



A PC – vagyis a személyi számítógép

VI. rész

A mikroprocesszort követően a számítógép következő alapvető építőegysége a memória (lásd a klasszikus architektúrájú univerzális számítógép rendszertömbvázlatát – Fírka 1999-2000/2, 50. oldal, 2. ábra és 1999-2000/5 180. oldal, 1. ábra). Mielőtt a különböző típusú memóriákat tanulmányoznánk fontos, hogy részletesebben is megismerjük a szigetelt kapus térvezérlésű tranzisztorokat. A kapcsoló üzemmódban működő szigetelt kapus térvezérlésű tranzisztor nemcsak a félvezető memóriáknak, hanem a számítógép nagybonyolultságú digitális logikai integrált áramköreinek is a legkisebb alapvető építőeleme.

MOS térvezérlésű tranzisztorok

A térvezérlésű tranzisztorok (FET - *Field Effect Transistor*) története még 1935-ben kezdődött, amikor *Oscar Heil* megszerezte a „Félvezető anyagból készült ellenállás vezérlése és e hatás felhasználása elektromos jel erősítéséhez” című angol szabadalmat. Heil ötletét azonban az akkor még fejletlen félvezető-technológia és a félvezetők elektronfizikájában még elégtelen ismeretek miatt nem sikerült a gyakorlatba átültetni. *William Shockley* által 1952-ben ismertetett térvezérlésű tranzisztor-elv más vezérlési elvet alkalmaz, de ez is csak kísérleti stádiumban maradt. A rétegranzisztorokkal szerzett tapasztalatokat értékesítve, 1960 után kezdődött meg az a fejlődés, amely a hamarosan műszakilag is használható térvezérlésű tranzisztorokhoz vezetett.

A térvezérlésű tranzisztor működési elve aránylag egyszerű: a félvezetőben egy vezető csatornát hozunk létre, amelyben az átfolyó áramot az áram irányára merőleges elektromos térrel vezéreljük. Az áramvezérlési elv szerint záróréteges és szigetelt kapus térvezérlésű tranzisztorokat különböztetünk meg.

A **záróréteges térvezérlésű tranzisztor**oknál (JFET - *Junction FET*) a vezérlő elektromos teret egy záróirányban előfeszített p-n átmenet hozza létre. A záróréteges térvezérlésű tranzisztorokat főleg lineáris áramkörökben használják, a folytonos változású-, ún. analóg jelek erősítésénél és feldolgozásánál.

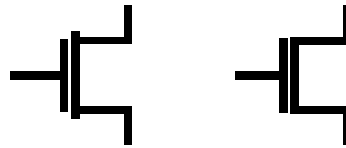
A **szigetelt kapus térvezérlésű tranzisztor**oknál (MOSFET - *Metal Oxide Semiconductor FET*) a vezérlő elektromos teret a kapunak (gate) is nevezett vezérlőelektroda hozza létre. MOS elnevezés a tranzisztort alkotó rétegek sorrendjét tükrözi: Metal (fém vezérlőelektroda) – Oxid (szilíciumdioxid szigetelőréteg) – Semiconductor (félvezető) (lásd 3.a ábra). A három réteg egy síkkondenzátorhoz hasonló egységet alkot, amelyben a két fegyverzetet a dielektrikumként viselkedő szilíciumdioxid réteg választja el. A MOS térvezérlésű tranzisztorokat leginkább logikai integrált áramkörökben használják, mivel a különböző tranzisztor típusok közül ezek rendelkeznek a legkisebb integrált áramköri felületigénnyel. A MOS integrált áramkörök másik előnye a többi integrált áramkörhöz képest, hogy jelentősen kisebb a teljesítményfelvételük. A MOSFET tranzisztoroknak van egy hátrányos tulajdonságuk: viszonylag kis kapu-feszültségnél, a félvezetőalap és a kapu közötti szigetelőréteg átüt és a tranzisztor tönkremegy. Ugyanis a szigetelőréteg annyira vékony, hogy alig néhány tíz voltnál nagyobb feszültség elég ahhoz, hogy az elektromos térerősség túllépje az átütési szilárdságot. Az integrált áramkörök bemeneti MOSFET-jeit védő áramkörökkel szokták ellátni, de még akkor is

meztörténhet, hogy egy nagyobb elektrosztatikus kisülés tönkreteszi az áramkört. Ezért, mielőtt a számítógép belső egységeihez hozzányúlánk, meg kell győződjünk, hogy nem vagyunk elektrosztatikusan feltöltve. Munka közben is biztosítani kell magunkat, hogy ne töltődjünk fel (kerülni kell a műanyagszálas öltözetet és a vastag műanyagtalpú, jól szigetelő cipőt is).

Szigetelt kapus térvezérlésű tranzisztor (MOSFET) típusok					
Csatorna típusa	n csatornás		p csatornás		
	növekményes	kiürítéses	növekményes	kiürítéses	
Üzemimód					
Áramkör jelölés					
Kimeneti jelleggörbe					
Átviteli jelleggörbe					

1. ábra: MOS térvezérlésű tranzisztorok alaptípusai, egyezményes áramköri jelölései és jellegzetes karakterisztikái (jelleggörbéi)

2. ábra: Integrált áramköri **MOSFET**
egyszerűsített jelölése



A térvezérlésű tranzisztorok közös meghatározó tulajdonsága a nagyon nagy bemeneti ellenállás. A JFET tranzisztor nagy bemeneti ellenállását a p-n átmenet záróirányú előfeszítésének köszönheti, amely ezáltal csak kis veszteségi áramot enged át. A MOSFET tranzisztor nagy bemeneti ellenállását a rendkívül kis szivárgási árammal rendelkező kapacitás fegyverzeteként viselkedő kapunak tulajdoníthatjuk. Ha a kapura időben változó feszültséget kapcsolunk, akkor ez a feszültség a kapu kapacitását feltöltő- vagy kisütő áramot hoz létre, amely a szivárgási áramra tevődik. Kapcsoló üzemmódban működő MOSFET-nél megtörténhet, hogy ez az áram pillanatnyi értéke túllépi a szivárgási áram értékét.

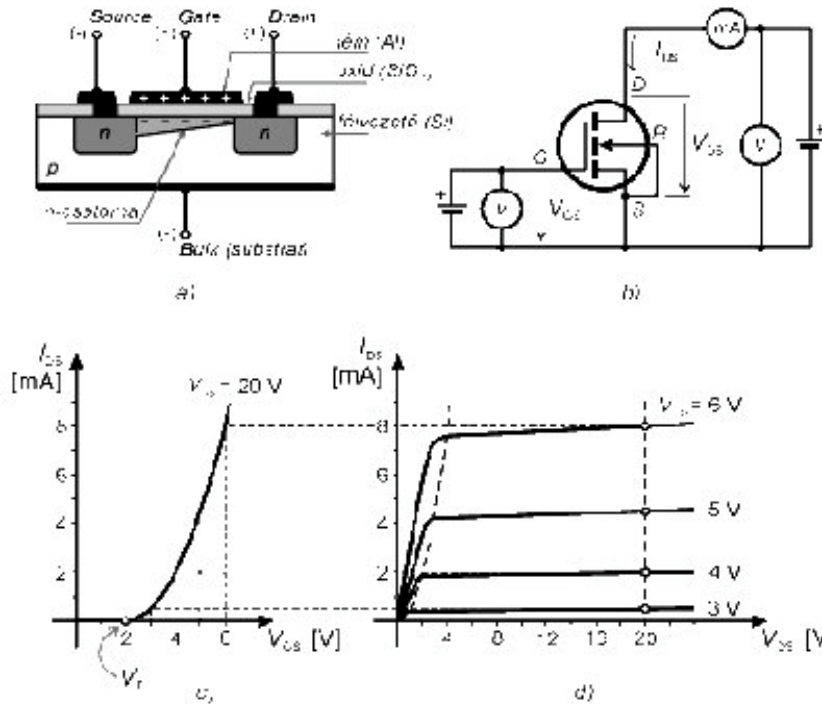
A MOS térvezérlésű tranzisztorokat vezetőcsatornájuk szerint osztályozzák. A csatorna áramvezetése szerint **n-csatornás** és **p-csatornás** MOSFET-el találkozhatunk. Az n-típusú csatornában az áramot főleg negatív töltéshordozók, vagyis elektronok vezetik, míg a p-típusú csatornában elektronhiányt képviselő pozitív töltéshordozók, vagyis lyukak. Akár az n-, akár a p-csatornás tranzisztor előállítható **növekményes** (enhancement) vagy **kiürítéses** (depletion) üzemmódú változatban. A növekményes tranzisztoroknál a vezetőcsatorna csak egy bizonyos szintet meghaladó elektromos télerősség után jön létre és keresztmetszete a télerősséggel növekszik. A kiürítéses tranzisztoroknál a vezetőcsatornát gyártási folyamat során hozzák létre és a télerősséggel a csatorna keresztmetszete csökken. Tehát a MOS térvezérlésű tranzisztorok négy alaptípusával találkozhatunk. Egyezményes áramköri jelölésüket és jelleggörbéiket az 1. ábrán láthatjuk. Az integrált áramköri MOSFET-eket a 2. ábrán látható egyszerűbb jelöléssel szokták ábrázolni.

A 3.a ábrán egy n-csatornás növekményes MOSFET vázlatos keresztmetszetét mutatjuk be. Megfigyelhető a síkkondenzátorhoz hasonlítható struktúra: félvezetőalap (**B** – bulk, substrat), kapu (**G** – gate) és az ezeket elválasztó vékony szigetelő szilíciumdioxid réteg. Az n-típusú vezetőcsatorna a p-típusú félvezetőalapon, közvetlenül a szigetelőréteg alatt alakul ki és két n-típusú zóna között vezet, az egyik a forrás (**S** – source) a másik pedig a nyelő (**D** – drain). Az egyezményes jelölés a tranzisztor belső struktúrájára utal. A tranzisztort behatároló kör (lásd a 3.b ábra) a tranzisztor-kristályt védő tokozatot jelképezi. Ez kizárólag csak diszkrét áramköri alkatrészekre vonatkozik. Az integrált tranzisztorokat tok nélkül ábrázolják, ugyanis ezeknél a tok az egész integrált áramkört védi. A source-ot és a drain-t összekötő vastag vonal a csatornát szimbolizálja. Ha a vonal szaggatott, akkor a tranzisztor növekményes üzemmódú, ha folytonos, akkor kiürítéses üzemmódú (lásd az 1. ábrán). A substrat-nyíl segítségével a csatorna vezetési típusát állapíthatjuk meg. A nyíl egyezményesen mindig a p-típusú félvezető felől az n-típusú felé mutat. Tehát az n-csatornás tranzisztoroknál a p-substrat felől az n-csatorna felé, a p-csatornásoknál pedig ellentétesen vagyis a p-csatorna felől az n-substrat felé (1. ábra). Legtöbb áramköri alkalmazásban a source-ot és a substrat-ot azonos potenciálra kapcsolják. Ezért sok diszkrét áramköri alkatrészként gyártott MOSFET-nél a source-ot a substrat-al a tokon belül kötik össze és együtt vezetik ki.

A tranzisztor áramkörbeni működését jelleggörbéivel, vagyis karakterisztikáival lehet a legjobban megérteni. Diszkrét áramköri alkatrészként gyártott MOSFET-ek jelleggörbéit a részletes adatlapokban találhatjuk meg. A korszerű tervezőlaboratóriumok több-

nyire fel vannak szerelve olyan oszcilloszkóphoz hasonló készülékkel, amelynek a képernyőjén megjeleníthetők a kérdéses tranzisztor jelleggörbéi.

3. ábra *n*-csatornás növekményes MOSFET



- a) tranzisztor keresztmetszete
- b) tranzisztor jelleggörbéit mérő kapcsolás
- c) átviteli jelleggörbe: $I_{DS} = f(V_{GS}, V_{DS} = \text{konst})$
- d) kimeneti jelleggörbesereg: $I_{DS} = f(V_{DS}, V_{GS} = \text{konst})$

Egy tranzisztor jelleggörbéit mi is felvehetjük egyszerű feszültség és áramerősségmérések alapján. Ilyen kapcsolást mutat be a 3.b ábra. A tranzisztor előfeszítő feszültségeket **B** substrat-al összekötött **S** source-hoz viszonyítjuk. A tranzisztor átviteli jelleggörbéje (lásd 3.c ábra) az I_{DS} drain-source áramot V_{GS} gate-feszültség függvényében ábrázolja, állandó V_{DS} drain-feszültségnél: $I_{DS} = f(V_{GS}, V_{DS} = \text{konst})$. Ha a gate-feszültség kisebb, mint a V_T küszöbfeszültség ($V_{GS} < V_T$), akkor az elektromos térerősség még nem elég nagy ahhoz, hogy a substrat-tal ellentétes típusú vezetősatornát, ún. inverziós csatornát hozzon létre. Az n-típusú source és drain között, a p-típusú félvezetőalapban csakis egy n-típusú csatorna képes áramot vezetni. Ha nincs csatorna, akkor a source-ot a drain-től két egymással szembekapcsolt p-n átmenet választja el. Bármilyen irányú is legyen a source-drain előfeszítés, az egyik átmenet mindig záróirányú előfeszítést kap és ezért a drain-áram gyakorlatilag nulla: $I_{DS} \cong 0$. Ha a gate-

feszültség túllépi V_T küszöbfeszültséget ($V_{GS} > V_T$), akkor az elektromos térerősség már elég nagy ahhoz, hogy kialakuljon a vezetőcsatorna, amelynek keresztmetszete a gate vezérlőfeszültséggel növekszik. Minél nagyobb a csatorna keresztmetszete, annál kisebb az ellenállása és annál nagyobb az áteresztett I_{DS} drain-áram. A tranzisztor kimeneti jelleggörbeserege (3.d ábra) az I_{DS} drain-source áramot V_{DS} drain-feszültség függvényében ábrázolja, különböző, de állandó értékű V_{GS} gate-feszültségnél: $I_{DS} = f(V_{DS}, V_{GS} = \text{konst})$. A csatorna ellenállását nemcsak a gate vezérlőfeszültség, hanem a drain-feszültség is befolyásolja. A csatorna keresztmetszete a drain felé fokozatosan csökken annál jobban minél nagyobb a drain-feszültség. Ennek az a magyarázata, hogy a csatorna keresztmetszetét meghatározó elektromos térerősség a drain felé fokozatosan csökken. Ugyanis a térerősség a gate vezérlőfeszültség és a csatorna hosszában eloszló drain-source feszültség különbségével arányos. Ha a drain-feszültség sokkal kisebb mint a gate-feszültség, akkor a csatorna keresztmetszete a source-tól a drain felé haladva gyakorlatilag nem változik. Ilyenkor a csatorna rezisztív viselkedésű: a drain-áram a drain-feszültséggel arányos. A kimeneti jelleggörbesereg e tartományát rezisztív tartománynak nevezik. Amikor a drain-feszültség megközelíti és túllépi a gate-feszültséget, akkor a csatorna elszűkülése olyan nagy mértékű, hogy a csatornában átfolyó drain-áram a drain-feszültséggel alig növekszik. A kimeneti jelleggörbesereg e tartományát lezárási tartománynak nevezik és ebben a tartományban az I_{DS} drain-áram majdnem csak a V_{GS} gate-feszültségtől függ. Az 1. ábrán bemutatott jelleggörbéket úgy ábrázoltuk, hogy a tranzisztoron átmenő áram irányát és a feszültségek polaritását könnyen le tudjuk olvasni. A záróréteges (JFET) és szigetelt kapus (MOSFET) tervezélsű tranzisztorokról és áramköri alkalmazásairól részletesebben a szakirodalomban olvashatunk [1], [2].

Irodalom

- 1] *Puskás Ferenc*: Tervezélsű tranzisztor, *Firka* 1995-96/1, 10-14
- 2] *Tietze, U. – Ch. Schenk, Ch.*: Analóg és digitális áramkörök, Műszaki Könyvkiadó, Budapest

Kaucsár Márton

Műkincsek és a modern természettudományok

A felvilágosodás eszméi s ezzel párhuzamosan a természettudományok fejlődése érlelték meg a gondolatot, hogy annak a hatalmas anyagnak az értékelése, amely a 19. századra a világ múzeumaiban összegyűlt, s amely azóta is gyarapszik, ne csak pusztán humán szempontok szerint, például a stílusjegyek alapján történjék, hanem a természettudományos vizsgálatok eredményeinek a figyelembevételével is.

Felismerték, hogy olyan természetű anyagok, mint például a műtárgy anyaga, készí-tési módja, a kérdéses tárgy kora, a felhasznált nyersanyag eredete, épp olyan lényeges a műkincs értékeléséhez, helyes kultúrtörténeti besorolásához, mint az esztétikai jellegze-tességek leírása.

A műkincsek, műtárgyak viszonylatában a kérdés felvetése annál is indokoltabb, mert közismert tény, hogy például egyes művészeti elgondolásokat olykor csak új anya-