?
- E10.7. Milyen hatása van a teljesítményfelvételre a kimeneti kapacitásnak?
- E10.8. Mutassa be az átkapcsolások dinamikus teljesítményfelvételének folyamatát.
- E10.9. Hol és mikor alakul hővé a dinamikus felvett teljesítmény?
- E10.10. Azonos hő termel a  $C_T$  kapacitás töltését és kisütését megvalósító folyamat?
- E10.11. Mikor kell külön vizsgálni a kimeneti fokozat teljesítményfelvételét?
- E10.12. Milyen zavaróhatást produkál az ellenütemű végfokozat és hogyan?
- E10.13. Ismertesse az ellenütemű végfokozat dinamikus teljesítményfelvételét.
- E10.14. Mik és hogyan határozzák meg az eredő dinamikus teljesítményfelvétel mértékét?
- E10.15. A gyors vagy a lassú bemeneti jelváltás okoz nagyobb eredő teljesítményfelvételt (miért)?
- E10.16. Előfordulhat-e az ellenütemű kimenet mindkét kapcsolójának tartós nyitvatartása?
- E10.17. Milyen összefüggés írja le a periodikus átkapcsoláshoz tartozó teljesítmény felvételt, mik ennek az összetevői?
- E10.18. Mi garantálja, hogy  $C_T$  töltése és kisütése azonos veszteséget okoz?
- E10.19. Hogyan lehet csökkenteni a dinamikus teljesítményfelvételt?
- E10.20. A dinamikus teljesítményfelvétel szempontjából az  $U_T$  tápfeszültség vagy a  $\Delta U$  jelszint-tartomány értéke a meghatározó (miért)?
- E10.21. Mi indokolja az alacsony tápfeszültségű áramkör-családok megjelenését?
- E10.22. Mit jellemez a PDP (teljesítményfelvétel-jelterjedés szorzat)?
- E10.23. Milyen fizikai tartalom rendelhető a PDP-értékhez?
- E10.24. Milyen szerepe van a PDP értéknek az áramkör-családok összehasonlításában?
- E10.25. A kis- vagy a nagyértékű PDP a kedvezőbb, miért?

## 5. JELFORMÁLÓ ÉS IDŐZÍTŐ ALKALMAZÁSOK

*A digitális rendszerek gyors működése torzítás nélküli, szabályos, jól formált jelalakot követel. A lassan változó, lengéseket tartalmazó jelek hibás működést eredményeznek. Különösen azok az áramkörök érzékenyek erre amelyek működése a bemeneti jel valamelyik éléhez kötődik. Az aktív él legfontosabb jellemzője az átkapcsolás ideje, ami maximált. Az ennél lassabb átkapcsolásnál a korrekt működés nem garantált. Az ilyen hibák megelőzésére jelalak-formálókat, röviden jelformálókat használunk.*

*Az időzítők impulzusjelekből más időzítésű impulzusokat állítanak elő. Tipikusan impulzusok szélességének vagy fázishelyzetének (esetleg mindkettőnek) a módosítására szolgálnak.*

*A digitális rendszerek döntő hányada szinkron működésű. Ezek állapotváltozásai egy órajel periódusaihoz kötődnek. Az óragenerátorok ilyen periodikus impulzussorozatot előállítására szolgálnak.*



**Célkitűzés:** A fejezet egyrészt jelformáló, időzítő és óragenerátor kapcsolásokat mutat be, másrészt a kapuk és inverterek nem tisztán logikai felhasználási lehetőségeire ad példát, végül (mintegy összefoglalásként) bemutatja, hogy a külön-külön megismert jellemzők nem függetlenek egymástól. A leírtakat végiggondoló és feldolgozó

olvasó megismeri:

- Mit jelent és milyen feltételek esetén áll elő a kapuk lineáris üzemmódja, miért veszélyes ez.
- Milyen lehetőségeink vannak a kapuk lineáris üzemmódjának elkerülésére.
- Mire szolgál a Schmitt-trigger áramkör, hogyan lehetséges ezt kapukból megvalósítani.
- Hogyan működik a kapukból megvalósított jelformáló, milyen jellemzői vannak és hogyan lehet azokat beállítani.
- Hogyan lehet összetett működésű kapcsolásokat több lépésben, fokozatos finomítással vizsgálni.
- Hogyan kell a jellemzők által szabott működési korlátokat egyszerre érvényesíteni.
- Mire szolgálnak és mi szerint osztályozzuk az időzítőket.
- Az RC-alapú időzítők tipikus felépítését és működését.
- Hogyan lehet az időzítési folyamatot leírni, az időzítések időtartamát beállítani.
- Milyen tényezők. milyen módon, milyen pontosságú időzítést biztosítanak.
- Mire szolgálnak és milyen jellemzőkkel írhatók le az óragenerátorok.
- Hogyan épül fel, hogyan működik, milyen pontosságot biztosít a monostabilokkal megvalósított órajelgenerátor.
- Hogyan épül fel, hogyan működik, milyen pontosságot biztosít a késleltető elemet alkalmazó órajelgenerátor.
- Mire szolgálnak, milyen problémát, hogyan oldanak meg az órajel-elosztók.

## 5.1 Jelformálók



[1] 3.3.

A nagysebességű digitális rendszerek funkcionális elemeit összekötő vezetékszakaszok komoly jelalakváltozást, jeltorzulást képesek előidézni. Ennek egyik oka, hogy a jeltovábbító vonalak és a földvezetékek között (ezek szemben álló felületeinek nagyságától, egymástól mért távolságától és a köztük lévő teret kitöltő anyag minőségétől függő) kapacitások működnek. Ezekhez még hozzáadódik a vonalra kapcsolódó meghajtó kimenet saját kapacitása és a vevő bemeneti kapacitása is. A korábbiakban már láttuk, hogy az eredő kapacitást a vonal minden egyes állapotváltásakor fel kell tölteni vagy ki kell sütni, ami a bemeneti jelváltozás sebességének lelassulásával jár. Ennek kettős következménye lehet:

- A digitális rendszerekben mindenhol jelenlévő, a lassan változó bemeneti jelre könnyen rásuperponálódó nagyfrekvenciájú zajok a kapu kimenetén felerősítve jelennek meg. Emiatt a lassú vonali jelváltozást a vevő nem egyetlen átkapcsolásként, hanem egy egész átkapcsolás-sorozatként érzékeli.
- A lelassult bemeneti jel hatására a kimeneti jel sebessége is lényegesen a kapu maximális kimeneti sebessége alatt marad. Ezáltal olyan lassú kimeneti változás áll elő ami a kimenetre kapcsolt (élvezérelt) eszközök hibás működéséhez vezet.

### 5.1.1 Kapuk lineáris üzemmódja



Az előzőekben részletezett gondok abból adódnak, hogy a kapukimenetek átkapcsolási ideje nem független az átkapcsolást kiváltó bemeneti jelváltás sebességétől, ezért a kapuk lassú bemeneti jelváltozása esetén a kimenetek is lassan mozognak. A függés az  $U_{be} \approx U_K$  amplitúdójú bemeneti jelek esetén különösen erőssé válik, mert a kapu átviteli függvényének ezen bemeneti feszültségekhez tartozó szakasza egyenes. Ez azt jelenti, hogy a ki- és bemeneti feszültségek között lineáris kapcsolat áll fent, a két feszültség konstansszorosra egymásnak. Ha a bemeneti jel nagy sebességgel mozog akkor gyorsan áthalad ezen a veszélyes szakaszon. Lassú változások esetén viszont a bemeneti jel viszonylag hosszú ideig tartózkodik az  $U_K$  küszöbfeszültség közvetlen környezetében, ahol az előbb említettek miatt, a kapu ki- és bemeneti feszültsége között az

$$U_{ki} = A_u \cdot U_{be} \Big|_{U_{be} \approx U_K} \quad [12.1]$$

kapcsolatot áll fent. Az eszköz tehát itt olyan lineáris erősítőként működik amelynek erősítése:

$$A_u = \frac{dU_{ki}}{dU_{be}} \Big|_{U_{be} \approx U_K} \approx \frac{\Delta U_{ki}}{\Delta U_{be}} \Big|_{U_{be} \approx U_K} \quad [12.2]$$



$A_u$  értéke a fenti összefüggés alapján méréssel vagy a kapu átviteli függvényét felhasználva grafikusan határozható meg. A lineáris tartományban érvényes  $U_{ki}=A_u \cdot U_{be}$  függvénykapcsolat mindkét oldalát deriválva a be- és a kimeneti feszültségek sebességeit leíró

$$\frac{dU_{ki}}{dt} = A_u \frac{dU_{be}}{dt} \Big|_{U_{be} \approx U_K} \quad [12.3]$$

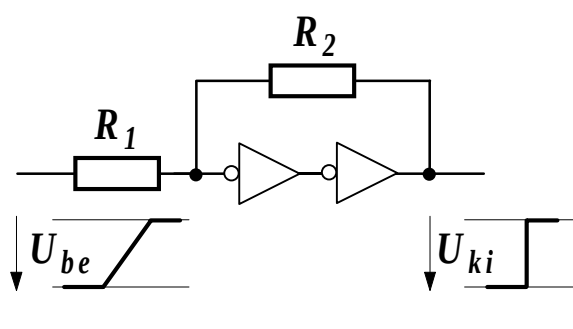
összefüggést kapjuk. Ez egyértelműen mutatja, hogy

*a kapuk lineáris üzemmódjában a kimenet változási sebessége a bemenet változási sebességéhez kötött, azzal arányos. Ennek következtében még nagy  $A_u$  esetén is előállhat az elvártnál alacsonyabb sebességű kimeneti jel. Ehhez csak kellően lassú bemeneti jelre van szükség! Erre különösen az időzítő áramköröknél nagy az esély,*

hiszen ott a kívánt hatást nagy időállandójú (ezért lassan változó feszültséget előállító) RC tagok töltési vagy kisütési folyamatával valósítjuk meg. A hibás működést az idézi elő, hogy akármilyen gyors átkapcsolásra is képes egy kapu kimenete, lassú bemeneti jelváltozásnál a kimenet ennél akár nagyságrendekkel alacsonyabb sebességgel, a [12.3] összefüggés szerint mozog.

## 5.1.2 Schmitt-trigger kapcsolás

[1] 4.6.4.



5-1. ábra

tartalmaznak.

A Schmitt-trigger hatás lényegét, az ilyen hatást megvalósító áramkörök működését a normál kapukból kialakított kapcsoláson mutatjuk be (5-1. ábra). A kapcsolás alapvető rendeltetése, hogy a bemeneti jel lassú változási sebessége ellenére megakadályozza a kapuk lineáris üzemmódba jutását és ennek káros következményeit. Tetszőlegesen lassú bemeneti jelváltozás esetén is maximális átkapcsolási sebességet produkál és emellett a hasznos jelre szuperponálódott alacsonyszintű zavarjelek ellen is magasfokú védettséget ad. Nézzük meg hogyan!

### 5.1.3 Közelítő vizsálat



Bármilyen típusú probléma megoldásánál jól használható módszer ha kisebb lépésekben, fokozatosan haladunk elérni kívánt céljaink felé.

Első lépésként nem törekszünk minden részlet precíz figyelembevételére, csak a legfontosabb tényezőket, a működés lényegét, a működést leíró közelítő összefüggéseket határozzuk meg. A részletek tisztázását, az összefüggések pontosítását további finomító lépésekre hagyjuk. A kapcsolás vizsgálatát két (a valóságtól nem

írreálisan távol eső) közelítő feltételezéssel egyszerűsítjük: abból indulunk ki, hogy

- Az inverterek átviteli függvénye ideálisnak tekinthető: ( $U_{ki}=U_H \approx U_T$  ha  $U_{be} < U_K$  és  $U_{ki}=U_L \approx 0V$  ha  $U_{be} > U_K$ ; az  $U_K$  küszöbfeszültség  $U_K=(U_H-U_L)/2=U_H/2$  értékű).
- Az inverterek bemeneti árama és bemeneti ellenállása elhanyagolható ( $I_{be}=0$ ,  $R_{be}=\infty$ ).

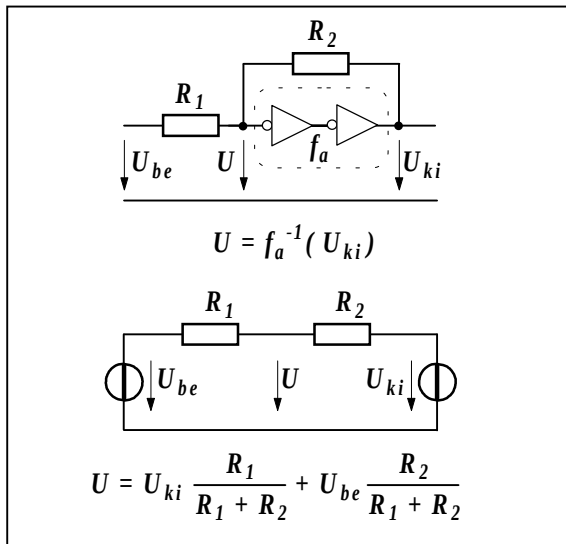
Ezek a feltételezések a CMOS áramkör-családok esetén elég jó közelítések. A két sorbakapcsolt inverter egy olyan, nem invertáló eredőt produkál amelyet

az  $U_{ki}=U_H$  ha  $U > U_K$  és  $U_{ki}=U_L$  ha  $U < U_K$  működés jellemez. Azt szeretnénk tudni, hogy milyen bemeneti feszültségsszintek hatására, hogyan vált állapotot a kimenet. Az előbb leírtak és a 5-2. ábra alapján egyértelmű, hogy a kimenet állapotát az  $U$  feszültség határozza meg. Az  $U$  feszültség az  $R_1$  és  $R_2$  ellenállásokból álló olyan feszültségosztó kimenetén áll elő amelynek egyik végpontjára az  $U_{be}$  a másik végpontjára pedig az  $U_{ki}$  feszültség kapcsolódik. Így a kételemű inverterlánc  $U$  bemeneti feszültsége az  $U_{be}$  és az  $U_{ki}$  feszültségek súlyozott összege:

$$U = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{ki} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{be} \quad [12.4]$$

A súlyozást az  $R_1$  és  $R_2$  ellenállások arányai határozzák meg. A vizsgálatot kikapcsolt (tápellátás nélküli) állapotot feltételezve kezdjük. A bekapcsolás pillanatában az inverter-kimenet feszültsége  $0V$  kezdőértékről indul. Ha ekkor  $U_{be}=0V$ , a feszültségosztó kimenete is csak  $U=0V$  lehet. Ennek eredményeként a két inverter kimenete nem mozdul el az  $U_L \approx 0V$  állapotból. Ha ebből a helyzetből kiindulva folyamatosan növeljük  $U_{be}$  értékét akkor  $U$  értéke [12.4] alapján az

$$U = 0 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{be} \quad [12.5]$$



5-2. ábra



összefüggés szerint szintén folyamatosan nő. A kimenet állapota mindaddig változatlan marad amíg  $U$  át nem lépi az  $U_K$  értéket. Az  $U > U_K$  feltétel teljesüléskor viszont az inverterek eredő átviteli függvényének megfelelően a kimenet az eddigi  $U_L$  állapot helyett az  $U_H$  állapotba kapcsol. Az  $U_L \rightarrow U_H$  irányú átkapcsolást elindító  $U_{be} = U_{beH}$  érték a [12.5] összefüggés alapján:

$$U_K = 0 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{beH} \quad [12.6]$$

amiből

$$U_{beH} = U_K \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad [12.7]$$

Az átkapcsolás a lehető legnagyobb (az inverterek sebesség-jellemzői által meghatározott) sebességgel zajlik le. Ennek magyarázata: abban a pillanatban amikor  $U_{ki}$  elindul eredeti  $U_{ki} = U_L \approx 0V$  állapotából az  $U_{ki} = U_H \approx U_T$  érték felé, a pozitív irányú feszültségváltozás a feszültségosztó kimenetén is megjelenik (leosztottan) és pozitív irányba tolja az  $U$  feszültség értékét is. Ez az önmagát erősítő folyamat az átkapcsolás után a [12.4] összefüggésnek megfelelően

$$U = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_H + \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{be} \quad [12.8]$$

értéket állít be a feszültségosztó kimenetén, ami

$$\Delta U = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_H \quad [12.9]$$

értékkel tolja pozitív irányba  $U$  értékét. Ennek eredményeként, ha  $U_{be}$  az átkapcsolás után csökkenni kezd, az  $U_{ki} = U_L$  kiinduló állapot visszaállításához már nem elegendő az  $U_{be} = U_{beH}$  érték alá süllyednie. Az  $U_{ki} = U_H$  állapot miatt ugyanis az  $U_{be} = U_{beH}$  bemeneti feszültség esetén az osztó kimenetén  $U = U_K + \Delta U$  feszültség van jelen! A kimenet  $U_H \rightarrow U_L$  irányú átkapcsolásához viszont a feszültségosztó  $U$  feszültségének az  $U_K$  küszöbfeszültséget kell felülről átlépnie. Ennek alapján az  $U_H \rightarrow U_L$  irányú átkapcsolást elindító  $U_{be} = U_{beL}$  érték [12.8] alapján meghatározható:

$$U_K = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_H + \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{beL} \quad [12.10]$$

amiből (az  $U_H \approx 2 \cdot U_K$  kezdeti feltételezésünket figyelembevéve)  $U_{beL}$ -t kifejezve:

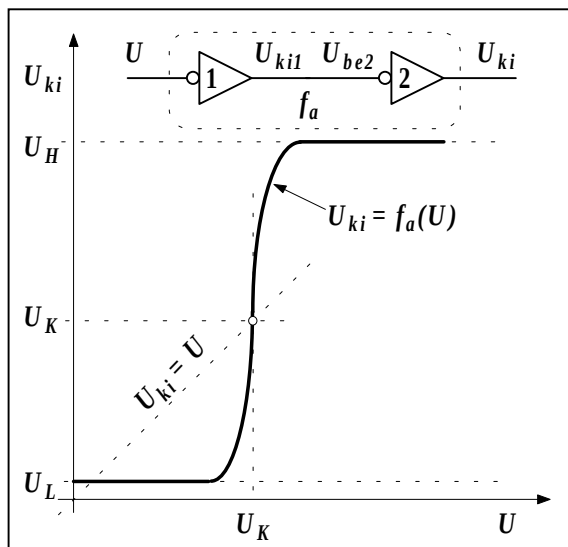
$$U_{beL} = U_K \frac{R_2 - R_1}{R_2} \quad [12.11]$$

Az  $U_{beH}$  és  $U_{beL}$  kapcsolási szintek  $U_h = U_{beH} - U_{beL}$  különbsége a Schmitt-triggerek fontos jellemzője. Ez az  $U_h$  hiszterézis-feszültség

ugyanis garantálja, hogy a hasznos jelekre szuperponálódott,  $U_h$ -nál kisebb csúcstól-csúcsig mért amplitúdójú zavarójelek nem okozhatnak átkapcsolást. Értékét az alkalmazott logikai áramkör  $U_H$  és  $U_L$  feszültség-szintjei és az ellenállások arányai [12.7] és [12.11] szerint határozzák meg:

$$U_h = U_H \frac{R_1}{R_2} \quad [12.12]$$

#### 5.1.4 Az átviteli függvény hatása



5-3. ábra

A kapcsolás vizsgálatát leegyszerűsíti, ha a kimenet felől elindulva végezzük azt. A 5-3. ábra azt mutatja be, hogy az  $U_{ki}$  feszültséget a két sorbakapcsolt inverter az  $U_{ki} = f_a(U)$  eredő átviteli függvénynek megfelelően állítja elő. Az  $U_{ki}$ -t meghatározó  $U$  és  $f_a$  tényezők nem ismertek.  $U$  az  $R_1$  és  $R_2$  ellenállásokból álló feszültségosztó kimeneti feszültsége,  $f_a$ -t pedig az inverterek egyedi átviteli függvényeiből (a korábban már alkalmazott módszerrel) pontonként tudjuk megszerkeszteni. Ez utóbbi eredménye: a kétszeres invertálás egy a 5-3. ábrán látható  $U_{ki} = f_a(U)$  eredő átviteli függvényt produkál.

A korábbiakban már megállapítottuk, hogy a kételemű inverterlánc  $U$  bemeneti feszültsége az  $U_{be}$  és az  $U_{ki}$  feszültségek súlyozott összege [12.4]:

$$U = \beta \cdot U_{ki} + \alpha \cdot U_{be} \quad [12.13]$$



Ahol  $\beta = R_1/(R_1 + R_2)$  és  $\alpha = R_2/(R_1 + R_2)$ . A kapcsolás kimeneti jelének egy hányada visszajut a bemenetre, visszacsatolást valósít meg. A visszacsatolás típusát az határozza meg, hogy a visszajutó jelhányad milyen hatással van a kimeneti jelre. Esetünkben a pozitív irányban változó (növekvő)  $U_{ki}$  a feszültségosztón át  $U$  (és így  $U_{ki}$ ) értékét is növeli, tehát önmagát fenntartani igyekvő hatású (pozitív visszacsatolás).

#### 5.1.5 Az $R_1$ és $R_2$ ellenállások beállítása

A Schmitt-trigger alkalmazásokhoz szükséges  $R_1$  és  $R_2$  ellenállások arányai a [12.7] és a [12.11] összefüggésekkel meghatározhatók. Olyan  $R_2/R_1$  arányt kell beállítani amely a rendszerben jelenlévő zavarójelek amplitúdóit éppen meghaladó  $U_h$  hiszterézist produkál. A kapcsolásokba beépíthető ellenállások értékeit a beépített inverterek jellemzői alapján lehet kiválasztani. A választás fontosabb szempontjai: az  $R_1 + R_2$  eredő alsó korlátját az inverter terhelhetősége

[1] F.4.9.

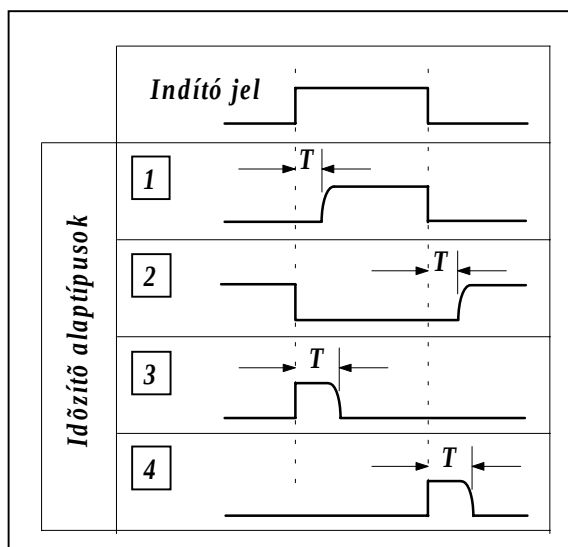
szabja meg. Az ellenállásosztó ugyanis terheli a kimenetet, ezért ügyelni kell arra, hogy túl kis értékű ellenállásokkal nehogy túlterheljük a kimenetet. Az  $R_1 + R_2$  összeg felső határát az inverter bemeneti árama korlátozza. Az ellenállásokon átfolyó bemeneti áram által okozott feszültségesésnek a kapcsolási szintekhez képest elhanyagolhatóan kicsinek kell lennie!

### 5.2 Időzítők

A digitális rendszerekben nagyon gyakori, hogy valamilyen indító-feltétel teljesülésekor adott időtartamú impulzust kell előállítani. Az erre a célra szolgáló, egy stabil állapottal rendelkező áramkörök az időzítők, más néven monostabil multivibrátorok. Ezeknek (az egyszerűbb kiejtés miatt legtöbbször csak monostabiloknak nevezett) áramköröknek a nyugalmi állapot a stabil állapota. A bemenetükre érkező indító impulzus valamelyik éle kimenetüket a nyugalmi állapottal ellentétes állapotba kapcsolja. Az így előálló nem stabil állapot az időzítő elemek által meghatározott ideig tart. Ennek leteltével a monostabil kimenete visszabillen eredeti, nyugalmi állapotába.

[1] 4.6.2.

#### 5.2.1 Időzítő alaptípusok



5-4. ábra

Az indító él és a kimeneti impulzus egymáshoz viszonyított pozíciója szerint többféle időzítő típust lehet megkülönböztetni. A leggyakrabban használtak jellemzőit a 5-4. ábra foglalja össze. Az egyes típusokat a továbbiakban a táblázatban adott sorszámokkal azonosítjuk. Pl. az olyan időzítőket amelyek egy bemeneti impulzusból a táblázat első sora szerinti (hátrább tolt felfutó élű, keskenyebb) impulzust állítanak elő, "1 típusú időzítő"-nek nevezzük. A lekerekített élek azt jelzik, hogy a jelformálás során ezek az élek rendszerint torzulnak ha normál kapukat használunk a jelformáló kapcsolásokban. Hiszterézises kapukkal

a minőségromlás megelőzhető.

#### 5.2.2 Monostabilok

[1] F.4.10.  
F.4.12.

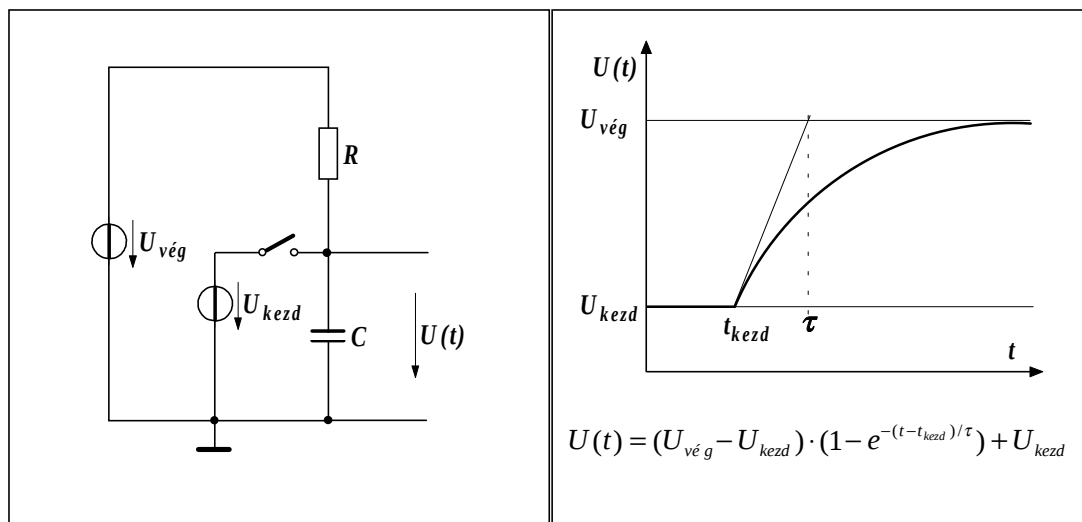
Az előállítandó impulzusok időtartama nagyon széles tartományban mozog, ezek értékének beállítása többnyire  $R$  és  $C$  elemekkel valósítható meg. Az impulzusok indítása vagy lefutó vagy felfutó éllel történik. Az időzítést rendszerint egy az indítóél hatására elkezdődő töltési vagy kisütési folyamat valósítja meg. Egyes megoldások a

kimeneti impulzus (az instabil állapot) ideje alatti újraindítást is megengednek. Az ilyen, ún. újraindítható monostabil multivibrátorok mindenkor a bemenetükre utoljára érkező indító éltől számítva állítják elő a beállított impulzusszélességet. Ha az éppen aktív kimeneti pulzus időtartamán belül mindenkor érkezik egy újabb indítójel akkor a kvázistabil állapot tetszőlegesen meghosszabbítható.



Olyan monostabilokat is használunk amelyek a kimeneti impulzust, annak időtartama alatt, egy a monostabil tiltó bemenetére adott jellel (függetlenül attól, hogy a nem stabil állapot időzítése még nem járt le) azonnal letiltják. A kimeneti jel tiltása egyszerű kapuzással is megoldható, de itt többről van szó! Az időzítési folyamat teljes alaphelyzetbe állítását is meg kell oldani. Ez azt jelenti, hogy a még le nem járt időzítés ellenére az áramkörnek közvetlenül a tiltó él után azonnal újraindíthatóvá, az előírt szélességű impulzus ismételt előállítására alkalmassá kell válnia. Az ilyen elvárásoknak megfelelő áramkörök a tiltható ("lelőhető") monostabilok.

### 5.2.3 Az időzítők működése



5-5. ábra

A kapukból felépíthető időzítők nyugalmi állapotát egy a bemenetükre érkező  $H \rightarrow L$  vagy  $L \rightarrow H$  átmenet, "él" szünteti meg. Ezzel kezdetét veszi az időzítés, amit legtöbbször egy  $C$  kapacitás töltésével vagy kisütésével valósítunk meg. Az aktív éllel elindított folyamat az 5-5. ábra szerinti áramkörrel modellezhető. Az indítás előtt  $C$  a  $K$  kapcsolón keresztül egy  $U_{kezd}$  kezdeti feszültséget (ami általában  $U_L \approx 0V$ ) vesz fel. Indításkor  $K$  szakadt állapotba kerül és megkezdődik a  $C$  kapacitás  $R$  ellenálláson keresztüli töltése. Az  $R$  ellenálláson át a kapacitásba jutó töltés, az idő függvényében változó (növekvő)  $U_C(t)$  feszültséget hoz létre. A töltőáram az indítás pillanatában a legnagyobb. Ekkor  $i_{tM} = (U_{v\acute{e}g} - U_{kezd})/R$  értékű. Ez az áramérték azonban csak végtelenül rövid ideig maradhat fent. Egy tetszőlegesen kicsiny  $\Delta t$  idő elteltével ugyanis a  $C$ -be jutott  $\Delta Q = i_{tM} \cdot \Delta t$  töltés hatására a kapacitás  $U_C$  feszültsége  $\Delta U_C = \Delta Q/C$  értékkel megemelkedik, ami az Ohm-törvény

szerint egy kisebb,  $i_t(t=t_0+\Delta t)=(U_{vég}-U_{kezd}-\Delta U_C)/R$  töltőáramot produkál. A töltési folyamat az egyre kisebb töltőáram miatt egyre lassabb feszültségváltozást eredményez. Az időzítés (a kimeneti impulzus) addig tart amíg  $U_C(t)$  elér egy meghatározott  $U_K$  küszöbfeszültséget. Ennek megtörténtekor a töltési folyamat megszakad, a  $K$  kapcsoló zárásával a kapacitás feszültsége visszaáll az  $U_{kezd}$  értékre és egy újabb indításig ez az állapot marad fenn.

## 5.2.4 Az RC- alapú időzítők alapegyenlete

A időzítési folyamatot pontosan leíró differenciálegyenlet (a kapcsolási rajz alapján):

$$C \frac{dU_C(t)}{dt} \equiv \frac{U_{vég} - U_C}{R} \quad [12.14]$$

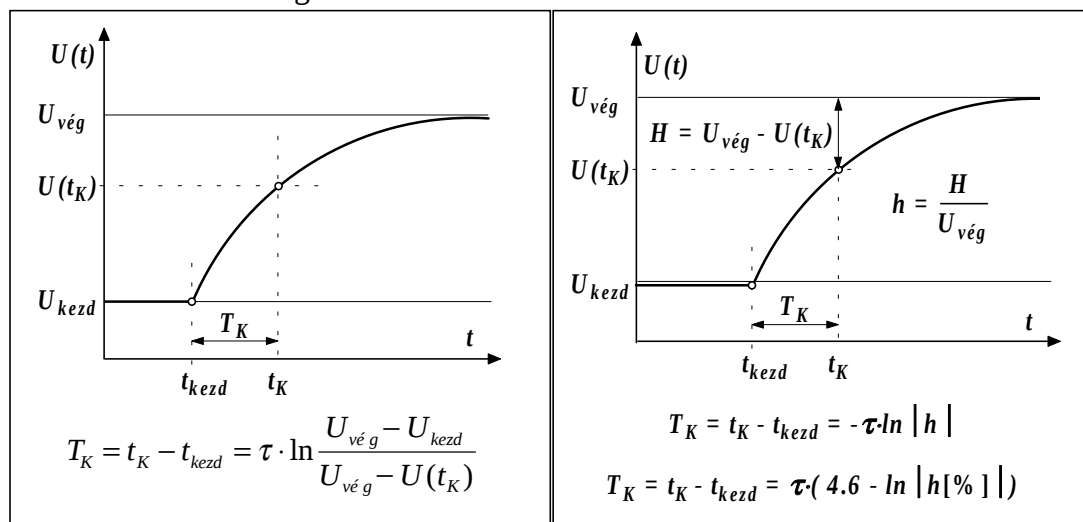
[1] F.1.10. vagy

$$\frac{d(U_C - U_{vég})}{dt} \equiv \frac{U_C - U_{vég}}{R \cdot C} \quad [12.15]$$

formában adható meg. Az egyenlet  $U_C(t=t_{kezd})$  kezdeti feltételhez tartozó megoldása:

$$U_C(t) = (U_{vég} - U_{kezd}) \cdot (1 - e^{-(t-t_{kezd})/\tau}) + U_{kezd} \quad [12.16]$$

ahol  $\tau=R \cdot C$ . Ez az összefüggés az időzítő áramkörök alapegyenlete. Ezzel minden időzítési folyamat leírható és ebből lehet meghatározni a kapcsolások időzítési adatait is. A kapcsolások által előállított pulzusszélesség attól függ, hogy az adott kapcsolás  $C$  időzítő kapacitásának  $U_C(t)$  feszültségét a kapcsolás milyen  $U_{kezd}$  kezdeti feszültségről milyen  $U_{vég}$  feszültség felé, milyen  $R$  ellenálláson át változtatja. Minden kapcsolás egy jól definiált  $U_{kezd}$  kezdeti feszültséget állít be (rendszerint az  $U_L$  vagy az  $U_H$  feszültség szintek egyikét) és a másik logikai szint felé mozgatja a  $C$  kapacitás  $U_C(t)$  feszültségét.



5-6. ábra

Tipikus, hogy az  $U_{vég}=U_H$  vagy  $U_{vég}=U_L$  feszültség felé haladó  $U_C(t)$  feszültséget egy kapubemenet "figyeli". Az időzítési folyamat azzal zárul, hogy amikor  $U_C(t)$  eléri a "figyelő kapu"  $U_K$  küszöbfeszültségét:  $U_C(t)=U_K$ , a kapu kimenete átkapcsol, leállítja a töltést, visszaállítja az időzítő kapacitás feszültségének  $U_{kezd}$  kezdőértékét és lezárja, befejezi a kimeneti impulzust.

### 5.2.5 Az időzítés beállítása



Az előállított  $T_K$  időtartam az indítástól az  $U_C(t=T_K)=U_C(T_K)=U_K$  feszültség eléréséig eltelt idő (5-6. ábra). Ha ismerjük az  $U_{kezd}$ ,  $U_{vég}$  és  $\tau=RC$  adatokat akkor az időzítő alapegyenletből a  $T_K$  kifejezhető:

$$T_K = \tau \cdot \ln \frac{U_{vég} - U_{kezd}}{U_{vég} - U_C(T_K)} \quad [12.17]$$

Gyakran van szükség arra, hogy meghatározzuk, mennyi idő alatt közelíti meg előírt pontossággal az  $U_C(t)$  időfüggvény az  $U_{vég}$  végértéket. Az  $U_C(t)$  pillanatnyi értéke és az  $U_{vég}$  végérték különbsége a

$$H(t) = U_{vég} - U_C(t) \quad [12.18]$$

abszolút hibával jellemezhető. (Ha  $U_C$  időfüggő, akkor természetesen  $H(t)$  is az!) Ennek a jellemzésnek az a hátránya, hogy a töltési vagy kisütési folyamat állapotáról, (arról például, hogy a folyamatnak az elején vagy a vége felé vagyunk) önmagában semmit sem közöl. Ehhez a  $H$  hiba mellett ismerni kell még az  $U_{vég}$  értékét is. Ez az oka, hogy a két feszültség közötti eltérést általában a

$$h(t) = \frac{U_C(t) - U_{vég}}{U_{vég}} \quad \text{vagy a} \quad [12.19]$$

$$h(t)[\%] = \frac{U_C(t) - U_{vég}}{U_{vég}} 100 \quad [12.20]$$

relatív hibával szokás megadni. Ennek értéke önmagában is pontosan informál bennünket a folyamat állapotáról. Az  $U_{vég}$  végérték  $h$  relatív hibájú megközelítéséhez szükséges  $T_h$  időtartam (5-6. ábra/b):

$$T_h = -\tau \cdot \ln|h| \quad [12.21]$$

$$T_h = \tau (\ln 100 - \ln|h[\%]|) \quad [12.22]$$

### 5.2.6 Az RC-alapú időzítők jellemzői



Az ismertett kapcsolások előnye az egyszerűség, hátrányuk a pontatlanság. Utóbbi több tényező hatásának az eredménye:

- Az  $U_C(t)$  időfüggvénynek csak a kezdeti szakasza gyors. A lelassult jel (különösen az  $U_{vég}$  végérték közelében) még pontos szint-detektálás esetén is igen bizonytalan időzítést eredményez.

- A szintdetektálást kapubemenet(ek) végzik és ezek  $U_K$  küszöb feszültsége egyrészt szór, másrészt sok esetben erősen hőmérséklet- és tápfeszültség-függő.
- A kapuk nem rendelkeznek a pontos szintdetektáláshoz szükséges nagy  $A_u$  feszültségerősítéssel, ezért szintdetektálási hiba lép fel.
- A lassan változó  $U_C(t)$  időfüggvényt figyelő kapu az  $U_K$  küszöb feszültséghez közeli  $U_C$  értékek esetén hosszú ideig üzemel lineáris erősítőként, ezért nagyon érzékeny a külső zavarójelekre. (Az  $U_K$ -hoz közeli  $U_C$  értékekre szuperponálódó zavarjelek téves szintdetektálást és így időzítési hibát okoznak.) Ez Schmitt-trigger alkalmazásával megelőzhető.
- Az  $U_{veg}$  szint a kapuk döntő hányadánál szorosan kötődik az  $U_T$  tápfeszültség értékéhez (A kapukimenetet egy felhúzóellenállás vagy egy tranzisztor  $R_s$  bekapcsolási ellenállása köti össze  $U_T$ -vel.) ezért annak ingadozása közvetlenül kihat az  $U_C(t)$  jelalakra, megváltoztatja azt és így időzítési hibát okoz.

### 5.3 Órajel-generátorok

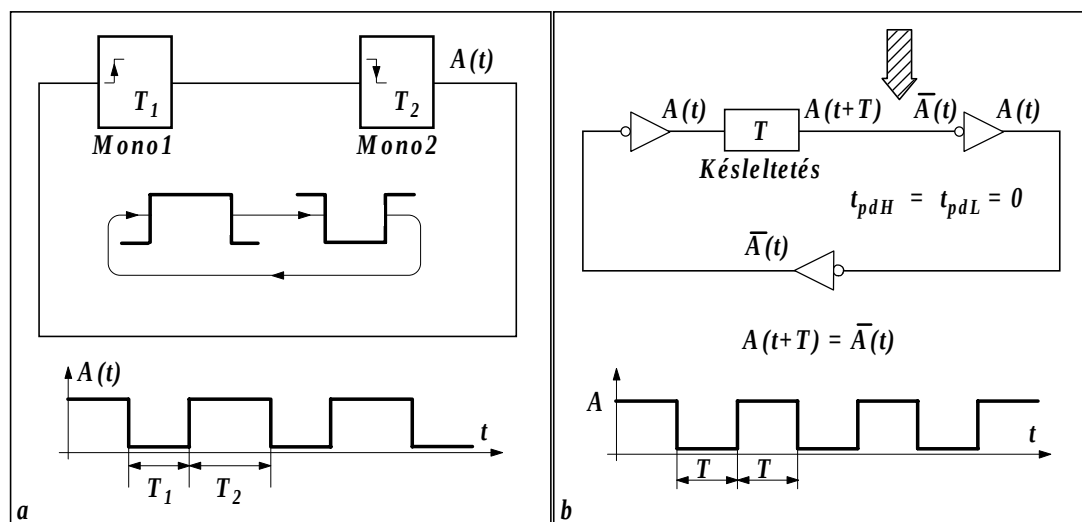
Digitális rendszereink döntő részének működését egy periodikus impulzussorozat előállító órajel-generátor ütemezi. A rendszer állapotváltozásai az órajel meghatározott fázisaihoz kötődnek. Az órajel legfontosabb jellemzője a  $T$  periódusidő, amit legtöbbször reciprokával az  $f = 1/T$  órajel frekvenciával szokás megadni.

A gyorsabb rendszer gyakrabban vált állapotot, nagyobb frekvenciájú órajel ütemezi működését. Ma már a személyi számítógépek kategóriájában sem számít élvonalbelinek az a gép amelynek órajelfrekvenciája nem haladja meg a 100 Mhz-et. Ez annyit jelent, hogy egy ilyen gép belső működésében 10 ns-onként más és más állapot áll elő. Ilyen sebességű működéskor a belső logikai funkciókat megvalósító kapuhálózatokon 10 ns alatt át kell haladnia az előző órajelperiódus során előállított bemeneti változóknak, hogy előállítsák a következő órajelperiódus alatt megvalósuló műveletek kiinduló feltételeit.

#### 5.3.1 Monostabil alapú óragenerátorok



Periodikus órajel előállítására végtelen sokféle kapcsolás létezik. Az egyik legegyszerűbb megoldást két monostabil áramkör gyűrűs kapcsolásával lehet előállítani (5-7. ábra/a). Ennek működéséhez egyedül azt kell biztosítani, hogy az egyik monó negatív, a másik pedig pozitív élre induljon. A periódusidő a két monó kimeneti pulzusszélességének összege.



**5-7. ábra**

### 5.3.2 Késleltető elemet alkalmazó óragenerátorok

Nagyon egyszerű órajelgenerátor állítható elő a 5-7. ábra b oldalán látható, késleltető elemet tartalmazó gyűrűs kapcsolással is. A késleltetőelem olyan eszköz amely a bemenetén megjelenő jelalakot a kimenetén  $T$  időeltolással alakhűen megismétli. A teljes kapcsolás működése az ábrán követhető. Ha a késleltető elem  $T$  késleltetése sokkalta nagyobb az inverterek  $t_{pd}$  késleltetésénél akkor ez utóbbi az előállított jel periódusidejét nem befolyásolja, ezért elhanyagolható. A három inverterből és egy késleltető elemből álló hurkot a sraffozott nyílól jobbfelé bejárva a rendszer működését a következő egyenlet írja le:

$$A(t+T) = \bar{A}(t) \quad [12.23]$$

Nyilvánvaló, hogy ennek az egyenletnek sztatikus megoldása nincs, ugyanakkor a 5-7. ábra b oldalán látható időfüggvény tökéletesen kielégíti az egyenlet által megfogalmazott elvárást. A kapcsolást különösen magas órajelfrekvencia előállítására használják. Előnye, hogy a késleltető elemek  $T$  késleltetési ideje nagyon stabil, hőmérséklettől és más hatásoktól viszonylag független, ezért az  $RC$  időzítésű megoldásokhoz képest több nagyságrenddel pontosabb.

Érdemes megjegyezni, hogy a késleltetőelem nélküli egyszerű gyűrűs kapcsolás is ugyanígy működik, periódusidejét az inverterek  $t_{pd}$  késleltetési ideje határozza meg. Azonos  $t_{pd}$  értékeket feltételezve:  $T_{gy}=3t_{pd}$ . Az így előállított jel frekvenciája azonban nem stabil, hiszen a  $t_{pd}$  hőmérséklet- és tápfeszültségfüggése ebben közvetlenül érvényesül.



## 5.4 Ellenőrző kérdések

- E12.1. Mi a feladata a jelformálóknak, miért van ezekre szükség?
- E12.2. Mi az oka a vezetékeken fellépő jeltorzulásoknak?
- E12.3. Mit jelent és hogyan áll elő a kapuk lineáris üzemmódja?
- E12.4. Mi jellemzi a kapuk lineáris üzemmódját, miért veszélyes ez?
- E12.5. Mire szolgál a Schmitt-trigger kapcsolás, hogyan lehet megvalósítani?
- E12.6. Ismertesse a kapukból felépített Schmitt-trigger kapcsolás működési elvét.
- E12.7. Mutassa be milyen visszacsatolást valósít meg a Schmitt-trigger kapcsolás.
- E12.8. Hogyan érvényesül a pozitív visszacsatolás hatása?
- E12.9. Határozza meg a kapukból felépített jelformáló  $U_{beL}$  és  $U_{beH}$  kapcsolási szintjeit ideális,  $U_K$  küszöbfeszültségű átmeneti függvényt feltételezve.
- E12.10. Határozza meg a kapukból felépített jelformáló  $U_{beL}$  és  $U_{beH}$  kapcsolási szintjeit az  $U_K$  küszöbfeszültség környezetében tisztán lineáris átmeneti függvényt feltételezve.
- E12.11. Határozza meg a kapukból felépített jelformáló  $U_{beL}$  és  $U_{beH}$  kapcsolási szintjeit valódi átmeneti függvényt feltételezve.
- E12.12. hogyan állítjuk be a Schmitt-trigger kapcsolás ellenállásainak arányát?
- E12.13. Mitől függenek a Schmitt-trigger kapcsolás ellenállásainak értékei?
- E12.14. Mire és hogyan használható az  $U_h$  hiszterézis feszültség?
- E12.15. Hogyan, mivel, milyen módon állítjuk be az  $U_h$  hiszterézis feszültség értékét?
- E12.16. Mi az időzítők rendeltetése, milyen alaptípusaik vannak?
- E12.17. Milyen elven áll elő az időzítés az RC időzítőknél?
- E12.18. Ismertesse az időzítők alapegységlétét, adja meg az ehhez tartozó kapcsolást.
- E12.19. Vezesse le a  $T_K$  késleltetés értékét meghatározó összefüggést.
- E12.20. Vezesse le a  $T_h$  késleltetés értékét meghatározó összefüggést.
- E12.21. Mik az előnyei az RC időzítőknak?
- E12.22. Mik a kellemetlen tulajdonságai az RC időzítőknak?
- E12.23. Mire szolgálnak az óragenerátorok?
- E12.24. Ismertesse a monostabilokból álló óragenerátort.
- E12.25. Ismertesse a késleltető elemet alkalmazó óragenerátort.
- E12.26. Mire szolgálnak az órajel elosztók, miért van szükség ezekre?
- E12.27. Mit értünk órajel csúszás (skew) fogalmán, hogyan áll elő?

## **6. IRODALOMJEGYZÉK**

1. *Dr. Szittyá Ottó: Bevezetés az elektronikába.* LSI Oktatóközpont
2. *Dr. Kovács Magda: Első lépések a mikroszámítógépek világában.* LSI Oktatóközpont
3. *Alvin Hudson, Rex Nelson: Útban a modern fizikához.* LSI Oktatóközpont
4. *Victor H. Grinich, Horace G. Jackson: Példák integrált áramkörök alkalmazására.* Műszaki Könyvkiadó, 1980.
5. *Dr. Tarnay Kálmán: Mikroelektronikai berendezés-orientált áramkörök tervezése.* EDUSYSTEM 1984.