

Ideális és valódi építőelemek, a valódi építőelemek jellemzői. TTL és CMOS technológia.

Ezen segédlet

- első részében a félvezető eszközök jellemzőivel, fizikai működésével foglalkozunk.
- a második részben áttekintjük a félvezető eszközökből felépített alapelemek fizikai felépítését és működését
- a harmadik részben megismerkedünk a TTL és a CMOS technológia feszültség szintjeivel.

Félvezető eszközök jellemzői, fizikai működése

A félvezetők

A félvezetők olyan anyagok, amelyek vezetőképességük alapján a vezetők és a szigetelők között helyezkednek el. Jellemzően kovalens kötést alkotnak, így pl. a szilícium és a germánium négy vegyértékű, amelyből mind a négy elektron kötésben vesz részt, ezért alapesetben nem jó vezetők. A vegyértéksáv és a vezetési sáv között lévő ún. tiltott sáv elég kicsi ahhoz, hogy a hőmérséklet növekedésével néhány elektron átkerülhessen a vezetési sávba. (A fémeknél a vegyértéksáv és a vezetési sáv átfedésben van egymással, ezért jó vezetők; a szigetelőknél nagy a tiltott sáv.)

A félvezetők szobahőmérsékleten, vegytiszta állapotban gyakorlatilag szigetelőknak tekinthetők. A hőmérséklet növelésével, illetve adalékolással (angolul doping) igen sok vezetési elektron keletkezik, így megnövekszik a vezetőképesség. A leggyakrabban használt szilárd félvezetők: szilícium (Si), germánium (Ge). Mindkét félvezető anyag a periódusos rendszer IV. A csoportjába tartozik.

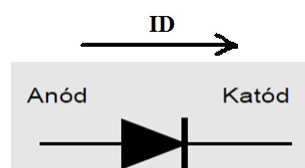
Gyakorlatilag az adalékolás mértéke igen kicsi, mindössze 10^{-5} , 10^{-6} %-os. Ugyanakkor az adalékolás a szabad töltéshordozók számát a termikus töltéshordozók mennyiségéhez képest $10^3 - 10^6$ - szorosára növeli. Donor és akceptor típusú adalékolást különböztetünk meg.

Az alkalmazott adalékatomnak eggyel több vagy kevesebb elektronja van, mint a félvezetőnek. Ha eggyel több, akkor negatív (N) típusú félvezetőről (az adalék atomokat pedig donornak nevezik), ellenkező esetben pozitív (P) típusúról beszélünk (az adalékatomokat pedig akceptoroknak nevezik). Donor atom lehet pl. foszfor, arzén, akceptor atom lehet pl. bór, alumínium.

Az N típusú félvezetőben már alacsony hőmérsékleten is az összes donor elveszít egy elektront, és ezek a vezetési sávba kerülnek, így növelve a vezetőképességet. P típusú félvezető esetében az akceptorok a vegyértéksávból megkötnék egy-egy elektront, így növelve a lyukak koncentrációját és ezáltal növelve a vezetőképességet.

A félvezető dióda

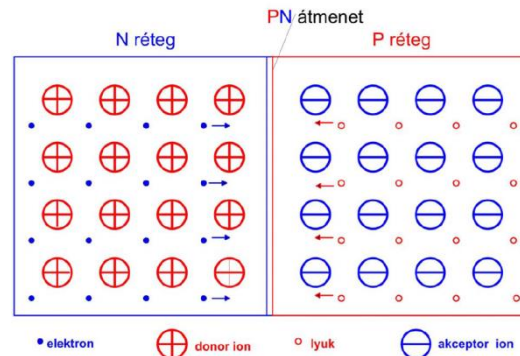
A dióda olyan – rendszerint két kivezetéses – elektronikai alkatrész, amelyet többségében egyenirányításra, híradástechnikai célra (például rádióvevő készülékekben demodulálásra) illetve egyszerűbb kapuáramkörökben alkalmaznak. A félvezető dióda rajzjele látható az 1-es ábrán.



1. ábra. A félvezető dióda rajzjele

Az (ideális) dióda az egyik irányban az áramot átengedi, míg a másik irányban nem. Az ideális diódát elképzelhetjük egy kapcsolónak is. Egyik irányban vezeti az elektromos áramot (be van kapcsolva), a másik irányban nem vezeti az elektromos áramot (ki van kapcsolva).

A félvezető dióda készítésekor egy szilícium lapkán egymás mellé egy P és egy N típusú tartományt hoznak létre. A két tartomány között létrejön egy ún. PN átmenetet (PN junction). A 2-es ábrán egy N és P rétegűre adalékolt félvezető lapka látható.



2. ábra. Az N és P rétegűre adalékolt félvezető lapka

A P rétegben pozitív töltésű lyukak, az N rétegben negatív töltésű elektronok a töltéshordozók. Az ilyen szerkezetben ha egy irányba folyik az áram, akkor az azt jelenti, hogy az egyik irányba mennek az elektronok, az ellenkezőbe a lyukak. (A konvencionális (történelmileg kialakult, megegyezésszerű) áramirány a pozitív töltésé, tehát a rajzokon jelölt irányba haladnak a lyukak, az ellenkezőbe az elektronok.)

A töltéshordozók külső feszültség híján rendezetlen mozgást végeznek a félvezetőn belül. A két réteg találkozásánál az egyik részből átléphetnek a másikba. Ha egy elektron az N tartományból átkerül a P tartományba, akkor ott nagy eséllyel beugrik egy lyuk helyére (hiszen ott egy atomnak "elektronhiánya" volt). Ekkor az elektron (és az előtte ott lévő lyuk) megszűnik szabad töltéshordozónak lenni. Ha egy akceptor (szennyező) atomhoz ugrott be, akkor az az atom innentől negatív töltésű lesz (hiszen eredetileg 3 vegyértékű volt, vagyis 4 elektronnal felszerelve 1 negatív töltése lesz). Hasonlóan, az N tartományból az elektron eljött, tehát ott is csökkent a szabad töltéshordozók száma, és az ottani donor atomok pozitív töltésűvé válnak (hiszen eredetileg 5 elektronjuk volt, abból elvesztettek egyet). Így a P tartományban negatív, az N tartományban pozitív töltésű ionok lesznek az adalékatomokból, a határréteg közelében. Fix töltések (az ionok helyhez kötöttek) ilyen elrendezése elektromos teret kelt, ami a pozitív töltéstől mutat a negatív felé. Az elektromos tér jellemzője, hogy erővel hat a töltésekre. Az így kialakult elektromos tér meggátolja, hogy további elektronok és lyukak tudjanak áthaladni a határon (pont ellenkező irányba kényszeríti őket, az elektronokat vissza az N tartomány felé, a lyukakat vissza a P tartomány felé). A középen kialakult réteget kiürített rétegnek illetve tértöltési tartománynak („space charge region”) is nevezik (előbbinek a mozgó töltéshordozók hiánya miatt, utóbbinak a kialakult elektromos tér miatt). A rajta kialakult elektromos tér tehát nehezíti a töltések áramlását.

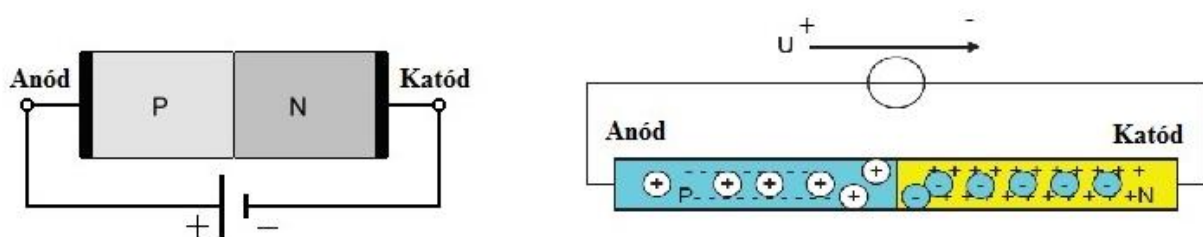
Külső feszültség hiányában a PN-átmeneten az ún. diffúziós és az ún. drift áram kiegyenlíti egymást, az eredő áram nulla. A diffúziós áramot a töltéshordozók koncentráció-különbsége okozza (a nagyobb koncentrációjú helyről a kisebb koncentrációjú felé mozognak). Jelen esetben a többségi töltéshordozók (P-rétegben a lyukak, N-rétegben az elektronok) egy kis része nagy energiája folytán átjut a kiürített réteg potenciálgátján, ez adja a diffúziós áramot. Drift áramnak a töltéshordozóknak elektromos tér hatására történő mozgását hívjuk. Jelen esetben a tértöltési tartomány térerőssége a többségi töltéshordozók számára akadály, a kisebbségi töltéshordozókat (P-rétegben elektronok, N-rétegben lyukak) viszont N->P irányban gyorsítja, ez lesz a drift áram.

A félvezető dióda működése

Mint az előbbieken láttuk, egy félvezető dióda esetén egy félvezető kristályt egyik felét N a másik felét P típusúra adalekolják.

Most nézzük meg, hogy mi történik akkor, amikor a félvezető diódára külső feszültséget kapcsolunk. Kétféle feszültség irányt tudunk létrehozni. A 3-as ábra szemlélteti a félvezető dióda nyitóirányú előfeszítését.

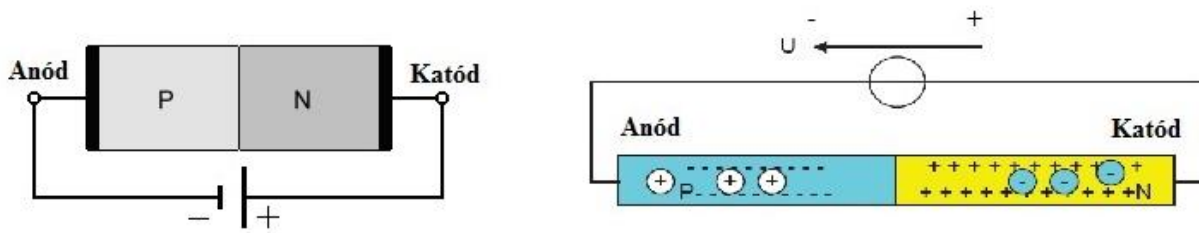
Nyitóirányú előfeszítés



3. ábra. A félvezető dióda nyitóirányú előfeszítése

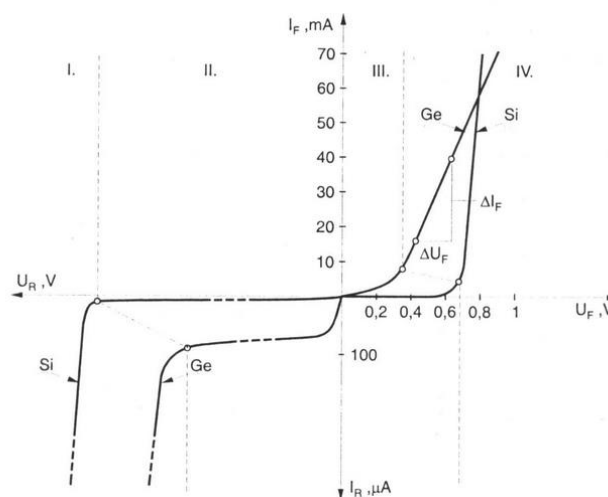
Nyitóirányú előfeszítés esetén a P réteg (anódra) az N réteghez (katódhoz) képest pozitív feszültséget kapcsoltunk. A dióda ellenállása igen kicsi, vezetőként viselkedik. Nyitóirányú áram jön létre. A valóságos Si dióda ún. nyitófeszültsége 0,6-0,8V. Amikor a dióda nyitóirányban van előfeszítve, akkor a rajta eső feszültség a dióda nyitófeszültsége (0,6-0,8V), a rajta átfolyó áramot a környezete határozza meg.

Nyitóirányú előfeszítés hatására az elektronokra olyan erő hat, ami a kiürített réteg felé taszítja őket, a lyukakra pedig olyan erő, ami szintén a kiürített réteg felé irányul. Ha elég nagy a feszültség, akkor a töltéshordozók beljebb tudják nyomni a kiürített réteg határait, ezáltal lecsökken annak a vastagsága és tere. Ha elég kicsi lett, a töltések már könnyen át tudnak hatolni ezen a rétegen, a PN átmeneten a külső feszültséggel exponenciálisan megnő a diffúziós áram, pár tized volt felett meredeken nő a P->N irányú áram.

Záró irányú előfeszítés**4. ábra. A félvezető dióda záró irányú előfeszítése**

A P rétegre (anódra) az N réteghez (katódhoz) képest negatív feszültséget kapcsolnak. A dióda ellenállása igen nagy, ellenállásként viselkedik, gyakorlatilag szakadás, nem vezet az elektromos áramot. A félvezető dióda záró irányú előfeszítését a 4-es ábra szemlélteti.

Ekkor a pozitív potenciál az elektronokat elvonzza a kiürített réteg közeléből, a negatív pedig a lyukakat, így a kiürített réteg vastagsága nőni fog (nem maradnak középen töltéshordozók). Ekkor olyan vastag a kiürített réteg, hogy nem tud diffúziós áram folyni rajta keresztül, csak a kisebbségi töltéshordozók drift árama, ami nagyon kicsi – szilícium diódáknál pA-nA nagyságrendű - tehát a PN-átmenet árama ilyenkor jó közelítéssel nulla, az átmenet lezár.

**5. ábra. A félvezető dióda karakterisztikája**

Az 5-ös ábrán látható a félvezető dióda karakterisztikája.

Si dióda esetén ha a nyitóirányú feszültség eléri az ún. könyök (vagy küszöb) feszültséget, akkor a dióda „kinyit”, rajta a feszültség növelése hatására az áram exponenciális jelleggel növekszik. Ekkor a diódán eső feszültség állandónak tekinthető (0,6 – 0,8 V). A dióda áramát a „környezete határozza meg.”

Ha a feszültség polaritása ellentétes, akkor a dióda „zár”, gyakorlatilag nem folyik rajta áram (a valóságban néhány pA, nA áram folyik). Ha elérünk egy bizonyos záró feszültséget, akkor a diódaáram hirtelen megnő, de ekkor az egyszerű diódák tönkremennek. Vannak speciális ún. Zener diódák, amelyek ezt az ún. zener effektust használják ki.

Bipoláris tranzisztor

A bipoláris tranzisztor elektromos jelek erősítésére kifejlesztett, 2 db PN átmenettel rendelkező aktív áramköri elem. A tranzisztor elnevezése az angol „transfer-resistor” (átengedés-ellenállás) elnevezésekből képzett mozaikszó. A bipoláris kifejezés arra utal, hogy működésében mindkét töltéshordozó fajta (elektron, lyuk) részt vesz.

A bipoláris tranzisztor háromelektrodás felvezető eszköz, amely három, egy kristályban kialakított, N-P-N vagy P-N-P elrendezésű, adalékolt felvezető tartományból áll. Ennek megfelelően megkülönböztetünk: NPN illetve PNP tranzisztorokat.

Az egyes elektródák elnevezései:

- emitter (E): a töltéshordozókat kibocsátó elektróda;
- bázis (B): vezérlésre szolgáló elektróda;
- kollektor (C): töltéshordozókat gyűjtő elektróda.

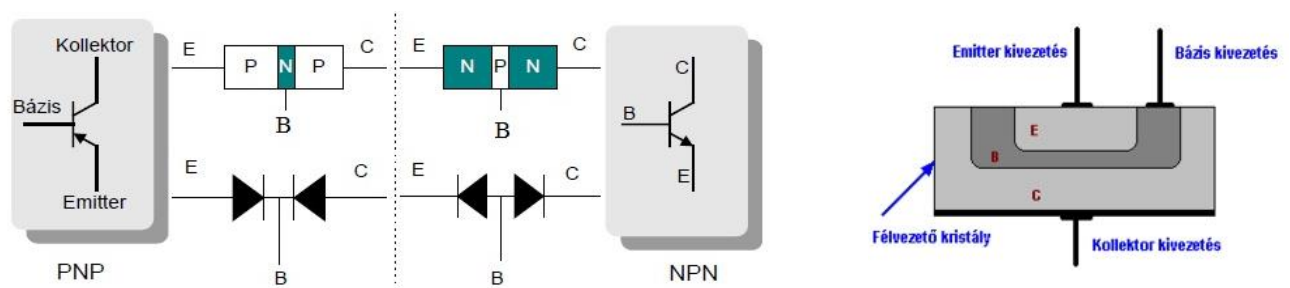
Elvi szinten a tranzisztor felfogható úgy is, hogy 2 db dióda (Bázis-Emitter és Bázis-Kollektor) dióda az alábbi ábrán látható módon van összekapcsolva. A működési leírásoknál így is hivatkoznak rá. Ha a valóságban ilyen módon két diódát összekapcsolunk, nem kapunk működőképes áramkört. Ez csak egy elvi szimbolizálása a tranzisztornak.

A 6-os ábrán látható a bipoláris tranzisztor diódás helyettesítő képe, rajzjele.

A bipoláris tranzisztorok bázistartományának hatásoz szélessége sokkal kisebb, mint a kisebbségi töltéshordozók diffúziós hossza, ezért ez a középső tartomány igen vékony felvezető réteg a kollektor- és az emitter tartományhoz viszonyítva. Az emitter és kollektor megközelítőleg azonos adalékolású és mindkét típusú tranzisztornál erősebben adalékolott, mint a bázistartomány.

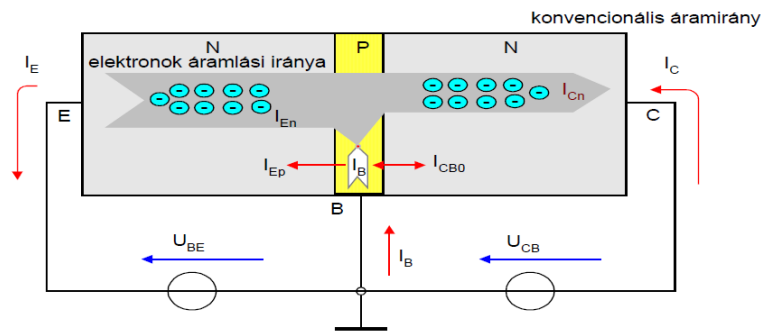
A bázis kicsi hatásoz szélessége és alacsony adalékoltsága miatt kevés a szabad töltéshordozók száma, ezért kis mértékű a vezetőképessége a másik kettőhöz viszonyítva.

A tranzisztor szerkezetében levő két PN-átmenet külső feszültség alkalmazása nélkül megakadályozza a rétegek között a töltéshordozók áramlását.



6. ábra. A bipoláris tranzisztor rétegei, diódás helyettesítő képe és rajzjele

A bipoláris tranzisztor működése



7. ábra. A bipoláris tranzisztor működését szemléltető ábra

A 7-es ábra szemlélteti a bipoláris tranzisztor működését. Normál aktív üzemmód esetén a Bázis-Emitter átmenetet nyitóirányban, a Bázis-Kollektor átmenetet záró irányban feszítjük elő.

Kis jelű szilícium tranzisztorok esetén:

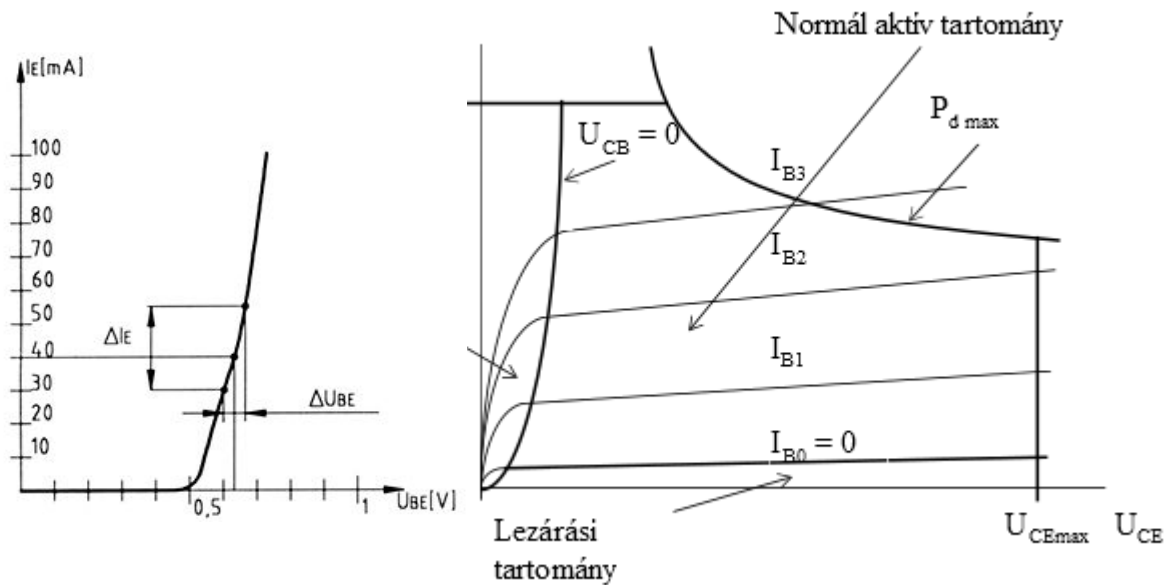
- a bázis-emitter feszültség $U_{BE} \approx 0,6 \div 0,8V$,
- a kollektor-emitter feszültség értéke általában $U_{CE} \approx 5 \div 18V$.

A nyitóirányú feszültség hatására az emitter tartományban található többségi töltéshordozók (elektronok) rendezett áramlással áthaladnak a határrétegen, s így létrejön az emitter áram (I_E). A kiürített réteggént viselkedő bázistartományba áramlott elektronok kis része egyesül (rekombinálódik) az itt található lyukakkal és létrejön egy kis értékű bázisáram (I_B). A bázis - kollektor átmenet záróirányú előfeszítése következtében az elektronok diffúzió révén rendezetten a kollektor rétegbe áramlanak és létrejön a kollektor áram (I_C). Az elektronikai gyakorlatban a bipoláris tranzisztor I_C kollektor áramát az U_{BE} bázis-emitter feszültség és az I_B bázisáram segítségével vezérelhetjük. A bipoláris tranzisztor áramvezérelt áramgenerátorként viselkedik.

Analóg technikában a normál aktív üzemmódban feszültség illetve áramerősítésre, a digitális technikában a lezárás és a telítés üzemmódban (un. kapcsolóüzemben) használjuk a tranzisztor. A bipoláris tranzisztor üzemmódjai a 8-as ábrán, karakterisztikái a 9-es ábrán láthatók.

ÜZEMÁLLAPOT	B-E ÁTMENET IGÉNYBEVÉTELE	B-C ÁTMENET IGÉNYBEVÉTELE
LEZÁRÁS	záróirányú ($U_{BE} < 0$)	záró ($U_{CB} > 0$)
NORMÁL AKTÍV	nyitóirányú ($U_{BE} > 0$)	záró
INVERZ AKTÍV	záróirányú	nyitó ($U_{CB} < 0$)
TELÍTÉS	nyitóirányú	nyitó

8. ábra. A bipoláris tranzisztor üzemmódjai



9. ábra. A bipoláris tranzisztor karakterisztikái

Unipoláris térvezérlésű tranzisztorok

Azokat a tranzisztorokat, amelyeknek áramát csak egyetlen fajta töltéshordozó biztosítja, a szakirodalomban unipoláris vagy térvezérlésű tranzisztoroknak nevezik. Elnevezésük FET, amely az angol - Field Effect Transistor - kifejezés szavainak kezdőbetűit tartalmazza.

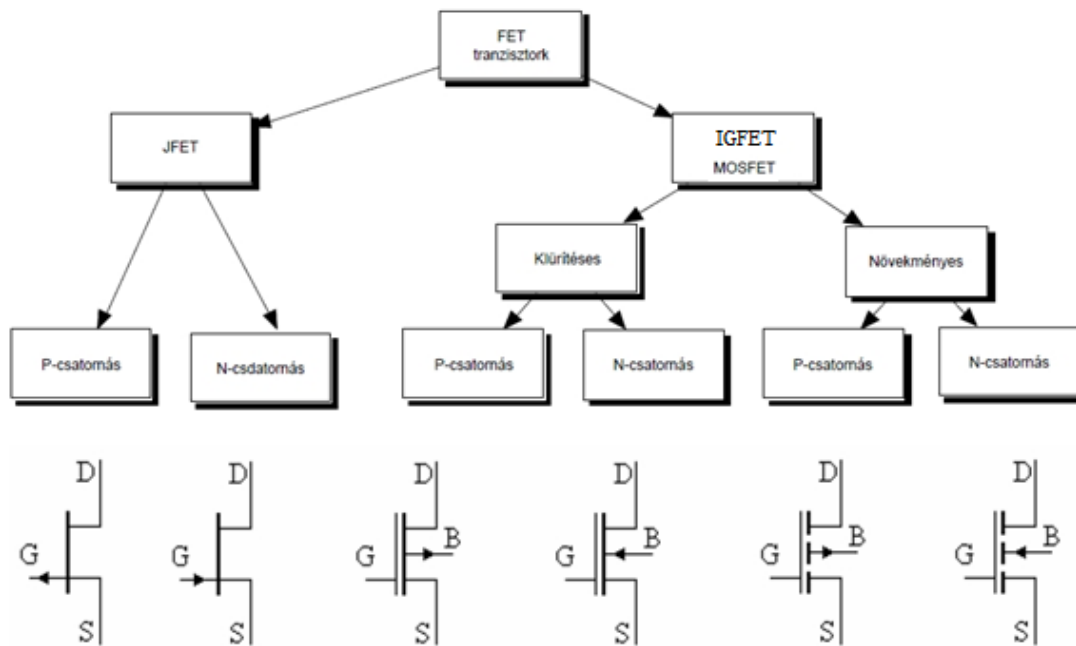
Működésük egy félvezető kristályból álló csatorna vezetőképességének külső elektromos tér segítségével való változtatásán alapszik. Az elektromos teret egy kapunak nevezett vezérlőelektróda segítségével hozzák létre a csatorna keresztmetszetében. A kapuelektróda felépítésének függvényében, megkülönböztetünk záróréteges (röviden JFET, Junction Field Effect Transistor) és szigetelt kapuelektródás (IGFET) térvezérlésű tranzisztorokat.

A térvezérlésű tranzisztorok tulajdonságai:

- a nagy értékű bemeneti ellenállás,
- egyszerű gyártástechnológia,
- a bipoláris tranzisztoroknál kisebb helyigény.

A térvezérlésű tranzisztorok (Field Effect Transistor = FET) működési elve alapjaiban eltér a bipoláris tranzisztoroktól. Az áramvezetés mértéke statikus feszültséggel befolyásolható. Tehát nincs vezérlőáram, a vezérléshez teljesítmény sem szükséges, továbbá a bementi ellenállása közel végtelen. A FET tranzisztor egy feszültségvezérelt áramgenerátor (szemben a bipoláris tranzisztorral, amely áramvezérelt áramgenerátor).

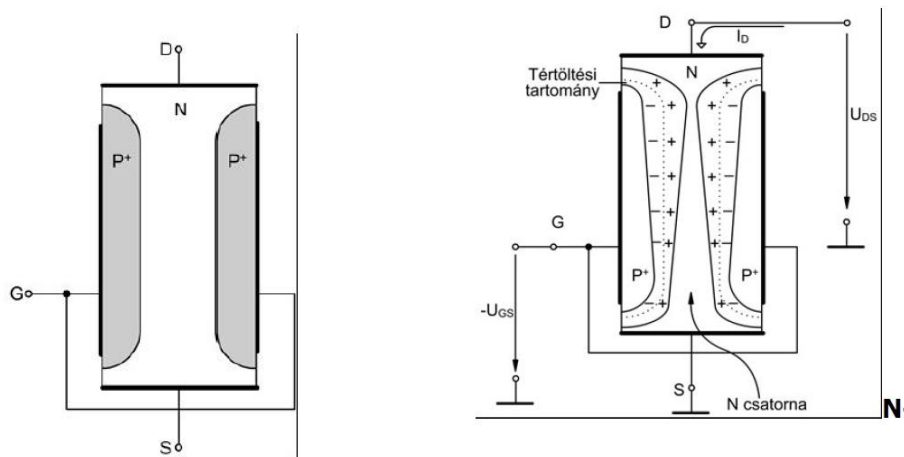
Elektródák elnevezése: Source=forrás, Drain=nyelő, Gate=kapu, S=Szubsztrát = hordozó. A térvezérlésű tranzisztorok csoportosítása látható a 10-es ábrán.



10. ábra. A térvezérlésű tranzisztorok csoportosítása

A JFET működése

Az N-csatornás JFET egy N-re adalékolt szilícium kristály, amelynek két végére kapcsolt egyenfeszültség I_{DS} elektron áramot indít a source és drain elektródák között. Ez az áram a teljes megszűnésig csökkenthető a negatív U_{GS} vezérlő-feszültséggel. A 11-es ábra szemlélteti a JFET működését.

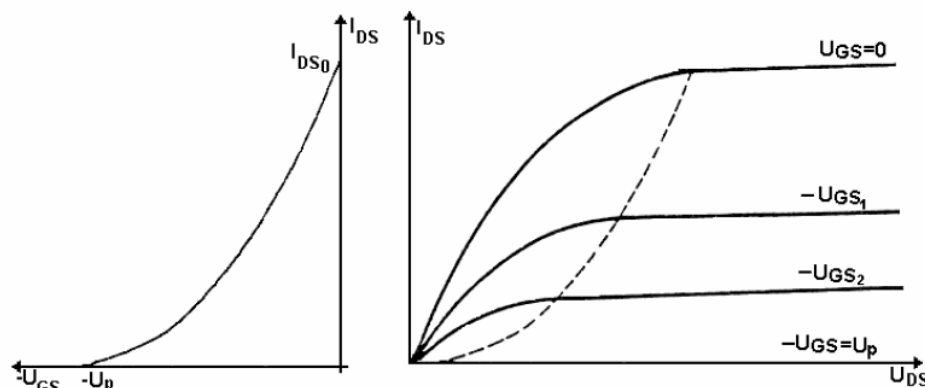


11. ábra. A JFET működését bemutató ábra

A záróréteges térvezérlésű tranzisztorok (JFET) csatornáját a félvezető térfogatában két záróirányban polarizált PN átmenet határolja. A JFET tranzisztorokat N és P csatornás változatban készítik. A csatorna 10÷100-szor hosszabb, mint a vastagsága. A csatorna két végére fémezéssel kapcsolt elektródák a D drain (nyelő) és az S source (forrás). A vezérlőszerepet játszó elektróda a G gate (kapu). A JFET tranzisztor szerkezetet egy nagyon vékony, gyengén adalékolt réteg (csatorna) alkotja, amely két erősen adalékolt, a csatornával ellentétes adalékoltságú félvezető réteg között helyezkedik el. Az egyik PN átmenet a gate és

a csatorna között, míg a másik átmenet a félvezető szubsztrátnak nevezett többi része és a csatorna között helyezkedik el. Ha a csatorna két elektródájára feszültséget kapcsolunk (U_{DS}) és a gate elektróda feszültsége (U_{GS}) nulla, a két PN átmenet záróirányú polarizálást kap. Az N-típusú csatornában a D drain elektródától az S source elektróda felé áramló elektronok árama $U_{GS} = 0$ feszültségnél a legnagyobb, mivel ebben az esetben a csatorna szélessége maximális. Ezen tulajdonsága miatt a záróréteges térvezérlésű tranzisztorokat önvezetőknek is nevezzük. A zárórétegek szélessége, - amelyek meghatározzák a csatorna keresztmetszetét - annál nagyobb, minél nagyobb a záróirányban ható feszültség. Minél nagyobb a zárófeszültség annál kisebb a vezetőrétteg keresztmetszete, tehát az ellenállása is. A csatorna-ellenállás növekedése a csatornán folyó I_D áram csökkenését eredményezi, amely sajátságos esetben nulla is lehet. Az elektronok áramlása csak a csatornán keresztül lehetséges, mivel a zárórétegekben kialakult tértöltésű zónák elektromos erőtere megakadályozza mozgásukat ezekben a tartományokban. A zárórétegek szélessége az U_{GS} feszültség segítségével vezérelhető. A szükséges vezérlőtéljesítmény minimális értékű, mivel a kisebbségi töltéshordozók mozgásának eredményeképpen egy elhanyagolható nagyságú záróirányú áram folyik ($10^{-8} \div 10^{-10} \text{ A}$).

Az U_{GS} feszültségnek a vezérelhetőség biztosítása miatt N csatornás JFET esetén negatívnak, míg P csatornás eszköz esetén pozitívnak kell lennie (a source elektródához viszonyítva). Hasonló módon az U_{DS} feszültség N csatornás JFET esetén pozitív, P csatornás JFET esetén pedig negatív (a source elektródához képest). A JFET karakterisztikái láthatók a 12-es ábrán.



12. ábra. A JFET karakterisztikái

Szigetelt vezérlő elektródájú térvezérlésű tranzisztorok, IGFET

Az IGFET tranzisztorok (amelyet a szakirodalomban sok helyen MOSFET-ként is szoktak említeni) a technológiai fejlesztés újabb eredményei.

A MOSFET (Metal Oxide Semiconductor, fém-oxid félvezető) a belső rétegek sorrendjére (Field Effect Transistor, térvezérlésű tranzisztor), a tranzisztor működési elvére utal. Az unipoláris tranzisztorok működésénél a többségi töltéshordozóknak van szerepe. A modern (mind analóg, mind digitális) integrált áramkörök döntő többsége növekményes MOS tranzisztorokból épül fel. JFET-t digitális áramköröknél gyakorlatilag nem használtak, használnak

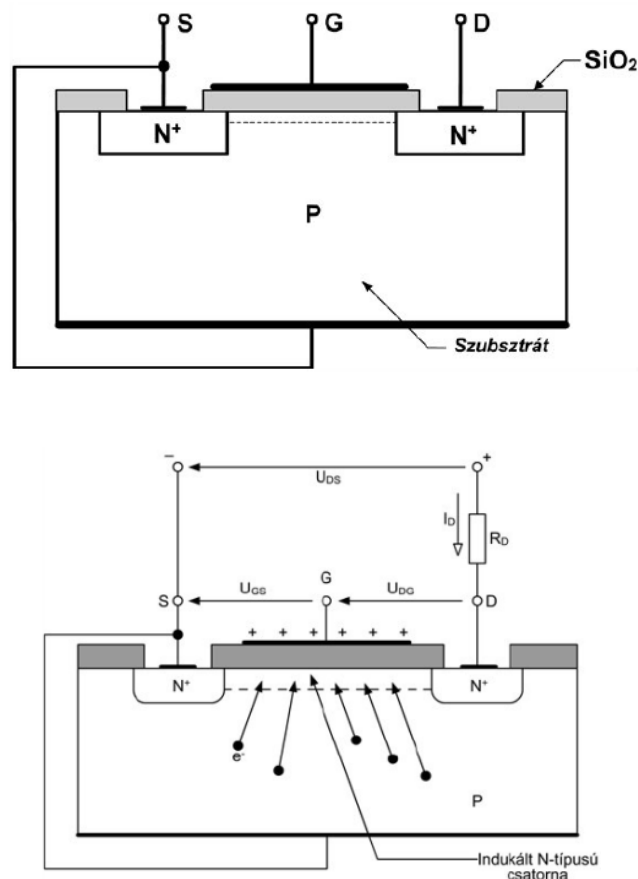
A MOSFET tranzisztorok felépítésüktől függően két családot alkotnak:

- kiürítéses (önvezető);
- növekményes (önzáró).

Mindegyik változat előállítható N- és P csatornás kivitelben is.

Növekményes MOSFET tranzisztorok felépítése, működése

A növekményes MOSFET tranzisztorok felépítése, működése a 13-as ábra szemlélteti.



13. ábra. A növekményes MOSFET tranzisztorok működését bemutató ábra

A tranzisztor aktív része egy P-típusú, gyengén adalékolt Si alapkristályból áll, amelyet szubsztrátnak neveznek. Az alapkristályban két erősen adalékolt P-típusú vezető szigetet alakítanak ki, amelyek csatlakozással ellátva a tranzisztor S source- és D drain-elektrodáját alkotják. A kristály külső felületén termikus oxidációval nagyon jó szigetelő tulajdonsággal rendelkező szilícium-dioxid SiO_2 fedőréteget növesztenek, amelyen az S és D csatlakozások számára ablakot hagynak. A SiO_2 szigetelőrétegre vékony fémréteget visznek fel, pl. párologtatással; ez lesz a gate vezérlőelektróda, amely ily módon elszigetelődik a kristálytól. A szubsztrát kivezetését általában a tokon belül összekötik az S source-elektrodával, vagy külön kivezetésként a tokon kívülre vezetik.

Ha a gate-elektroda szabadon van, bármilyen polaritású feszültséget kapcsolunk a drain és a source közé a tranzisztor zárva marad, azaz nem fog áram folyni a két kivezetés között. A gate-elektrodára pozitív feszültséget kapcsolva a source-hoz képest a szubsztrátban elektromos tér keletkezik. A külső elektromos tér hatására a szubsztrátban található kisebbségi töltéshordozó elektronok közvetlenül a SiO_2 szigetelőréteghez vándorolnak és az S és D elektróda között egy N-típusú vezetőcsatornát alkotnak. A I_D drain-áram ilyen feltételek mellett megindul. A csatorna vezetőképessége az U_{GS} gate-source feszültséggel szabályozható. Minél nagyobb U_{GS} értéke, a csatorna vezetőképessége annál nagyobb és következésképpen annál nagyobb I_D értéke is.

Mivel a vezérlést elektromos tér hozza létre, hasonlóan a JFET-hez, vezérlőtéljesítmény gyakorlatilag nem szükséges. Az I_D drain-áram az U_{GS} gate-source feszültséggel teljesítmény felvétele nélkül vezérelhető.

Az ismertetett MOSFET típusnak az a jellegzetessége, hogy $U_{GS} = 0$ feszültségnél le van zárva, emiatt önzáró tranzisztornak is nevezik. A növekményes elnevezés arra a tulajdonságára utal, hogy a csatorna, elektrondúsulás (P csatornás változat esetén lyukak) révén keletkezik pozitív gate-feszültség jelenlétében.

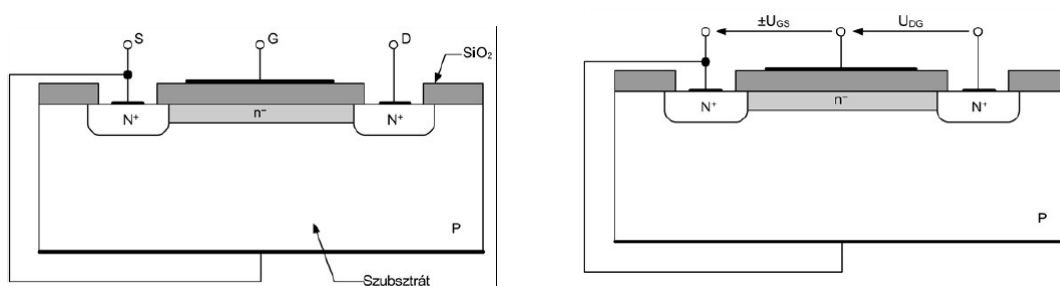
Kiürítéses MOSFET tranzisztorok

Ha az SiO_2 szigetelőréteg alatti szubsztrátban gyenge N-típusú adalékolást valósítanak meg (N csatornás változat), akkor vezetőképes összeköttetés lép fel az S és D között anélkül, hogy a gate-elektrodára feszültséget kapcsolnánk. Az ilyen felépítésű tranzisztort önvezető MOSFET-nek nevezik. A kiürítéses MOSFET tranzisztorok működését a 14-es ábra szemlélteti.

Az önvezető MOSFET esetén $I_D \neq 0$, ha $U_{GS}=0$. Vezérlése mind pozitív, mind negatív gate-feszültséggel lehetséges.

Ennek megfelelően két üzemmódban működhet:

- dúsításos üzemmód
- kiürítéses üzemmód.



14. ábra. A kiürítéses MOSFET tranzisztorok működését bemutató ábra

Dúsításos üzemmód $U_{GS} > 0$, amikor a pozitív gate-feszültség a csatorna elektronokkal való feldúsulásához és nagyobb vezetőképességéhez vezet; kiürítéses üzemmód $U_{GS} < 0$, amikor a negatív gate-feszültség a csatorna elektronokban való elszegényesedéséhez és vezetőképességének csökkenéséhez vezet.

Az eddigiek során tárgyalt MOSFET-ek N csatornás kivitelűek voltak. Természetesen a működési elvek maradéktalanul érvényesek a P csatornás típusokra is, ha megfordítjuk az alkalmazott feszültségek polaritását. A 15-ös ábra a MOSFET tranzisztorok működését és karakterisztikáit szemlélteti.

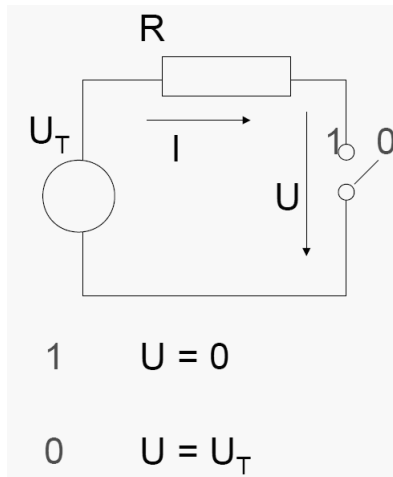
	n csatornás (elektronvezetés)	p csatornás (lyukvezetés)	karakterisztika
kiürítéses üzemmód			
novekényes üzemmód			

15. ábra. A MOSFET tranzisztorok összefoglalása

Kapcsoló üzemmód

Ebben a fejezetben megnézzük az előbb ismertetett félvezető eszközök kapcsolóüzemű működését. A ideális kapcsolót a 16-os ábra, a valóságos kapcsolót a 17-es ábra szemlélteti.

Az ideális kapcsoló



A kapcsoló feladata:

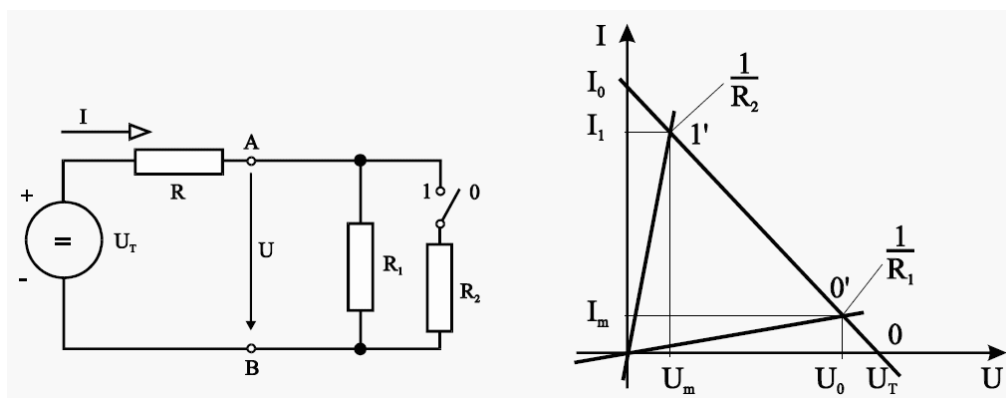
Az áramkör zárásával az U_T tápfeszültséget az R terhelő ellenállásra kapcsolja, illetve kikapcsoláskor az áramkört megszakítja.

Az ideális kapcsoló:

- Érzéketlen a polaritásra
- A kapcsolási idő végtelenül rövid
- Nincs rajta teljesítményveszteség

16. ábra. Az ideális kapcsoló

A valóságos kapcsoló

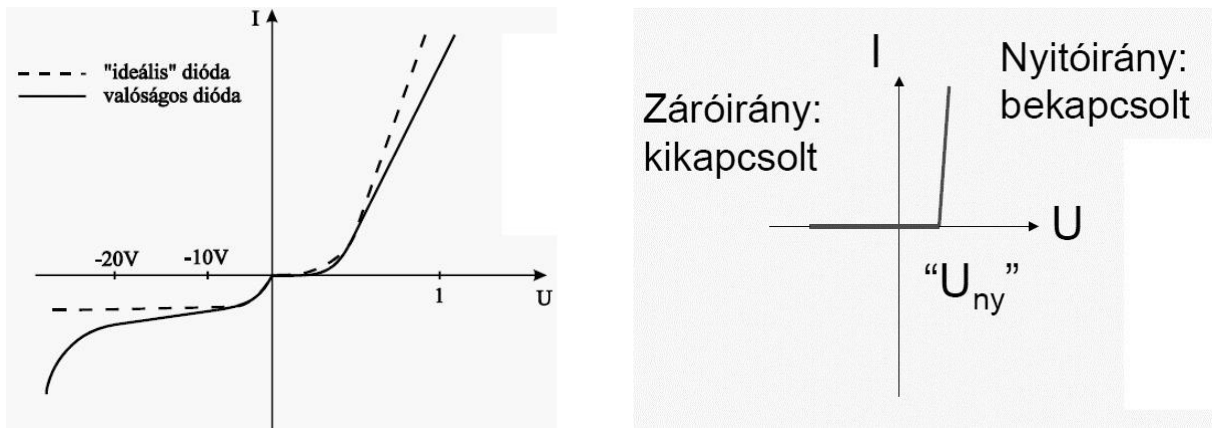


17. ábra. A valóságos kapcsoló

A valóságos kapcsoló jellemzői:

- Nem végtelen a nyitott állapotbeli ellenállás. Nyitott állapotban egy R_1 (véges) ellenállással (pl. szigetelési ellenállás) rendelkezik.
- Nem 0 a zárt állapotbeli ellenállás. Zárt állapotban rendelkezik egy R_2 (nem zérus) ellenállással (pl. átmeneti ellenállás).
- Zárt állapotban van maradékfeszültség.
- Nyitott állapotban van maradékáram.
- Teljesítményveszteség áll elő mind nyitott, mind zárt állapotban.
- Az átkapcsolás véges idő alatt megy végbe.

A félvezető dióda, mint kapcsoló



18. ábra. A félvezető dióda karakterisztikája

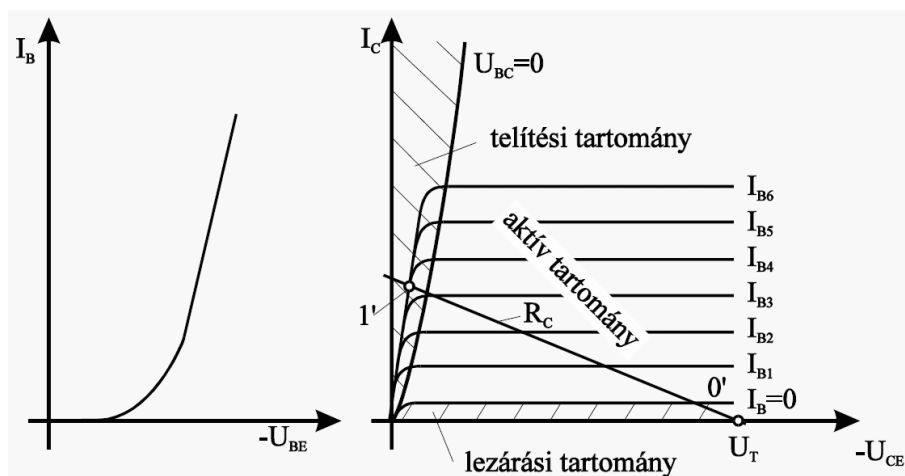
A 18-as ábrán látható a félvezető dióda karakterisztikája.

Kikapcsolt állapot: feszültségtől széles határok között független maradékáram, mai diódáknál gyakorlatilag elhanyagolható.

Bekapcsolt állapot: Az átfolyó áramtól kevésbé függő, néhány tized volt un. „nyitófeszültség” marad a diódán. U_{ny} - Si diódán 0,6-0,7 V.

A bipoláris tranzisztor, mint kapcsoló

A bipoláris tranzisztor karakterisztikái a 19-es ábrán láthatók. A bipoláris tranzisztor vezérelhető kapcsolónak tekinthető, a bázis-emitter diódára adott vezérlő feszültség dönti el, hogy a kollektor-emitter között közel szakadás vagy közel rövidzár lép fel.



19. ábra. A bipoláris tranzisztor karakterisztikái

Félvezető eszközökből felépített alapkapuk fizikai felépítése és működése

A ma használatos digitális áramköröket alapvetően kétállapotú, kapcsoló tulajdonságú elemekből építjük fel. Leggyakrabban az elektromos energia felhasználásával működő kapcsoló tulajdonságú elemeket használják.

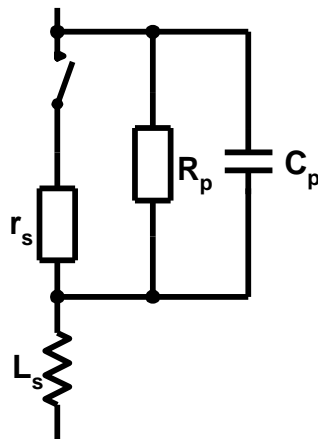
A kapcsolók tulajdonságai:

Egy ideális, kétállapotú kapcsoló lehetséges állapotai:

- Zárt állapot; ekkor a kapcsoló bekapcsolt állapotban van, rajta áram folyhat keresztül.
- Nyitott állapot; ekkor a kapcsoló kikapcsolt, szakadt állapotban van, rajta áram nem folyhat.

Az ideális kapcsoló zárt állapotában $0\ \Omega$ átmeneti ellenállást, míg nyitott állapotában végtelen ellenállást képvisel. Átkapcsolási ideje 0, az átkapcsoláshoz nem igényel teljesítményt, és a vezérlés és a kimenet között nem folyhat áram. A bemenetek és a kimenetek egymástól teljesen el vannak szigetelve. Az ideális kapcsoló zárt állapotában, a csatlakozó pontjai között nem mérhető feszültség, míg a kikapcsolt kapcsolón nem folyik áram.

A valós kapcsolót a 20-as ábrán bemutatott helyettesítő képpel tudjuk leírni. Amint látható, a bekapcsolt kapcsolóval, mindig sorba kapcsolódik egy r_s soros ellenállás, mely az alkalmazás során átfolyó áram hatására egy U_m maradékfeszültséget eredményez. A kikapcsolt kapcsolóval párhuzamosan kapcsolódik egy R_p párhuzamos ellenállás. A gyakorlatban ennek hatását a kikapcsolt kapcsolón folyó I_z szivárgási árammal vesszük figyelembe.



20. ábra. Egy valós kapcsoló helyettesítő képe

A valós kapcsolónál mindig fellép egy soros L_s induktivitás és egy párhuzamos C_p kapacitás is. Hatásukat a dinamikus működés vizsgálatánál vesszük figyelembe.

A valós kapcsolók jellemzői:

- Bekapcsolt állapotában a kapcsoló átmeneti ellenállása nem 0, és fellép egy U_m maradékfeszültség.
- Kikapcsolt állapotban folyik egy I_z szivárgási áram.
- Az átkapcsolási idő nem 0.
- A vezérlés kíván egy bizonyos, nem 0 teljesítményt.
- A bemenet, kimenet(ek) elszigeteltsége nem mindig tökéletes.

Elektromosság felhasználásával működő logikai elemek

Kapcsolókkal a kialakítástól függően áram, illetve feszültség alapú logikákat lehet kialakítani.

Áram logikáról beszélünk, ha az adatvivő fizikai mennyiség áramlási útvonalának kapcsolásával alakul ki a logikai kapcsolat. A jelvivő van áram, nincs áram rendszerben változik.

Feszültség logika esetén a jelvivő a feszültség szint nagysága: alacsony szint, illetve magas szint formájában. A kapcsolat a bejövő szintek aktuális értékének és a kialakítandó logikai kapcsolatnak megfelelően biztosítja a kimenetek feszültség értékének a beállítását. A bemeneti vezérlés is történhet árammal, illetve feszültséggel. Ennek megfelelően különféle, sokszor vegyes megoldások léteznek. Az áram és a feszültséglogika között megfelelő alkatelem felhasználásával váltani lehet.

A logikai szintek kialakításakor mindig sávokról beszélhetünk, hiszen csak két érték tartományt, illetve átmenetként a köztes, ebből a szempontból nem értelmezettnek tekintett tartományt használjuk.

A feszültség logika jellemzői:

- Két szinttartományt különböztetünk meg, egy alacsony (Low) [előjeles értékben kisebb] ez a pozitív tápfeszültség esetén a fölpotenciálhoz közeli, és egy magas (High) [előjeles értékben nagyobb] pozitív tápfeszültségnél a tápfeszültséghez közeli sávot. Valós értékük áramköri méretezés eredménye. A tápfeszültség elvileg lehet pozitív és negatív is.
- A két tartomány logikai állapothoz rendelése, választás kérdése, így ha a logikai 1 a magasabb szintű tartomány, mint a 0 szinthez rendelt, pozitív, míg ellenkező esetben negatív szintű logikáról beszélünk.
- Ma elsősorban pozitív tápfeszültségű pozitív logikát használunk. Ekkor az alacsony szinttartományt 0-tól, a referencia földponttól számítjuk.
- A jelszintek megőrzéséhez szükséges aktív, szinthezreállító elemek beépítése. A használatos, aktív elemeket tartalmazó kapcsolások ezt biztosítják.

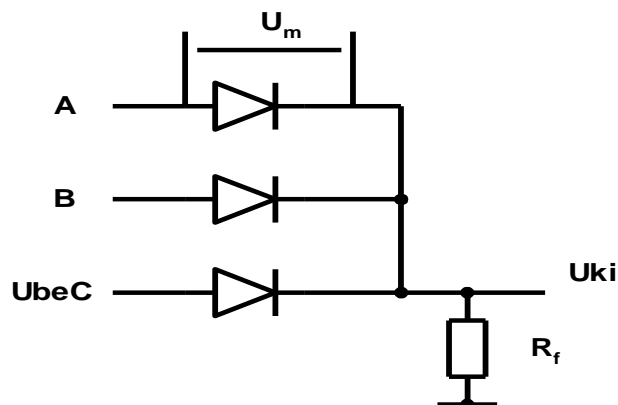
Diódás logikák

Diódás VAGY kapu

A diódás VAGY kapu a 21-es ábrán látható. Ez tulajdonképpen a „nyitóirányú üzemmód”. Ha a dióda anódjára kapcsolt feszültség pozitívabb UNY feszültséggel, mint a katód, akkor a dióda kinyit. Szükségünk van egy R_f munkaellenállásra, mely az anódon fellépő, magas U_{beH} feszültség szint hatására átfolyó áramból, egy U_{kiH} kimeneti feszültség szintet alakít ki.

Ha valamelyik bemeneten 0 V van, a hozzá tartozó dióda lezár, ez a bemenet leválasztódik, nem zavarja a kimeneti logikai 1 feszültség kialakulását. Ha VAGY az A, VAGY a B... (valamelyik) bemenetre pozitív feszültséget adunk, akkor az illető bemenethez tartozó dióda kinyit, mivel az anódja pozitív feszültséget kap. A nyitott dióda katódja néhány tized V-tal, a nyitófeszültséggel negatívabb anódjánál, vagyis a kimenet feszültsége is pozitív, logikai 1 szintű.

Ha minden bemeneten alacsony feszültség szint van, ekkor nem tud áram folyni, a diódák lezárnak. Ekkor a kimenet feszültségét az R_f ellenálláson átfolyó áram állítja be, az U_{kiL} = alacsony feszültség szintre.

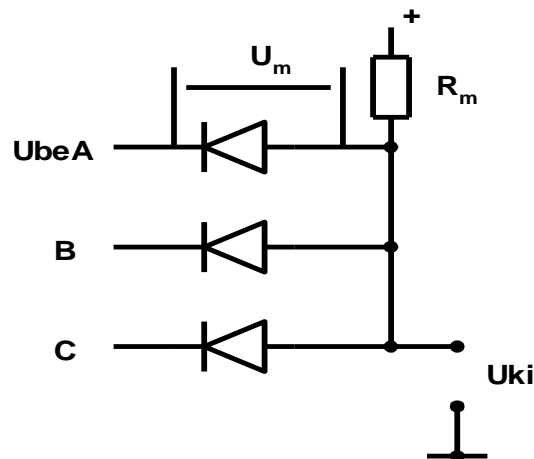


21. ábra. Diódás VAGY kapu, pozitív tápfeszültségű pozitív logika esetén

Diódás ÉS kapu

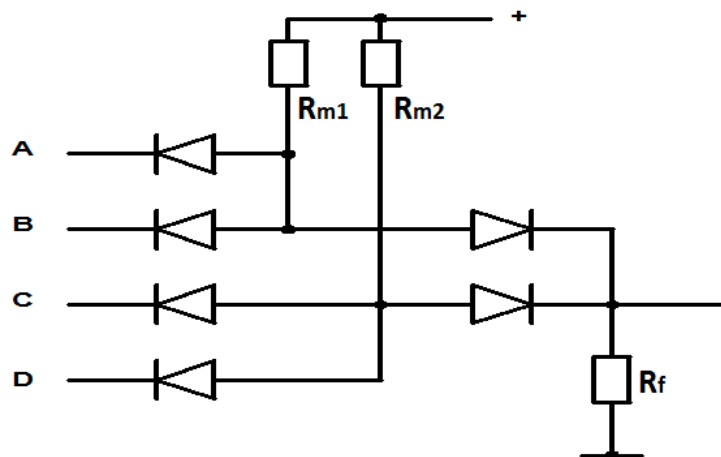
A diódás ÉS kapu a 22-es ábrán látható. Az R_f ellenállás a kimenet feszültségét pozitív feszültségre igyekszik felhúzni. Ha azonban akár egyetlen bemenetet is összekötünk a 0 V-os vezetékkel, akkor az ehhez a bemenethez tartozó dióda kinyit és a kimeneten kis pozitív, gyakorlatilag zérus potenciál, vagyis logikai 0 jelenik meg.

A diódákon most akkor folyik áram, ha a hozzátartozó bemeneten alacsony L feszültség szint van. Bármelyik bemeneten lévő alacsony szint esetén a hozzátartozó dióda kinyit és az R_f munkaellenálláson áram folyik. A kimeneti szint a bemenet feszültsége plusz a dióda maradék feszültsége. $U_{kiL} = U_{beL} + U_m$. Ha mindegyik bemenet magas szinten van, akkor az összes dióda lezár, és a kimeneten magas szint jelenik meg. A diódákon ekkor a dióda típusának megfelelő záró irányú áram folyik.



22. ábra. Diódás ÉS kapu

Diódás kapuknál a diódákon létrejövő feszültségesés szinttorzulást okoz. Pl. ha $U_T = 5V$, akkor a szokásosan használt szilíciumdiódák esetén $U_m = 0 - 0,7 V$, így a magas szint a bemeneti magas szint és a tápfeszültség közötti érték. A torzulás alacsony szintnél, ahol a $0 V$ helyett $0,7 V$ áll elő, káros. Kiküszöbölhető, ha a következő fokozat ellenirányú diódát tartalmaz. Vagyis a diódás ÉS-VAGY kapu, a szintek szempontjából hasznos elem. A diódás ÉS-VAGY kapu látható a 23-as ábrán.



23. ábra. Diódás ÉS-VAGY kapu

Diódás logikával nem lehet jelregenerálást végezni, és invertert létrehozni. Erre a feladatra csak a hárompólusú elemek képesek. Fontos szempont viszont, hogy a diódákkal kialakított kapuk összeférnek mindegyik ma használatos logikai elemmel, és egyszerű módosításoknál hasznos kiegészítéseket adhatnak. Ezért alkalmazásukkal számtalan helyen lehet találkozni.

Hárompólusú félvezető kapcsolókkal megvalósított logikai elemek.

A hárompólusú félvezető elemek főbb alaptípusai:

- Bipoláris tranzisztorok áramvezérlésű kapcsolóelemekként
- Bipoláris tranzisztor és Zener dióda kombinációja
- Záróréteges térvezérlésű tranzisztorok
- Szigetelt vezérlő elektródájú térvezérlésű tranzisztorok
- Tirisztorok
- Triakok
- Egyéb félvezető alapú kapcsolók
- Optoelektronikai eszközök
- Tisztán fényt alkalmazó eszközök

Integrált áramkörnek nevezzük azt a technológiai megoldást, ahol az áramkör elemeit egy egységes hordozón, roncsolás nélkül bonthatatlanul építenek össze. Fontos alaptípusuk a félvezető alapú integrált áramkör. Itt aktív és passzív alkatelemek ugyanabból a félvezető alapanyagból, a tulajdonságukat módosító idegen atomok szerkezetbe építésével alakítanak ki. A digitális technikában, ha IC-ről (Integrated Circuit), vagyis integrált áramkörrel beszélünk, alapvetően mindig a félvezető alapú megoldásra kell gondolnunk.

Ebben a segédletben a bipoláris és az unipoláris tranzisztorokkal megvalósított logikai elemekkel foglalkozunk.

A félvezető kapcsoló elemek felhasználása logikai elemekben:

- A bipoláris tranzisztorokkal hozták létre az első félvezető logikai elemcsaládokat. Ebből a típusból készült 1958-ban az első integrált áramkör. A bipoláris tranzisztor áramvezérelt eszköz. A működő kapcsolások kialakításához kiegészítő elemként ellenállásra van szükség. Emiatt és az áramvezérlés igénye miatt a kapcsolások teljesítmény felvétele viszonylag nagy. A tisztán bipoláris áramkörökből létrehozott családok használata ma már háttérbe szorul. Más elvű félvezetőkkal kombinálva azonban továbbra is jelentős szereppel bírnak.
- Záróréteges térvezérlésű tranzisztorokat nem használnak logikai áramkörökben.
- Szigetelt vezérlő elektródájú térvezérlésű tranzisztorok (IGFET = Field Effect Transzistor) napjainkban az integrált áramkörök egyik legfontosabb alapelemei. Feszültségvezérelt eszközök, emiatt és néhány kapcsolástechnikai fogás miatt teljesítményfelvételük kicsi. Jó néhány alaptípusuk létezik. A ma használatos elemek közül a legfontosabb típusok:
- N-csatornás szigetelt vezérlő elektródájú térvezérlésű tranzisztornak, röviden, de nem pontosan n-FET-nek (a CMOS technológiában a növekményes típusokat használják) említjük a pozitív feszültségre nyitó, alacsony (0) szintre záró típust.
- P-csatornás szigetelt vezérlő elektródájú térvezérlésű tranzisztornak p-FET-nek említjük a pozitív feszültségre záró, alacsony (0) szintre nyitó típust.

A 24-es ábrán láthatók a digitális áramkörökben használt n-FET és p-FET elemek rajzi jelölései.



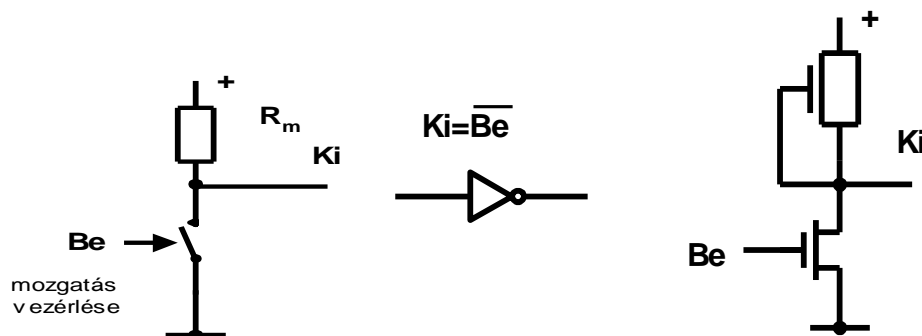
24. ábra. Digitális áramkörökben használt n-FET és p-FET elemek elvont rajzi jelölései

Egytípusú, szigetelt vezérlő elektródájú tranzisztorokból felépített logikai kapcsolások

A szigetelt vezérlő elektródájú térvezérlésű tranzisztorok, megfelelő bekötés esetén (nagy értékű) ellenállásként is használhatók. Ezt a tulajdonságukat kihasználva hozták létre az első kapcsolásokat először p csatornás, majd a technológia fejlődésével a gyorsabb n csatornás térvezérlésű tranzisztorokból. Belőlük lettek kialakítva az első nagyintegráltságú elemek.

Inverter

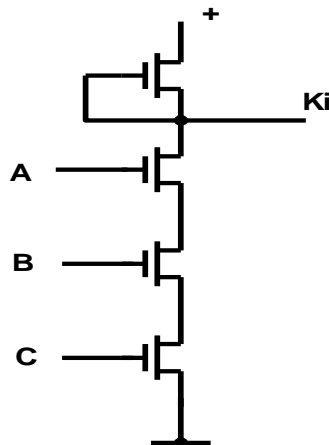
Az inverter megvalósítása látható a 25-ös ábrán. A föld felé egy záró működésű tranziszzor van beépítve. A tápfeszültség felé egy ellenállásnak kapcsolt tranziszzor. Amennyiben a bemenetre 0 szintet kapcsolunk, a tranzisztor le van zárva, és a kimenetre az R_m ellenálláson keresztül, a tápfeszültség által megszabott szint kerül. A kimenet feszültsége, az átfolyó áramtól függ. Ha a bemenetre magas szintet kapcsolunk, a tranzisztor kinyit, vagyis záródik a kapcsoló, a föld felé áram folyik. Az áram két részből tevődik össze. Egyrészt az R_m munkaellenálláson átfolyó áramból, másrészt a terhelő kapcsolások által felvett áramból. A kimenet feszültsége a bekapcsolt tranzisztor maradék ellenállásától és az átfolyó áramtól függő, kis értékű maradék feszültség. Minden logikai kapcsolásra megadják a kimeneti szintek függvényében, a helyes működéshez még megengedhető, maximális terhelő áramot.



25. ábra. n csatornás FET-el kialakított INVERTER. Helyettesítő képe és az áramkör valós kapcsolása, a munkaellenállásnak kötött FET kihangsúlyozásával.

ÉS-NEM (NAND) kapu

A NAND kapu megvalósítása látható a 26-os ábrán. Sorba kötjük a bemenetszámnak megfelelő számú tranzisztort, és a sor alsó pontját a földhöz, felső pontját a kimenethez kötjük. A magas szintet itt is a kimenet és a tápfeszültség közé épített ellenállásnak kapcsolt FET biztosítja. Ha bármelyik bemeneten alacsony szint van, az általa vezérelt tranzisztor lezár, a kimeneti pont a felhúzó ellenálláson folyó áram hatására magas szintre kerül. Amikor az összes bemeneti tranzisztort a magas szintű vezérlő jelek kinyitják, a kimenet a földhöz közeli potenciálra kerül, teljesül a kapu logikai feladata.

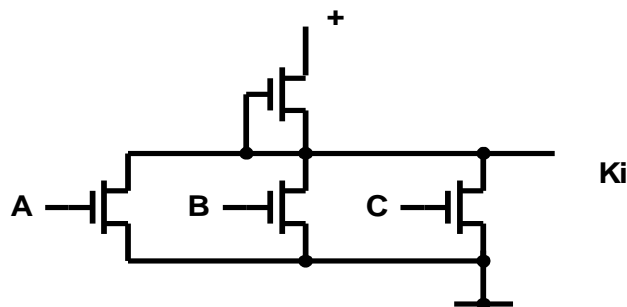


26. ábra. n csatornás FET-el kialakított ÉS-NEM kapu

VAGY-NEM (NOR) kapu

A NOR kapu megvalósítása látható a 27-es ábrán. Most párhuzamosan kötjük a földágból lévő tranzisztorokat. Az ellenállást az eddig megismerttel azonosan használjuk. Ha mindegyik bemeneten alacsony szint van, lezár az összes tranzisztor, a kimenet magas szintre kerül. Amennyiben bármelyik bemenet magas szintű vezérlést kap, kinyit a hozzá tartozó tranzisztor és a kimenet alacsony szintre kerül.

Látható, hogy az aktív elektronikai hárompólusokkal kialakított összes alapkapcsolás invertáló jellegű. ÉS, illetve VAGY függvény létrehozásához, még egy sorba kötött inverterre van szükségünk.



27. ábra. n csatornás FET-el kialakított VAGY-NEM kapu

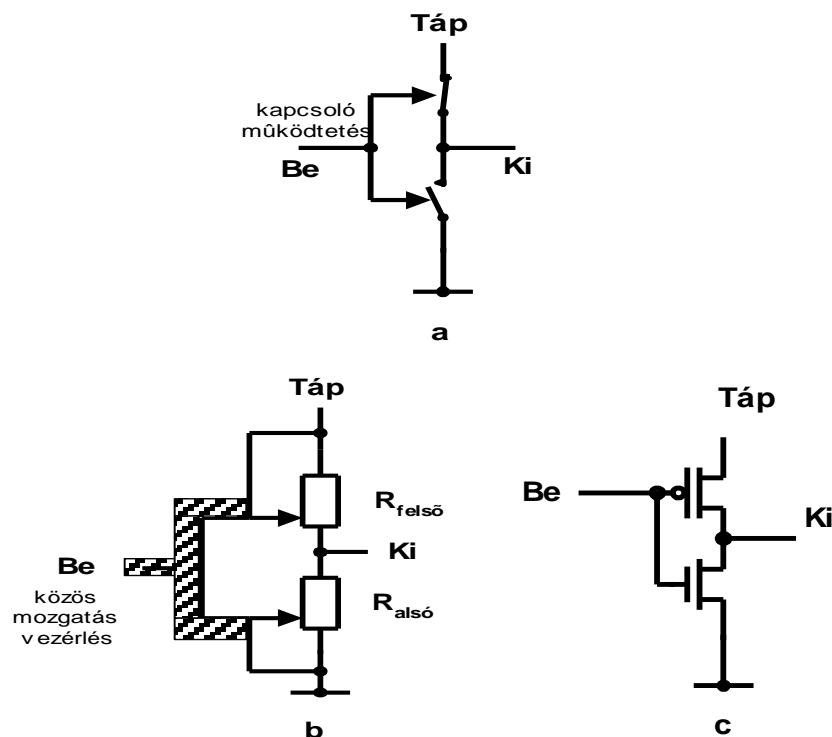
Kiegészítő kapcsolós (CMOS) logikák

Inverter

A kétféle vezérlésű IGFET-eket kihasználva, lehetséges olyan kapcsolások kialakítása, ahol csak kapcsoló üzemű tranzisztorokat használunk, és nincs a kapcsolásban ellenállás.

A kiegészítő kapcsolós CMOS inverter kialakítása látható a 28-as ábrán. Az alapelveket az Inverter kapcsolásán, ideális kapcsolókat feltételezve mutatjuk be. A kapcsolás két közös vezérlésű kapcsolóból épül fel. A záró kapcsolót a föld és a kimenet közé, míg a nyitó kapcsolót a kimenet és a tápfeszültség közé kötjük. Ha a bemenetre alacsony szintet vezetünk, az alsó kapcsoló zárva, a felső nyitva van és a kimenetre a magas szint, vagyis a tápfeszültség kerül. Amikor a bemenet magas szintű az alsó kapcsoló kinyit, felső lezár, a kimeneten az alacsony szint, a föld jelenik meg. Látható, hogy a kapcsolás alap kérdése, a 0 idő alatt történő átkapcsolás, vagyis, hogy a felső és az alsó kapcsoló egy időben ne legyen nyitva, mert ekkor a tápfeszültség és a föld között korlátozás nélküli áram folyna, az eszköz tönkre menne. A valós IGFET-ek működési karakterisztikája megoldja ezt a kérdést. Egy valós vezérelt FET úgy viselkedik, mint egy változtatható ellenállás, melyet a kikapcsolt értéktől, tulajdonképpen igen nagy, több $M\Omega$ -s értéktől a teljes bekapcsolásig, néhány száz $10\ \Omega$ -ig változtatunk. A két IGFET ellenállása ellentétesen változik, így az átkapcsolás során mindig van egy jelentős áramkorlátozás a föld és a tápfeszültség között.

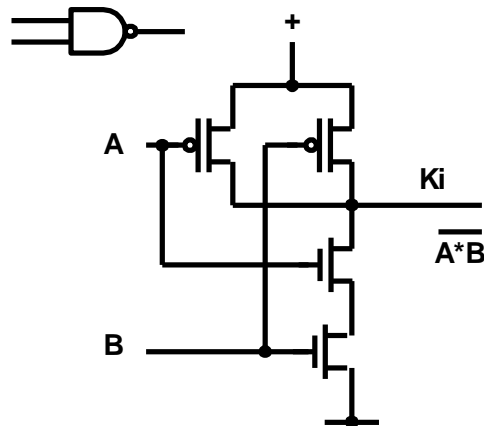
Az elmondottak alapján rögtön látszik a kiegészítő (komplementer) kapcsolós megoldás egyik előnye: Állandósult állapotban maga a kapcsolás nem vesz fel teljesítményt, csak az átkapcsolás alatt. A kimenet a két szinttartományban egyformán viselkedik.



28. ábra. Kiegészítő kapcsolós (CMOS) INVERTER felépítése és helyettesítő kapcsolásai

ÉS-NEM (NAND) kapu

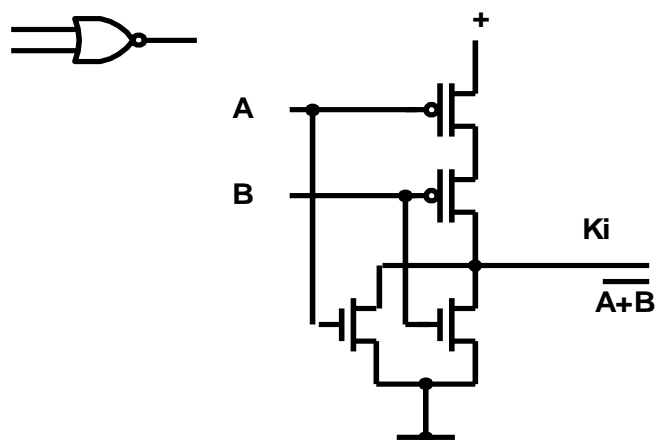
A CMOS NAND kapu látható a 29-es ábrán. A föld ágban sorba kapcsolt n csatornás tranzisztorok, a tápfeszültség ágban ugyanazokkal a bemenőjelekkel vezérelt párhuzamosan kötött p csatornás tranzisztorok helyezkednek el. Amikor bármelyik bemeneten alacsony szint van, a hozzátartozó n csatornás tranzisztor lezár, és a p csatornás tranzisztor kinyit. A felső ágban áram folyhat, a kimenet magas szintre kerül. Ha mindegyik bemenet magas szintű, a soros ág minden tranzisztora bekapcsol, egyúttal a felső ág minden tranzisztora lezár, a kimenet alacsony szintű lesz. A kapcsolás teljesítményt csak az átkapcsolás alatt vesz fel.



29. ábra. CMOS NAND kapu kapcsolási rajza

VAGY-NEM (NOR) kapu

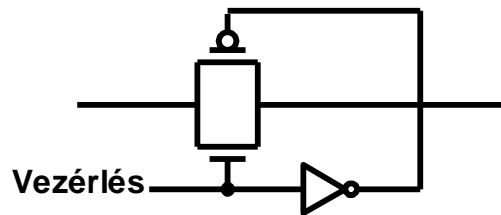
A CMOS NOR kapu látható a 30-es ábrán. Most a kapcsolás az előző felépítés tükörképe. Az alsó párhuzamos (Vagy-nem) ágban n csatornás, a felső soros ágban p csatornás tranzisztorokat építenek be. Most, ha bármelyik bemenet magas szintű, a hozzá tartozó n csatornás tranzisztor, az alsó ágban kinyit, a felső ágban levő p csatornás tranzisztor lezár, és a kimenet alacsony szintre kerül. Ha mindegyik bemenet alacsony szintű, az összes alsó tranzisztor lezár, a felsők kinyitnak, és a kimenet magas szintre kerül.



30. ábra. CMOS NOR kapu kapcsolási rajza.

Áteresztő kapu (transfer-gate) megvalósítása

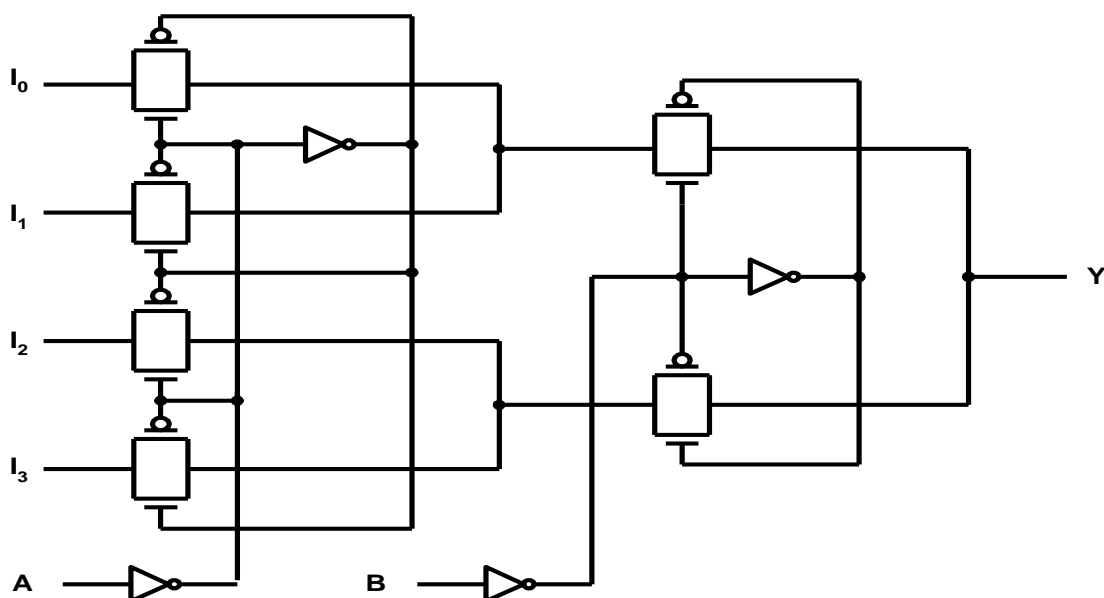
Az áteresztő kapu megvalósítása látható a 31-es ábrán. A CMOS kapcsolástechnika nagyon fontos eleme, a soros kapcsolóként (áramlogika) használható áteresztő kapu. Az áteresztő kapu megvalósításához – a kisebb csatorna ellenállás megvalósíthatósága miatt - két darab párhuzamosan kapcsolt tranzisztort, egy n, és egy p csatornást használunk fel. Mivel a két típus ellentétes vezérlés hatására nyit ki, illetve zár le, most az egyforma működtetés érdekében a két tranzisztort, egy inverter felhasználásával ellentétesen vezéreljük.



31. ábra. Áteresztő kapu (transfer-gate) kialakítása.

Adatirányító kialakítása áteresztő kapu felhasználásával

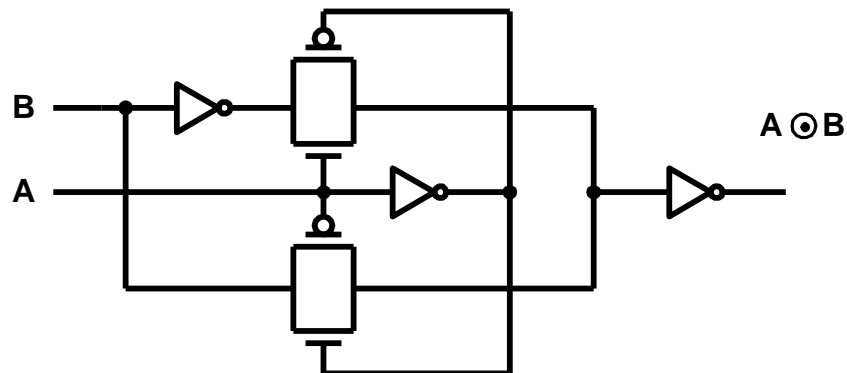
Áteresztő kapukkal megvalósított, analóg jelre is használható adatirányító látható a 32-es ábrán. A kiválasztásra szolgáló bitekkel tulajdonképpen megcímezzük multiplexernél a kívánt be, demultiplexernél a kimenetet, és a kiválasztott kapuk bekapcsolásával biztosítják a soros adat utat. Az áteresztőkapu mindkét irányba vezet, így könnyedén kialakítható az analóg multiplexer/demultiplexer áramkör, ahol a kinyitott kapu átmeneti ellenállását igyekeznek kisebbre megvalósítani a tisztán az áramkör belsejében működő, digitális célú áramkörökben használttal szemben.



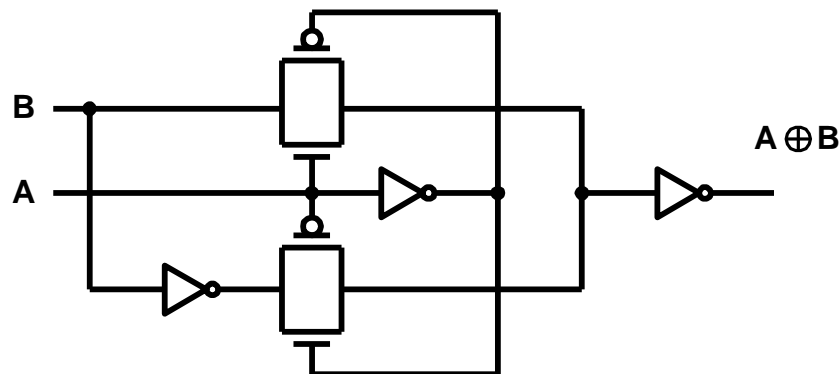
32. ábra. Áteresztő kapukkal megvalósított, analóg jelre is használható adatirányító.

AZONOSSÁG (EKVIVALENCIA) és KIZÁRÓ-VAGY (EXOR) kapu megvalósítása áteresztő kapu felhasználásával

Az EKVIVALENCIA kapu megvalósítása a 33-as, az EXOR kapu megvalósítása a 34-es ábrán látható. A multiplexer sajátos alkalmazása az EKVIVALENCIA, és negáltja a KIZÁRÓVAGY kapu CMOS-beli megvalósítása. Mindkét függvénynél az egyik bemenettel választjuk ki, hogy a másik bemenet ponált, vagy negált értéke kerüljön a kimenetre. A két bemenet viselkedése a kimenet szempontjából teljesen szimmetrikus. A kétféle függvény megvalósítása csak abban tér el, hogy a bemeneti invertert melyik ágba kötjük.



33. ábra. EKVIVALENCIA kapu kialakítása



34. ábra. EXOR kapu kialakítása

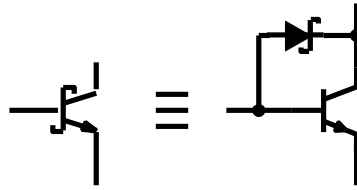
Bipoláris tranzisztorokból megvalósított logikai áramkörök

A bipoláris tranzisztor, kapcsoló üzemi működése

Egy tranzisztor vezérlésének durva közelítésben három szakasza van, ezen belül két szélső állapotot különböztetünk meg:

- A bázis feszültsége alatta van a bázis-emitter dióda nyitó feszültségének, a bázisban nem folyik áram, ennek következtében a kollektor körben sem folyik vezérelt áram, a tranzisztor lezár, szakadásként viselkedik. Ilyenkor csak 10-100 μA nagyságú, úgynevezett maradék kollektor áram mérhető.
- A bázisra kapcsolt feszültség növelésével a bázis-emitter dióda kinyit, bázisáram folyik és vele arányos kollektor áram mérhető. Ebben a tartományban használjuk a tranzisztor erősítőként.
- A bázisáram további növelésével elérjük a teljesen bekapcsolt tartományt, ekkor a kollektor áram felvesz egy maximális, a bázisáram értékétől független telítési értéket. Az emitter és a kollektor között egy minimális, a kinyitott tranzisztorra jellemző maradékfeszültség, az úgynevezett szaturációs feszültség (U_m) mérhető. A digitális technikában alkalmazott integrált áramköri tranzisztorok maradék feszültsége a tranzisztor típusától függően 0,4, 0,5V körül van. A bipoláris tranzisztor bekapcsolásakor, a minden példánynál biztosan előálló bekapcsolt üzemi biztosításához a tranzisztorokat a bekapcsoláshoz szükséges bázisáram többszörösével kell vezérelni. Ez a vezérlés többlet töltés bepumpálásával telítésbe viszi a bázis emitter átmenetet. A kikapcsoláskor ezt a többlettöltést el kell szállítani a telítésbe vezérelt tranzisztorból, ami időt igényel. Tehát bekapcsoláskor a nagy árammal túlvezérlés a célszerű a tranzisztor gyors bekapcsolásához, míg kikapcsoláskor a többlettöltések elszállítása gondot, holtidőt jelent. Megoldást, a tranzisztor kapcsoló üzemi működésének gyorsítását, a telítés megakadályozása, annak csak határhelyzetébe vezérlése jelenti. Ezt egy a kollektor és a bázis közé bekötött, úgynevezett telítéskorlátozó dióda használatával érik el. Erre a célra a gyors működésű fém-félvezető típusú, úgynevezett Shottky-Barrier diódát használnak. Az így kialakított kapcsolást Shottky tranzisztoroknak nevezik.

A telítéskorlátozás működése: Ha a bázison alacsony szint van, bázisáram nem folyik, a tranzisztor le van zárva, kollektorán a külső elem(ek) által meghatározott magas szint van. Amikor a bázist magas szintű meghajtás következtében árammal vezéreljük, a tranzisztor kinyit, kollektora alacsony szintre kerül, és a kis nyitófeszültségű diódán keresztül megfogja a bázis szintjét, a telítéshez szükséges áram határhelyzetében. Ezáltal megakadályozza a telítést, és a tranzisztor kikapcsolása gyorsan megtörténhet. Vagyis telítésbe vezérlés (gyorsított bekapcsolás) csak a bekapcsolt állapot eléréséig van, utána annak határhelyzetében tartva a vezérlő áramot, nincs a kikapcsoláskor holtidő, a tranzisztor maximális sebességgel lezárható. A telítéskorlátozott tranzisztor felépítése a 35-ös ábrán látható.



Shottky tranzisztor

35. ábra. Telítéskorlátozott tranzisztor felépítése

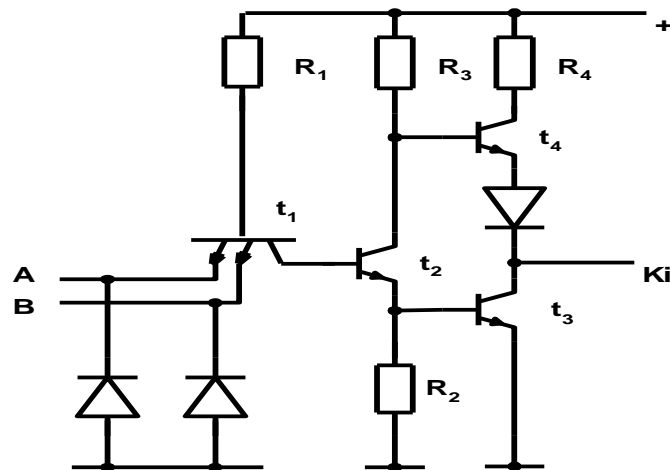
Bipoláris tranzisztorokból megvalósított ÉS-NEM (NAND) kapu felépítése

A bipoláris tranzisztoros NAND kapu megvalósítása a 36-os ábrán látható.

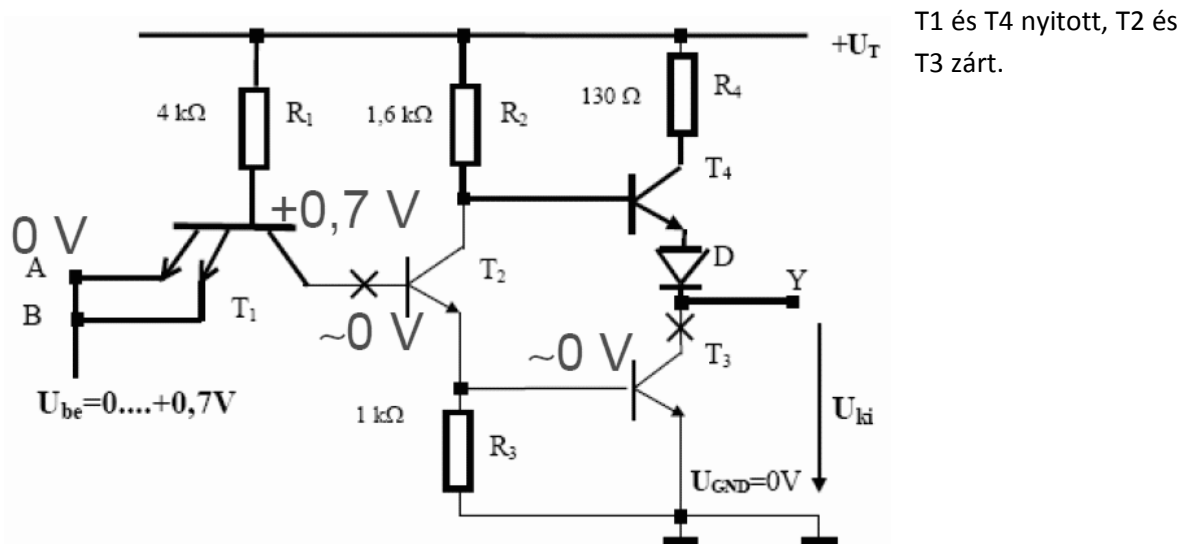
Az ÉS kapcsolatot diódás kapuból valósítják meg. A diódás szinthyelyreállító kapcsolás kiképezhető úgy is, hogy egy tranzisztornak több emittert és egy kollektort alakítanak ki. Ez az úgynevezett több emitteres tranzisztor.

A bipoláris sorozatokat Tranzisztor-tranzisztor logikának, TTL-nek nevezik. A diódás ÉS kaput egy negáló tulajdonságú kimeneti meghajtó fokozat követi. A t_2 tranzisztor, mint fázishasító fokozat működik, és biztosítja a kimeneti Totem-pole végfokozat helyes meghajtását. Ha a logikai kapcsolat eredménye alacsony szint ($A=0$ vagy $B=0$, vagy mindkettő 0), a fázishasító tranzisztor t_2 lezár, az R_2 ellenállás a föld felé viszi a t_3 tranzisztor bázisát, erre a t_3 is lezár. Az R_3 -n keresztül folyó áram kinyitja a felső t_4 tranzisztert, és a kijárat magas szintre kerül. A magas szint meghajtását az R_4 -n keresztül korlátozott áram biztosítja. Amikor teljesül az ÉS feltétel, ($A=1$ és $B=1$) az R_1 ellenálláson keresztül folyó áram nyitásba vezérli a t_2 tranzisztert. Ennek hatására R_2 -n megemelkedik a feszültség, és áram folyik a t_3 tranzisztor bázisába. A t_3 kinyit és a maradékfeszültsége képviseli az alacsony szintet. Most az R_3 alsó fele a t_2 kinyitása miatt alacsonyabb szinten van a korábbiánál, ez nem elég a t_4 tranzisztor kinyitásához, az lezár. Az átkapcsolás során az R_4 korlátozza az esetlegesen folyó áramot. A felső ággal sorba kötött dióda a t_4 tranzisztor emitter pontját megemeli, ezzel is segíti a zárás kialakulását.

A fejlődés során a sebesség növelése, az áramkör paramétereinek javítása, valamint a külső negatív lengés elleni védelem céljából számtalan kiegészítő elemet építettek be. A gyors sorozatokban a kimeneti felső tranzisztert kivéve, mely sohasem kerülhet telítésbe, az összes tranzisztor telítéskorlátozott Shottky tranzisztor.



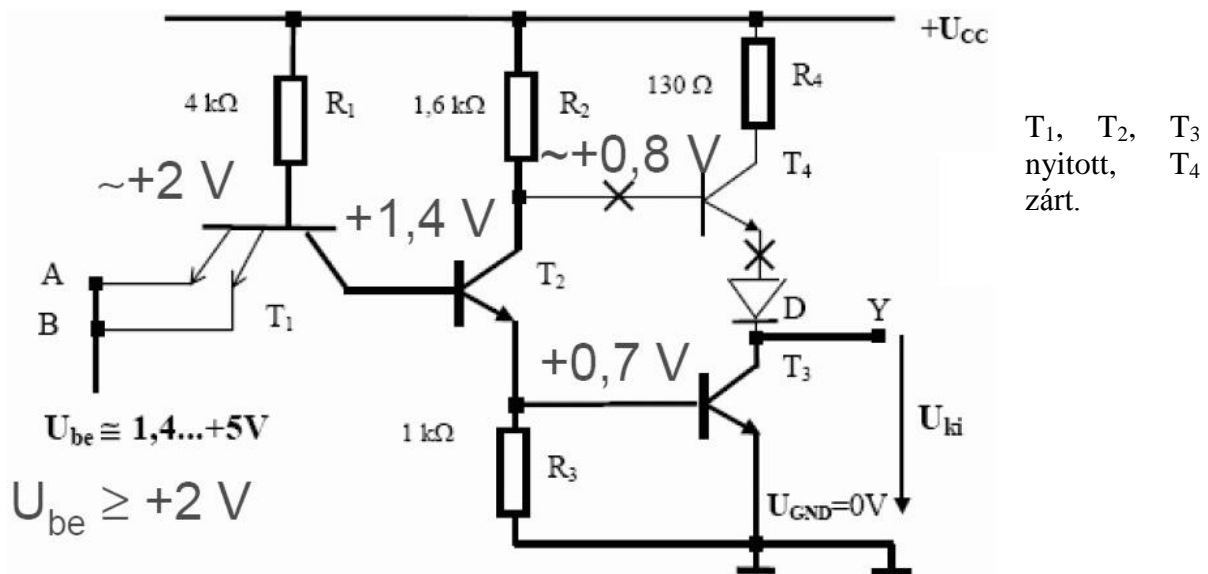
36. ábra. Két bemenetű NAND (ÉS-NEM) kapu (7400) felépítése, bipoláris tranzisztorokkal megvalósított TTL logika esetén.



37. ábra. Két bemenetű NAND (ÉS-NEM) kapu működésének szemléltetése.

A bipoláris tranzisztoros NAND kapu működését a 37-es és a 38-as ábra szemlélteti.

Ha az áramkör legalább egyik, vagy mindkét bemenetén az U_{be} feszültség a $0 < U_{be} < 0,7V$ feszültségtartományba esik, akkor a T_1 tranzisztor normál telített üzemmódban van, mivel bázisa az R_1 ellenálláson keresztül az U_T tápfeszültségre kapcsolódik. A tranzisztor kollektor-feszültsége a maradék feszültséggel ($0,1 \dots 0,2 V$) pozitívabb az emitter feszültségénél. Ez az alacsony szint még zárva tartja a T_2 tranzisztort. A T_3 tranzisztor is zárt, mivel nem kap nyitóirányú bázisáramot. A T_4 tranzisztor az R_3 ellenálláson folyó bázisáram hatására vezet. A kimeneti feszültség (U_{ki}) az R_4 ellenálláson, a nyitott T_4 tranzisztoron és a D szinttoló diódán keresztül magas pozitív feszültségű lesz, amely a logikai 1 szint. Jellemző értéke terheletlenül $+3,6 V$.



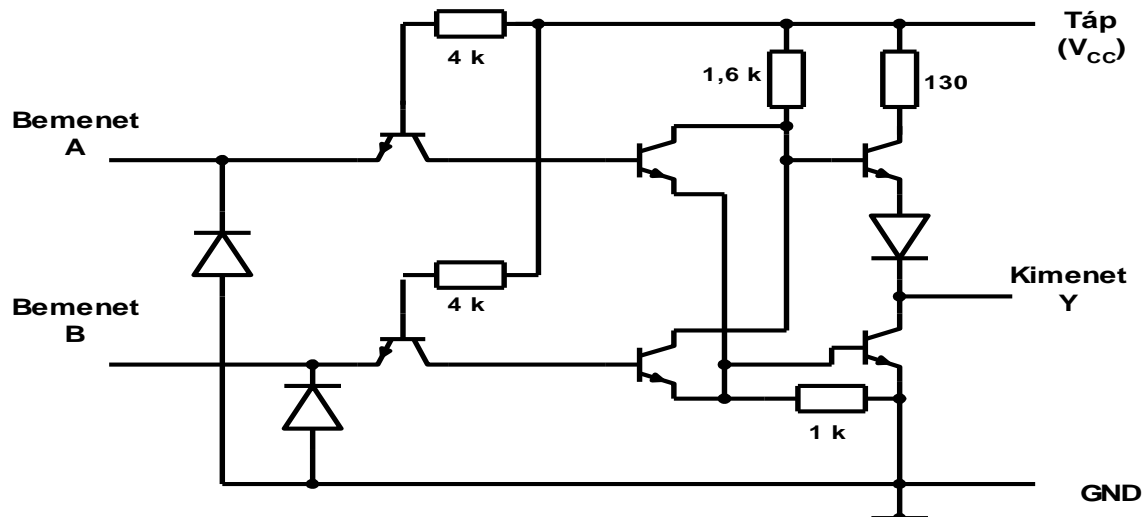
38. ábra. Két bemenetű NAND (ÉS-NEM) kapu működésének szemléltetése.

Ha az $U_{be} > 1,4V$, akkor a T_2 és T_3 tranzisztor is telítésbe kerül. A kimenő-feszültség logikai 0 szintű lesz, és értéke a telített T_3 tranzisztor maradékfeszültsége ($0,1 \dots 0,2V$) lesz. Amikor a T_2 telítetté válik, akkor kollektorán kb. $0,8 \dots 0,9V$ lesz a feszültség. Ez egyúttal a T_4 tranzisztor bázisfeszültsége is. Ez az érték az U_{ki} -nél csak $\sim 0,7V$ -al pozitívabb, ami nem elég a T_4 tranzisztor és a D dióda nyitva tartásához, tehát a T_4 lezár. Az előzőekből lesz érthető a D szinttoló dióda szerepe. Megnövelte a T_4 nyitásához szükséges bázisfeszültséget. Ez teszi biztonságossá annak lezárását is.

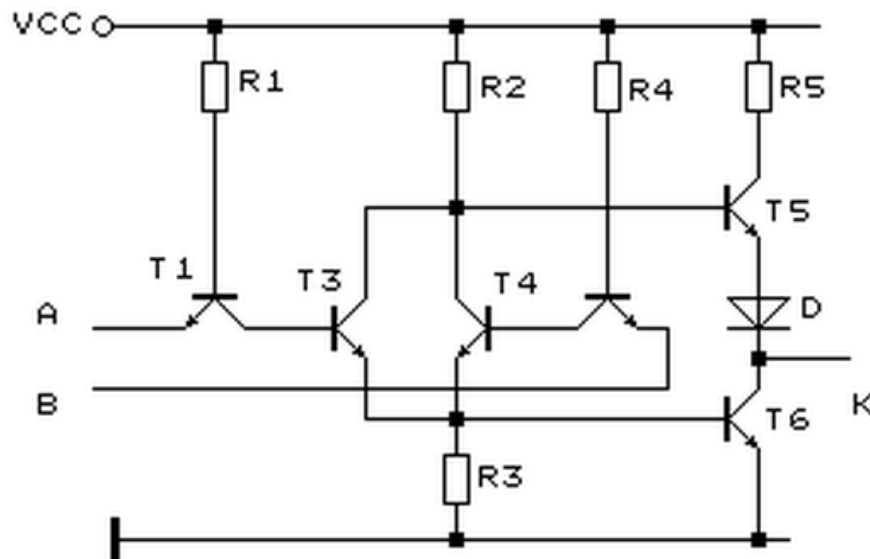
Bipoláris tranzisztorokból megvalósított VAGY-NEM (NOR) kapu felépítése

A bipoláris tranzisztoros NOR kapu megvalósítása a 39-es ábrán látható.

A TTL sorozatoknál a bemenetek azonos áramköri kialakítása, egybemenetű ÉS kapunak megfelelő felépítéssel történik. A VAGY funkciót a bemenetszámnak megfelelő számú fázishasító tranzisztor párhuzamos kapcsolása biztosítja. Bármelyik bemenet magas szintű, a hozzátartozó tranzisztor kinyit és biztosítja a kimenet alacsony szintű meghajtásához szükséges vezérlést. Ha a bemenetet ÉS kapunak alakítják ki, az elterjedten használt ÉS-VAGY-NEM kaput kapunk.



39. ábra. Két bemenetű bipoláris VAGY-NEM kapu (7402) áramköri rajza



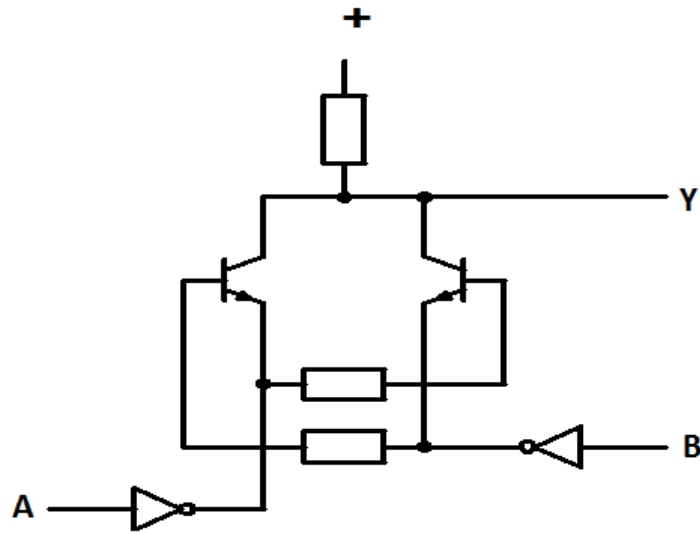
40. ábra. Két bemenetű NOR (VAGY-NEM) kapu működésének szemléltetése.

A működés a 40-es ábra alapján a következő: A kimenet logikai 1 szintű, ha a kimenő (totem-pole) fokozatot meghajtó T3, és T4 tranzisztorok zártak. Ekkor a T5 tranzisztor az R2 ellenálláson keresztül telítésbe kerül, s ugyanakkor a T6 tranzisztor lezár. A T3 és T4 tranzisztorok akkor zárnak, ha mind az A, mind pedig a B bemeneten logikai 0 szint van. Ha a bemenetek valamelyike vagy mindkettő 1 szintű vezérlést kap, akkor a bemeneti tranzisztor(ok) (T1 vagy T2, vagy mindkettő) inverz üzemmódban működik és a meghajtó tranzisztorok (T3, T4) közül az egyik vagy mindkettő nyit. A három kombináció mindegyikében a kimenet T6 tranzisztora nyit s így kollektorán - a kimeneten - logikai 0 szint lesz.

Elemi EKVIVALENCIA kapu megvalósítása bipoláris tranzisztorokból

Az EKVIVALENCIA kapu megvalósítása látható a 41-es ábrán.

Az EKVIVALENCIA és a KIZÁRÓ-VAGY kapu megvalósítására a bipoláris áramköröknél egy sajátos kapcsolás technikát alkalmaznak. A kapcsoló elem itt a bázisában és az emitterében vezérelt bipoláris tranzisztor. A közös kollektor pont akkor kerül alacsony szintre, ha az emittere alacsony szinten van és a bázisa egy magas szintű meghajtásból eredően nyitóirányú áramvezérlést kap.



41. ábra. EKVIVALENCIA kapu megvalósítása a TTL áramkörökben

(Félvezető alapú) Digitális áramkörök fizikai jellemzői

Bemutató a TTL és a CMOS technológia feszültség szintjeivel.

A digitális áramköröknél a logikai szintek részben a tápfeszültség, részben a méretezésből adódó értéktartományokat képviselnek. Ezen értéktartományoknak ismerete, a tervezéskor, és a mérés során is fontos. A digitális áramkörök kimenetei a technológiai soroknak megfelelő nagyságú áramokat képesek szolgáltatni, míg bemeneteik, szintén a technológiából adódóan meghatározott terhelő áramokat képviselnek.

Logikai áramkörök használatos szinttartományai

A ma használatos áramkör családok leggyakrabban egyetlen tápfeszültséget, egy pozitív tápfeszültséget használnak.

Történelmileg először az 5 V-ról működő TTL logika alakult ki. Az ott kialakított szintek a mai napig használatosak és irányadók. A kezdetektől fogva használatos volt egy 12 V-on működő CMOS áramkört család is, a maga jellegzetes a TTL-től részben eltérő feszültség szintjeivel.

A 90-es évektől egyre gyorsuló ütemben terjednek a csökkentett tápfeszültségű logikák, melyek új feszültség szintek megjelenéséhez vezettek.

Logikai áramkörök kimeneti és bemeneti szinttartományainak elkülönítése

Logikai áramköröknél az egyes értékek 0, illetve az 1, szinttartományokkal vannak képviselve. A tartományokból adódóan, a fizikai megjelenés során az egyértelműség végett alacsony szinttartományról L = Low voltage és magas szinttartományról H = High voltage beszélünk. A logikai 0, illetve 1 érték hozzájuk rendelése, végső soron egy definíció kérdése. Pozitív logikánál ez egyértelműen L = 0, és H = 1 hozzárendelést jelent.

A szintek határai más értékek a kimeneten, és a bemeneteken. A két sáv határai között helyezkednek el a zajtartaléknak nevezett sávok. A zajtartalék meglehetősen fontos a helyes, a környezet hatásait is tűrő működés szempontjából. A megadott határértékek a működés legrosszabb szélsőérték kombinációinál, a maximálisan megengedett kimeneti áramterhelés mellett is teljesülő értékeket jelentik. A szélsőértékek alatt a tápfeszültség megengedett tűréseinek, illetve a működésnél megengedhető hőmérséklet határoknak az adott technológiai családnál előforduló legrosszabb kombinációját értjük.

Az egyes logikai áramkör családok gyártók általi méretezésénél fontos szempont volt a kimenetek terhelhetősége, vagyis, hogy az egyes szinttartományoknál milyen maximális áram határértékek mellett biztosítják a kimenetek a garantált logikai szinteket. Fanin = a bemenet terhelése egy egységnek tekintett bemenő terheléshez képest arányszámban kifejezve. Fanout = a kimenet meghajtó-képessége a meghajtott bemenetek számával kifejezve. A bemeneti

terhelő áramok L és H szint mellett a különböző áramköri családoknál eltérően változnak, ezért egy adott áramkör, más családbeli elemmel való terhelhetőségének viszonyszámai L és H szint esetén erősen eltérhetnek.

A logikai áramkörök nem tartalmaznak beállító elemeket (mint például az analóg áramköri kapcsolások), ezért áramköri méretezésekor mindig worst-case, vagyis legrosszabb esetre méretezést kell alkalmazni.

Az általánosan használatos rövidítések:

U = feszültség

I = áram

L = Low = alacsony szinttartomány

H = High = magas szinttartomány

O = Output = kimenet

I = Input = bemenet

max. = legnagyobb érték

min. = legkisebb érték

U_{th} = érzékelési küszöb, az a szint, ahol az L-H, illetve a H-L átmenet során a bemenet a másik szinttartomány érzékelésére vált át. Az időzítések értékeit is általában ehhez a feszültség értékhez képest adják meg.

A Klasszikus (5 V) logikai családok

TTL logika esetén használatos szinttartományok

A TTL áramkör család tervezésekor a tápfeszültség választás szempontja, a biztos működés, elfogadható fogyasztás és sebesség, valamint a hosszútávon realizálható alkatrész megvalósítás volt. Ma már látható, hogy a technikában addig nem tapasztalt mértékű fejlődés mellett is, jó 25-30 évig a tápfeszültség választás maradandónak bizonyult.

A TTL logika feszültség szintjei

U_{táp} = 5 V

U_{OLmax} = (0,4) 0,5 V

U_{OHmin} = (2,4) 2,7 V

U_{ILmax} = 0,8 V

U_{IHmin} = 2 V

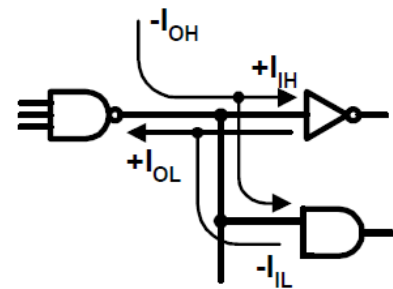
U_{th} = 1,3 és 1,5 V között

A zárójeles értékek a kezdeti, mára már megszűnt úgynevezett normál sorozatra, a zárójel nélküli értékek az integrált logikai áramkörök nagyméretű elterjedésekor jellemző telítéskorlátozott: S Shottky, LS Low Power Shottky, ALS, AS, F sorozatokra igazak.

A kimeneti kötelezően betartandó, és a bemeneti elvárt feszültségek különbsége alacsony szint esetén minimum 0,3 V, magas szint esetén minimum 0,4 V, inkább 0,7 V. Látható, hogy a zajtartalék a méretezhető magas szint esetén jobb. Ez is a jó földelés kialakítás követelményét hangsúlyozza.

Az előjeles áramirányokat szemlélteti a 42-es ábra. Az áramirányoknál az előjelek értelmezése: + irányú áramnak tekintjük, az áramkör lábán az integrált áramkör belseje felé folyó áramot. Negatív irányú áramnak tekintjük, az áramkör lábán az integrált áramkörből kifelé folyó áramot.

A kimenetnek a legrosszabb esetben is szolgáltatnia kell a megadott áramot, amellet, hogy a feszültség szintje nem kerülhet a legrosszabb esetre megadott értéktartományon kívülre.



42. ábra. Előjeles áramirányok.

TTL logika esetén a normál sorozatra jellemző áramok

$I_{ILmax} = -1,6 \text{ mA}$

$I_{IHmax} = 40 \text{ } \mu\text{A}$

$I_{OLmin} = 16 \text{ mA}$

$I_{OHmin} = 400 \text{ } \mu\text{A}$

$I_{OZH} = 20 \text{ } \mu\text{A}$

$I_{OZL} = 20 \text{ } \mu\text{A}$

$I_{off} = 100\text{-}250 \text{ } \mu\text{A}$

CMOS logikák feszültség szintjei

Kétfajta CMOS logika megvalósítás létezik:

- Alapvetően tiszta CMOS logika, ekkor a bemeneten érzékelt szintek a tápfeszültség %-ban vannak megadva. Egyes esetekben, abszolút értékben, de ekkor megadják a használatos tápfeszültséget is.
- Úgynevezett TTL kompatibilis (vagyis a TTL szintekkel összeférhető logika) ekkor a bemeneti szintek megegyeznek a TTL logikánál definiált értékekkel.

A kimenetek értékei mind a két esetben azonosak, de a magas szint függvénye a használatos tápfeszültségnek.

Az 5 V-s, tisztán CMOS logikák feszültség szintjei

$U_{Lmax} = 0,1 \text{ V}$ (20 μA terhelő áram mellett) és

$U_{OLmax} = 0,33 \text{ V}$ vagy $0,4 \text{ V}$ 4-8 mA terhelő áram mellett. Az áram érték, család és gyártó függő.

$U_{OHmin} = 4,9 \text{ V}$ (20 μA terhelő áram és 5 V-s névleges feszültség mellett) és

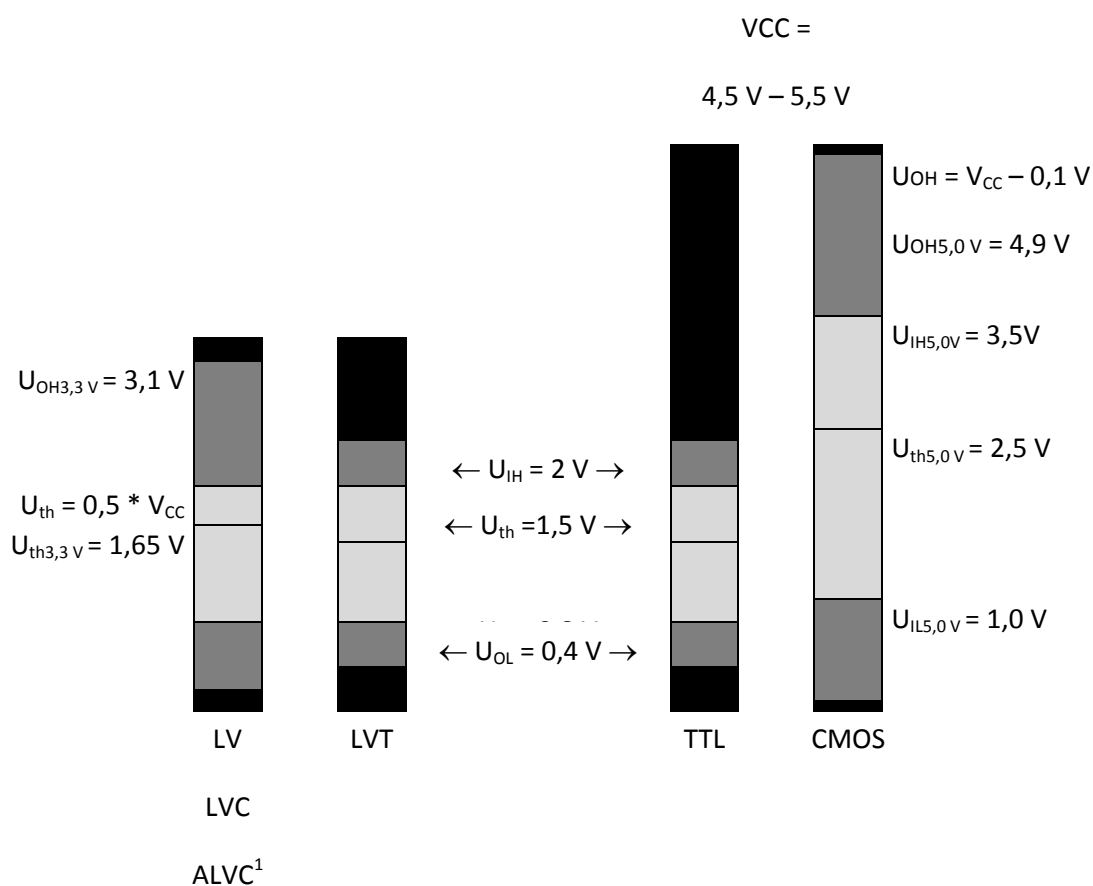
$U_{OHmin} = 4,77 \text{ V}$ vagy $4,6 \text{ V}$ 4-8 mA terhelő áram mellett. Az áram érték, család és gyártó függő.

$U_{ILmax} = 0,2 * V_{CC}$, vagyis a mindenkor tápfeszültség 20 %-a, 5 V esetén 1 V

$U_{IHmin} = 0,7 * V_{CC}$, 5 V esetén 3,5 V

$U_{th} = 0,5 * V_{CC}$, 5 V esetén 2,5 V

Látható, hogy a tisztán CMOS szintű logikáknál az alacsonyszintű zajtartalék 0,2 V-al jobb, és a tápfeszültség növelésével még javul is. A nagy zavarszintű erősáramú eszközök vezérléséhez ezért is alkalmaztak a kezdetek óta, lehetőleg CMOS logikát. A különböző logikai családok feszültségszintjei a 43-as ábrán láthatók.



Megjegyzés:

1. $V_{CC} = 2,3 \text{ V}$ -nál $U_{OH} = 2,1 \text{ V}$; $U_{OL} = 0,2 \text{ V}$

43. ábra. Különböző logikai családok feszültségszintjei

TTL kompatibilis CMOS áramkör családok HCT, ACT stb. sorozatok szintjei

Az áramköri megvalósításokra megadott szinttáblázatokból látszik, hogy a TTL áramkörök magas szintnél garantált kimenete alacsonyabb a CMOS logikák által megkívánt bemeneti szintnél. Együttes alkalmazásukkor ez problémát jelent. Amennyiben vegyesen használjuk az áramköröket, a TTL kimenetre csatlakozó CMOS csak szintillesztést biztosító áramkör, vagy felhúzó ellenállás használatával tudja megbízhatóan érzékelni a H szintet. Ellenkező irányban, tehát CMOS által meghajtott TTL-nél nincs szintérzékelési probléma. A kiegészítő áramkör nélküli illeszkedésre a megoldást a CMOS bemeneti szintérzékelésének módosítása adja. A bemeneti áramkör érzékelési szintjét a szennyezők adalékolásának (mennyiségének) módosításával, a TTL H jelszint által megkívánt értékre állítják be. Ez tipikusan 1,5 V. Az ilyen bemeneti komparálási szinttel megvalósított CMOS áramkört, TTL kompatibilis CMOS áramkörnek nevezik, és a típus jelölésben egy T betűvel jelzik, pl. HCT, ACT, AHCT család.

A TTL kompatibilis CMOS áramkörök kimenetei, mindenben megegyeznek a tisztán CMOS áramkörök kimeneteivel. Eltérés csak a bemeneti szintek érzékelésénél, és kis mértékben a működési időknél van.

$$U_{IL} = 0,8 \text{ V}$$

$$U_{IH} = 2 \text{ V}$$

A kétfajta CMOS áramkör család a kimeneteik egyező tulajdonságai miatt teljesen összefér egymással. CMOS, TTL kompatibilis CMOS és bipoláris TTL család illeszkedése is probléma mentes, ha CMOS a meghajtó. Fordított esetben, amikor a TTL kimenetről tisztán CMOS bemenetet hajtunk meg, nem teljesül a megkívánt, garantált magas (H) szint. Ennek biztosításához egy külső felhúzó ellenállásra van szükség, amely a kimeneti H szint megemelését biztosítja.

Csökkentett tápfeszültségű logikai családok LV = Low voltage logikák

A csökkentett tápfeszültségről működő logikák kialakítása egyrészt lehetőség az energia felvétel csökkentésére ($W = V_{CC} \cdot I$ -el arányos) másrészt az egyre csökkenő alkatrész méretek miatt szükségszerűség is.

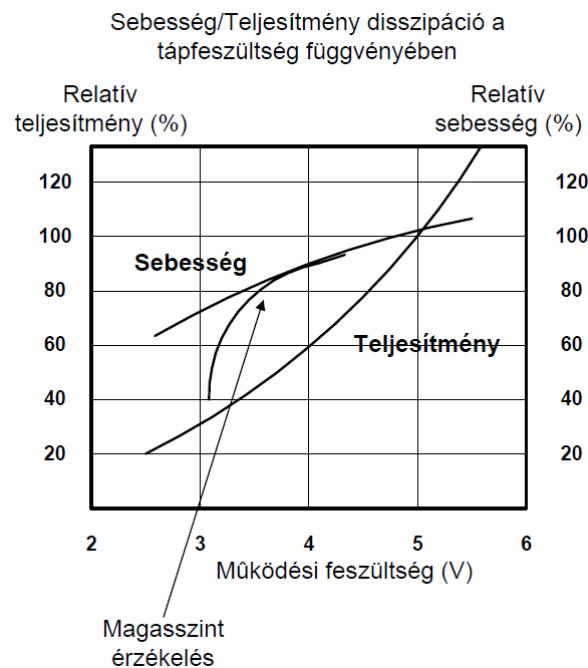
A CMOS felépítés lehetővé teszi, a csökkenő felbontás pedig megköveteli az áramköröket működtető tápfeszültségek csökkentését. A 0,8 μm -nél kisebb csíkszélesség esetén az átütési feszültség 7 V alá csökken (az 5 V-s áramkörök garantált működéséhez, a bemeneteken legrosszabb esetben 7 V megengedésére van szükség), ezért a kisebb csíkszélességgel megvalósított áramkörök tápfeszültségét csökkenteni kellett. Erre először a nagyintegráltságú un. VLSI. áramkörök belső áramköreinek kialakításánál volt szükség. Pl. a Pentium sorozatú processzoroknál.

A nagyintegráltságú elemeknél a teljesítményfelvétel csökkentése egyúttal az elvezetendő hőmennyiséget is csökkenti, ez pedig fontos feltétele a megvalósításnak. Egy-egy VLSI

teljesítményfelvétele így is 2-5 W (néha még több is), melyet teljes egészében hő formájában el kellene vezetni. A feldolgozott információ, ugyanis nem energetikai mennyiség.

Egy még a 80-as évekből származó hasonlat szerint egy számítógép teljes működő része elférne egy gyűszűben (a félvezető alkatrészek a felület néhány μm -es mélységében helyezkednek el), de ez a gyűszű világítana (a felvett és leadott hőmennyiség miatt). Az azóta bekövetkezett erőteljes fejlődés dacára, a hasonlat ma is igaz. Csak az alkatrész mennyiség nőtt meg több mint milliószeresára, a gyűszű és az összes energia közel maradt, sőt esetenként némileg nőtt is. E miatt szükséges egyes VLSI tokokra nagyméretű hűtőbordát szerelni, amit egyes esetekben ventilátorral is kiegészítenek.

A tápfeszültség – relatív teljesítmény és a relatív sebesség összefüggése a 44-es ábrán látható.



44. ábra. Sebesség, teljesítményfelvétel, és a magas szint érzékelés változása CMOS technológiájú logikai áramköröknél a tápfeszültség függvényében

Az egyes gyártók különböző, de 5 V-nál jóval kisebb feszültségről működtetik a belső logikát, az úgynevezett magot, és az áramkör kimeneti meghajtói végzik a kisebb feszültségű és a hagyományos 5 V-s logikák közti szintillesztést. Természetesen az ilyen IC-nek külön tápfeszültség bemenetei vannak az 5 V-s és a kisebb feszültséghez. A kisebb feszültség értékét itt nem lehet általánosan megmondani, mert jelenleg 3,9 és 2,4 V, illetve 1,2 V között szinte minden van, az 1,8 V, 1,5 V kezd általánossá válni. A vázolt megoldásnál a kisebb tápfeszültséget sokszor tokonként külön stabilizátor IC-vel állítják elő, de használatuk így is előnyös. A helyi tápfeszék különbözősége miatt a felhasználás helyéhez közele, az általánosan használttól eltérő feszültségek előállítására ma már általánosan mondható.

Általános felhasználási célú áramköröknél nem lehet ilyen sokféle tápfeszültséget kialakítani, szükséges egy-egy jól megfontolt tápfeszültség kiválasztása. Erre a célra kezdetben

alapvetően két családot alakítottak ki. A 3.0 V és 3.6 V (névlegesen 3.3V) között működő LVTTTL családot és a 2,7 V és 3,6 V (névlegesen 3.3V) között működő LVC, CMOS családot.

Az áramkörök teljesítményfelvétele és ennek megfelelő hődisszipációja a tápfeszültség négyzetével arányos, Így $5^2 = 25$, ami 2,5-szer több mint $(3,3)^2 = 10$. A működési szintek szintén a 43-as ábrán láthatók. Mindkét sorozat kimenete BiCMOS megoldású. Vagyis az 5 V-s családban csak a kifejezetten meghajtókat tartalmazó ABT sornak megfelelő a meghajtó-képességük. 32 mA, illetve egyes típusoknál alacsony szint esetén eléri a 64 mA-t is. Mindkét LVxx sorozat bemenete elviseli az 5,5 V-t, így 5 V-ról működő logikákkal összeköthetők. A két sorozat általános célú alkalmazásokra készült, így az alkatrész választékuk széles körű. Minden kisfeszültségű logikába beintegrálják a Bus-hold áramkört. Ez az átkapcsolás során a bemenetek terhelő áramát megemeli (+- 50-100 μ A-re).

Forgalomban vannak a hagyományos (5 V) és a csökkentett tápfeszültségű logikákat összekötő sínmeghajtó típusú áramkörök is. Ezek természetesen kétfajta tápfeszültséget igényelnek.

A 90-es évek második harmadától forgalomban vannak a sebességnövelt és egyéb szempont szerint is javított LV. (Low Voltage) áramköri családok. Használatuknál feltétlen vizsgálandó, hogy mekkora feszültség engedhető meg a bemenetükön. Ugyanis több családnál a bemeneten maximálisan megengedhető feszültség szint a tápfeszültség + 0,5 V lehet. (Gondoljunk a feltöltődés ellen védő diódákra.) Ez tulajdonképpen a klasszikus 5 V-ról működő soroknál is így volt $U_{MAX} = 7$ V volt megengedve, de itt, mivel tipikusan egyféle tápfeszültséget használtunk, ritka alkalmazásban jelentett problémát.

A csökkentett tápfeszültségről működő logikánál, ha azt 5 V-s CMOS-ról hajtjuk meg, szintillesztő áramkört kell használnunk. A szintillesztő, kétirányú tri-state meghajtó áramkör, mely igényli az 5 V-s és a 3,3 V-s tápfeszültséget is. Kis feszültségről nagyobb feszültségre áttéréskor az esetek egy részében elég a magas szintre felhúzó ellenállás használata (45-ös ábra).

Egyes LV soroknál és különösen a programozható VLSI logikákban már beépítették a nagyobb szintekkel összeférhetőséget biztosító bemeneti áramköröket. Alapvetően Zenerdiódás, vagy tranzisztoros lett a feltöltődés elleni védelem.

További tápfeszültség csökkentések

A nagyintegráltságú eszközöknél erősen terjed a 2,4 (2,5) V-ról működő logikák használata, ezek még éppen összeférnek a TTL szinteket használó logikákkal. 1997 vége óta forgalomban vannak a 2,5 V-ról működő logikai családok. 1999-ben a Texas cég megjelentette az önálló családnak szánt 1,8 V-ról működő tisztán CMOS logikai család első elemeit. Lehet már kapni 1,5 V-ról, sőt 1,2 V-ról működő logikákat is. Természetesen ezek már csak erre tervezett szintillesztő áramkörökkel kapcsolhatók össze a korábbi családokkal. Ezeknek a kis feszültségű családoknak az előzményeihez tartoznak az elektronikus időmérőkben és órákban (Az órának mindig van mutatója) használatos áramkörök. Ezek a divat tömegáruk a fejlesztési költségek jelentős elnyelését is szolgálták.

CMOS sorok áramterhelései, és a meghajtó képességek

A CMOS bemenetek áramai, mivel csak szivárgó áramok, így néhány (1-10) μA között vannak, függetlenül a bemeneti szintektől. Gyakori megadás például $I_{IH}, I_{IL} = \pm 5 \mu\text{A}$, szobahőmérséklet és 5 V esetén általában 1 μA alatt.

A kimeneti áram meghajtó-képességet több használható tápfeszültség mellett is megadják. CMOS kimenetek jellegzetessége a szimmetrikus meghajtó-képesség, vagyis L és H szint esetén is azonos nagyságú áramot tud szolgáltatni a kapcsolás. Kis értékű feszültségesés mellett, ez néhányszor 10 μA , nagyobb feszültségesés mellett 4-8 mA, vagy egyes családoknál ennél lényegesen nagyobb is lehet. Léteznek buffer típusú CMOS, alapvetően BiCMOS meghajtók 64 mA áramterhelhetőséggel is.

Látható, hogy a CMOS családoknál az egy kimenetre jutó – a bemenetek darabszámával számolt terhelhetőség (fanout) - sokszorosa lenne a TTL családok hasonló értékeinek. „Korlátlan számú” bemenetet azonban itt sem lehet összekötni, mert a bemeneti kapacitások, amelyek elsődlegesen a tokozástól függenek, összeadódva, a kimeneti meghajtásnál megadott értékek fölé mehetnek. Egy bemenet általában 3-10 pF közti kapacitást képvisel. A kimenetekenél névlegesen megengedett kapacitív terhelés, amikor a sebesség megadás még igaz, 50, 150 pF érték mellett szokásos. A túl nagy kapacitív terhelés hatására csökkennek a fel és lefutási meredekségek, az áramkör viselkedése „lomhábbá” válik. Ez minden áramköri család esetén igaz.

Szintillesztések az egyes logikák között

Az előzőekben már többször szó volt az eltérő tápfeszültséggel és logikai szinttel működő áramkörök közti szintillesztés szükségességéről, és egyes megoldásokról. Ez a feladat napjainkban igen sűrűn előáll. Az 5 V-s logikák még csak megkezdték csökkenő irányzatukat, és mellettük változatos tápfeszültség szintről működő áramköröket használunk. Gyakori, hogy egy-egy nagyintegráltságú elem 2-5 V között működőképes. Természetesen a kisebb tápfeszültség mellett alacsonyabb működési sebességre képes.

Egy rövid felsorolás a logikai áramköröknél szóba jöhető tápfeszültségekről:

12 V; 5 V; 3,3 V (körüliek); 2,5 V; 1,8 V; 1,5 V; 1,2 V; (0,8 V-t egyes gyártók előre jeleznek)

A bemeneten szükséges, a kimenet feszültség meghajtó képességét meghaladó magas szint biztosításához tipikusan felhúzó ellenállást használunk. 45-ös ábra. Ez a megoldás a TTL és CMOS logikák határán használható. A meghajtó oldal tápfeszültségénél magasabb feszültségre felhúzás természetesen nem valósítható meg.

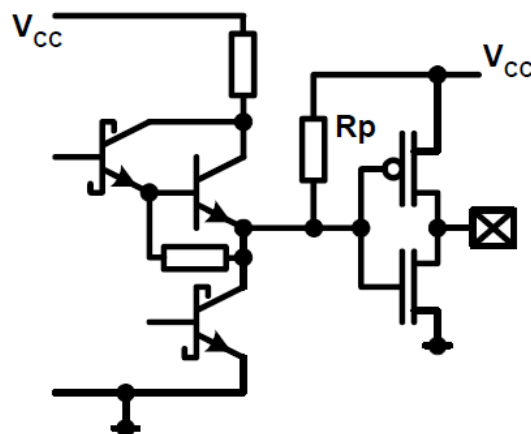
A meghajtó oldal tápfeszültségénél magasabb feszültségű H szint előállítása szintillesztő áramkörök alkalmazásával érhető el. Ilyet általában a sínmeghajtó áramkörök között kínálnak. Ezeknek az áramköröknek egy része jellegzetesen kétfajta tápfeszültséget kíván.

Minden irányú szintillesztéshez használhatóak a nyitott kollektoros kimenetű áramkörök. Itt egyetlen szempont, hogy a kimeneti tranzisztor lezárt állapotában viseljen el nagyobb

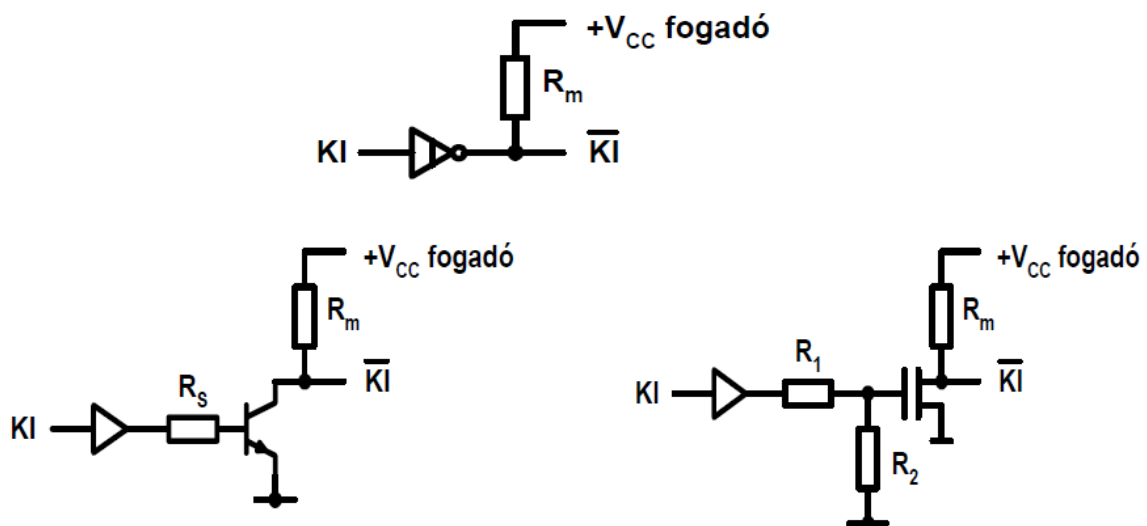
feszültséget, mint a meghajtandó áramkör tápfeszültsége. A nyitott kollektoros (source) kialakítás LH átmeneti ideje lassú, ezért az áramkör működési sebességének csökkenésével számolni kell.

A TTL sorozatokban léteztek 30 V-t 40 mA terhelő áram mellett elviselő inverter és erősítő típusok is. A mindenhol használható tranzisztros kapcsolás a 46-os ábrán látható. Fontos: a tranzisztor bázisáramát korlátozó ellenállásra mindig szükség van.

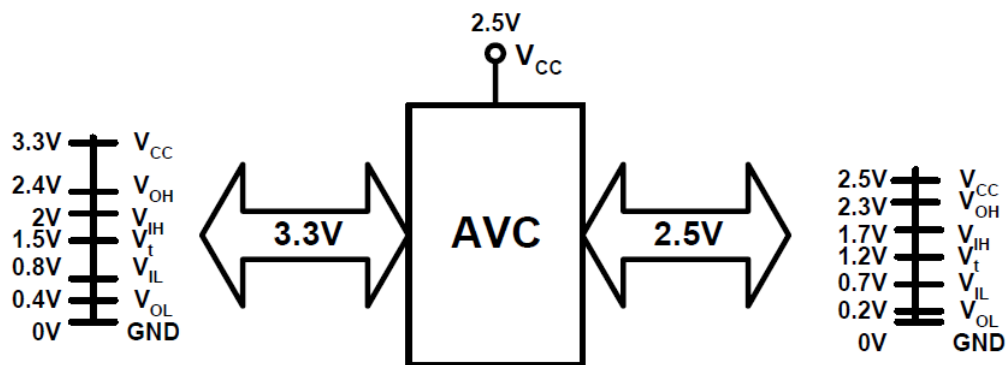
A bemeneti, a tápfeszültségnél nagyobb feszültség elviselése, a bemenet kialakításának függvénye. Egyes áramköröknél az érzékelési oldalon használt aktuális tápfeszültségnek is. Általában két feszültség lépcsőt még képesek az áramkörök elviselni. 47-es és 48-as ábra.



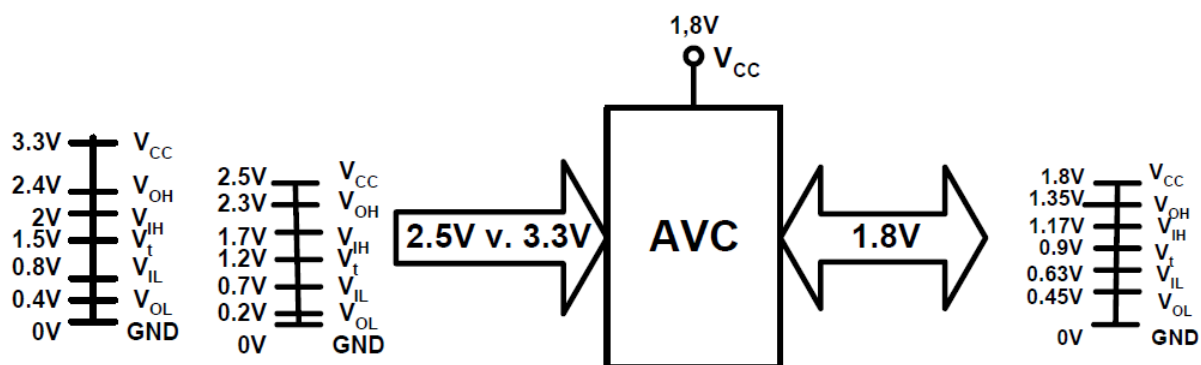
45. ábra. TTL áramkör illesztése CMOS áramkörhöz felhúzó ellenállás (R_p) használatával



46. ábra. Szint illesztés megvalósítása inverterrel, és tranzisztros kapcsolásokkal.



47. ábra. 3,3 V-t használó logika kétirányú illesztése 2,5 V-s logikához. Az illesztő elem tápfeszültsége 2,5 V



48. ábra. 3,3 V-t, és 2,5 V-t használó logika egyirányú illesztése 1,8 V-s logikai elemhez.

Felhasznált irodalom

- [1] Grosz Imre: Élő Digitronika Dárf_1_2_2 fejezete (Digitális áramkörök fizikai felépítése)
- [2] Grosz Imre: Élő Digitronika Dárf1_2_4_N fejezete (Félvezető alapú digitális áramkörök fizikai jellemzői)
- [3] Kidolgozott elektronikai érettségi tételek. <http://gyakorlat.pataky.hu/>
- [4] Wikipédia, szabad enciklopédia <https://hu.wikipedia.org/wiki> ide vonatkozó fejezetei: félvezetők, diódák, tranzistorok.