Hányféle FET van?

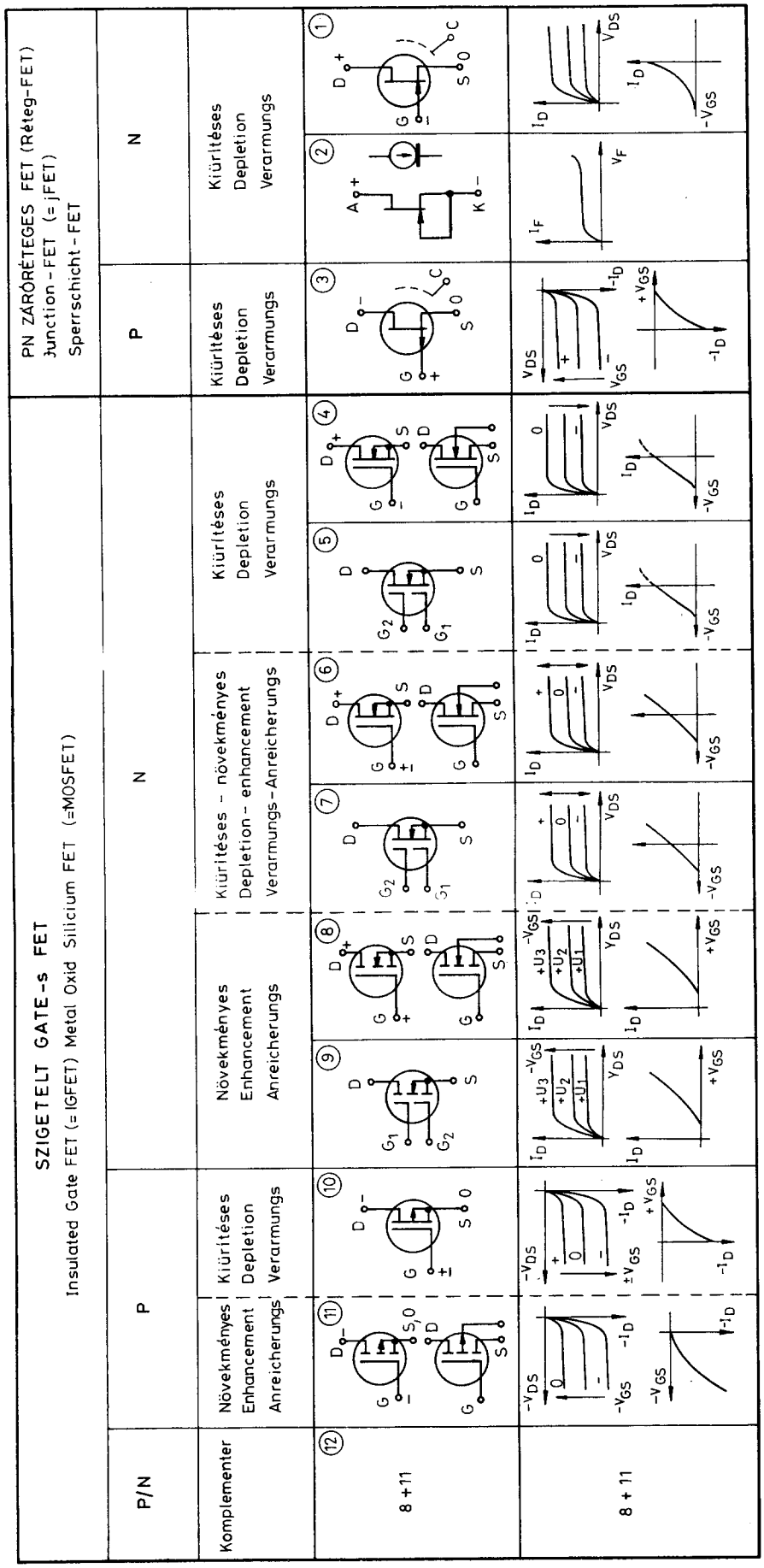
Borbás István elektromérnök

Julius Edgar Lilienfeld 1925. 10. 22-én Kanadában szabadalmi bejelentést tett „Módszer és eszköz elektromos áramkör vezérlésére” címmel. Az üveglapon kialakított eszköz alumíniumfóliával rézszulfid rétegen átfolyó áramot vezérelt.

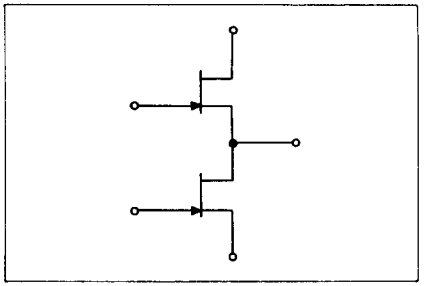
Ez volt az első térvezérléses tranzisztor! Vagy ahogyan ma nevezzük: FET (Field Effect Transistor.)

Az amorf félvezetéssel működő FET – Lilienfeld találmánya – sohasem került gyártásra. A FET-ek igazi korszaka a nagytisztaságú félvezető kristályok megjelenése után, az 50-es években kezdődött el – és napjainkig szakadatlanul tart. Folyamatosan növekszik a gyártott változatok száma is. Hogy ma hányféle FET van? Erre a kérdésre a legegyszerűbb a válasz; van pn-záróréteges FET – és szigetelt kapus FET. E két csoportba minden változat besorolható. Aki azonban helyettesítő típusokat keres, ezzel a felosztással nem sokra megy. Ezeken belül ugyanis számos, egymástól igen különböző, alapvetően eltérő karakterisztikájú FET létezik. Ezek figyelembevételével tucatnyi változattal kell számolnunk. Ezeket igyekszünk áttekinteni a következőkben. E változatok együttes ábrázolása igen megkönnyíti azok áttekintését. S az adatlapokon való eligazodás megkönnyítésére az angol és német megnevezéseket is megadjuk. Gyorsan meg kell azonban jegyeznünk, hogy a kivezetett pontokat, az integrált védelmeket, a multiplikált kiviteleket is megkülönböztetve, továbbá a sztatikus és dinamikus adatokat is figyelembe véve felosztásunk csoportszáma megsokszorozódik. A helyettesítéseknél természetesen mindezt figyelembe kell venni.

A FET-ek egymást nem helyettesítő fő csoportjait az **1. táblázat** ábrázolja. Ezek mind megnevezéseikkel – tehát fogalmakkal – mind rajzjeleik-



1. táblázat



1. ábra

kel, mind pedig karakterisztikamenetükkel meghatározhatók. Azaz e három jellemző valamelyikét megadva, a másik kettőre is következtetünk. Az adatlapokon való tájékozódást igen megnehezíti, hogy a gyártók a karakterisztikákat különböző helyzetekben, lineáris vagy logaritmikus skálával ábrázolják. Gyakran elhagyják a polaritásjeleket, a rajzjeleken a nyilakat, más – vagy éppen semmilyen – rajzjelet nem alkalmaznak és gyakran a megnevezések is hiányosak. És – bármilyen hihetetlen – esetenként az adatlapok szerkesztői is összekeverik a jellemzőket; erre számos példával rendelkezünk! Az is előfordul, hogy az adatlap alapján nem is sikerül csoportjainkba sorolni a gyártmányt.

A FET-ek kivezetései a következők lehetnek:

SOURCE; jele S.

A tranzisztor emitteréhez, illetve az elektroncső katódjához hasonlítható, amennyiben ehhez viszonyítva történik a vezérlés. Polaritásra nem következtethetünk e megnevezésből.

DRAIN; jele D.

A tranzisztor kollektorához, illetve az elektroncső anódjához hasonlítható. Polaritásra ebből sem következtethetünk.

Az S és D között folyik a vezérelt áram.

GATE; jele G

A tranzisztor bázisához, illetve az elektroncső rácsához hasonlítható vezérlőelektróda.

SUBSTRAT; jele a BULK (=tömeg) megnevezésből B. Ez a kristálylapka kivezetése, amelyen a FET-et kialakították. Számos esetben az S-re van kapcsolva. (A vertikális és DMOS változatoknál ez a potenciál azonos az S potenciáljával külön kivezetéssel nem rendelkezik. Réteg FET-eknél sincs külön S-potenciál.)

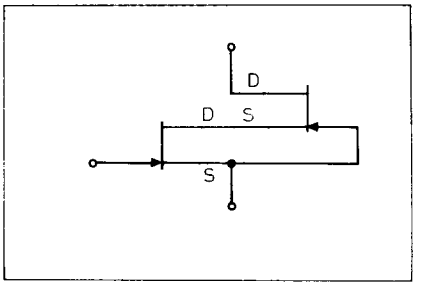
CASE; jele C

Fémtokozású tranzisztoroknál a tok külön kivezetésének a jele. Nagyfrekvenciás típusoknál különösen gyakori.

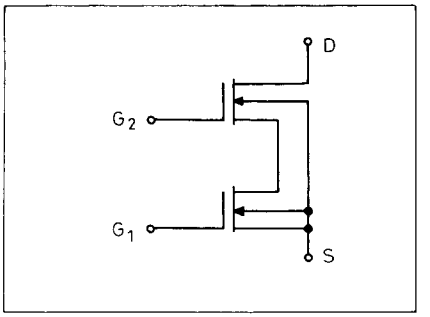
FET-csoportok

Záróréteges, n-típusú, kiürítéses FET-ek

Történelmileg is ezt a csoportot illeti az elsőbbség; ezt a változatot gyártották először a 60-as évek elején kifejlesztett planár/epitaxiális technológiával. Nagyfrekvenciás változatainál a G gyakran két kivezetéssel rendelkezik. Különleges kivitelként megemlíthetjük az INTERSIL



2. ábra



3. ábra

IT500-as sorozatát, amelynek példányaiban négy tranzisztor páronként kaszkádba van kapcsolva **(1. ábra)**.

Ebbe a csoportba tartozik a vezérelhető ellenállásnak nevezett VCR (=Voltage Controlled Resistor) gyártmányok többsége is; quad változatban is kaphatók. És ugyanide sorolandók a galliumarzenid alapú MESFET (=Metal-Silicon FET, fém-félvezető; azaz Schottky-diódás) gyártmányok is. Ezek korszerű példányai már néhányszor 10 GHz-es tartományban is működnek. Kiszajú, nagyfrekvenciás GaAs eszközöket jelöl a HITACHI, „High Electron Mobility Transistor" – HEMT, vagy HEMTFET – megnevezése is.

A csoporthoz tartozó karakterisztikákból jól látható, hogy a karakterisztikák menete a triódákéhoz hasonló. Két ilyen tranzisztor felhasználásával **(2. ábra)** pentóda karakterisztikájú eszközök is készíthetők. Ilyen gyártmányt jelöl a TELEDYNE Co FETRON megnevezése is. A 70-es években forgalomba hozott 7 csapos miniatűr elektroncsöves foglalatba dugható típusai alkalmasak a 12AT7, 6AK5 stb. elektroncsövek helyettesítésére. Erősítésük azonban egy nagyságrenddel jobb, mint az elektroncsöveké.

Áramstabilizáló FET-ek

A G és S kivezetések összekötésével bármely – előbbi csoportba tartozó – példány alkalmas áramstabilizálásra. Az ilyen célra gyártott FET-ekben az összekötést már a chipeken kialakítják, s a kész gyártmányokat áramértékek szerinti csoportokba válogatják. A két kivezetésű CRD-k (=Current Regulator Diode) 0,05–5,6 mA-es tartományban kaphatók.

Záróréteges, p-típusú, kiürítéses FET-ek

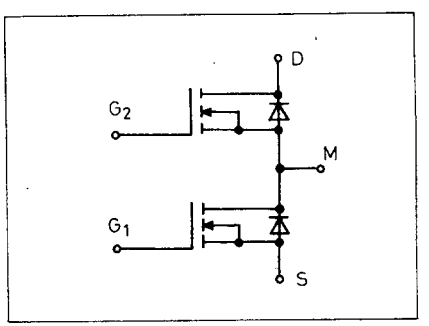
Polaritásaik ellentétesek az előbbiekével; azoknál jóval kisebb választékban kaphatók. VCR-ként ajánlott típusai is léteznek. (Záróréteges kivitelben növekményes FET-ek nem léteznek, mert a pn átmenet nyitóirányban átvezet.)

Szigetelt kapus, n-típusú, kiürítéses-növekményes FET-ek

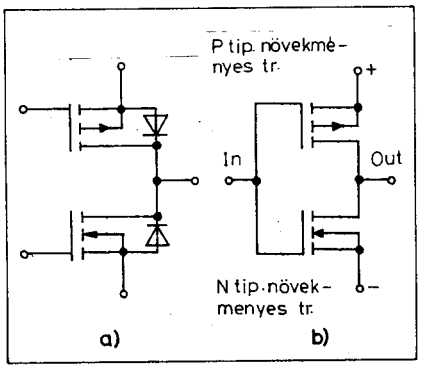
A 4. csoportbeliektől csak méretezésükben térnek el; a pozitív V_{gs} tartományba vezérelhetőek.

Kettős szigetelt kapus, n-típusú, kiürítéses-növekményes FET-ek

A 4–7. csoportokba tartozó FET-ek is az elektroncsövekéhez hasonló



4. ábra



5. ábra

karakterisztikákkal rendelkeznek (a nagyteljesítményű elektroncsövek pozitív rácsfeszültség-tartományokban is vezérelhetők).

Szigetelt kapus, n-típusú, növekményes FET-ek. Ez a csoport rendelkezik a legnagyobb választékkal! A jelenleg gyártott típusok négyötöde ide sorolható. Korszerű változataik többsége nem a szilícium felületén kialakított ún. laterális elrendezésű, hanem háromdimenziós, vertikális konstrukció; VFET. A nagyobb gyártók egy része nem ezt az elnevezést használja. Saját fejlesztésű technológiáikat különféle védett nevekkel jelölik. Ilyen vertikális gyártmányokat jelölnek a HARRIS MEGAFET, az IR HEXFET, a MOTOROLA TMOS, a PHILIPS POWERMOS, az SGS-THOMSON ISOTOP, a SIEMENS SIPMOS és a SILICONIX MOSPOWER megnevezések is. Ezek nagy része nagyteljesítményű tranzisztort jelöl, de kisteljesítményű családtagjai is vannak.

Kaphatók miniatűr, SMD, TO-3, TO-220 stb. tokozással éppúgy, mint extra méretű – tenyérnyi – különleges tokokban, kaszkád kapcsolásban (4. ábra).

Szigetelt, kettős kapus, n-típusú, növekményes FET-ek

A kettős kapus nagyfrekvenciás FET-ek harmadik változata – az 1. és a 7. csoportba tartozók mellett.

Szigetelt kapus, p-típusú, kiürítéses FET-ek

Gyakorlatilag megvalósítható változat – de nem gyártják.

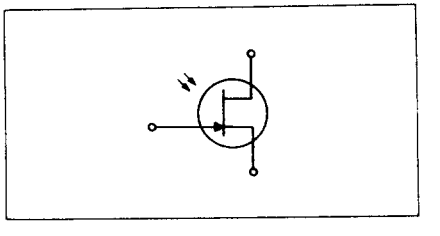
Szigetelt kapus, p-típusú, növekményes FET-ek

A 8. csoport tagjainak komplementer változata – bár választékuk nagyságrenddel kisebb azokénál.

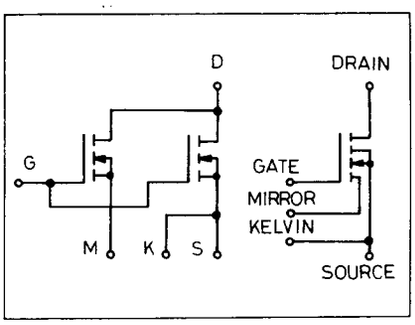
Szigetelt kapus komplementer egységek

Nagyobb teljesítményekhez a 8. és 11. csoport szerinti tranzisztorokat közös tokban – egy chipben – gyártják, többnyire kaszkád kapcsolásban **(5a. ábra).** Egy, két vagy három kaszkádot tartalmazó egységek kaphatók. Ilyen komplementer egységekből épülnek fel a CMOS IC-k is **(5b ábra).**

Táblázatunkból a következők olvashatók le;



6. ábra



7. ábra

– Bemenőfeszültség nélkül (V_{gs} = = 0V) csak a szigetelt kapus növekményes – p és n típusú – FET-ek kerülnek zárt állapotba. Azok, amelyeknek rajzjelében a kimenő áramkört három vonalszakasz szimbolizálja. Az összes többi változat vezérlőfeszültség hiányában nyitott állapotba kerül – hasonlóan az elektroncsövekhez.

– Az n-típusú FET-ek pozitív, a P-típusúak negatív drain feszültséget igényelnek.

– A szigetelt FET-ek mind negatív, mind pozitív bemenőfeszültség-tartományban vezérelhetők; míg a réteg-FET-ek vezérlési tartománya mindig féloldalas.

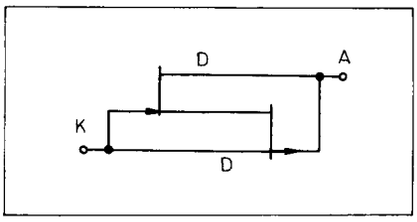
– A rajzjelek nyila réteg FET-eknél a bemenőáram, szigetelt kapus FET-eknél a kimenőáram irányát mutatja.

– Kettős kapus FET-ek csak n-típusú – pozitív drain-feszültségű kivitelben léteznek.

Különleges FET-ek

A táblázatunkba sorolhatók mellett még számos olyan gyártmány létezik, amelyben a FET vezérlése más módon történik, vagy más elemekkel kombinálva fordul elő. A fontosabbakat a következőkben tekintjük át.

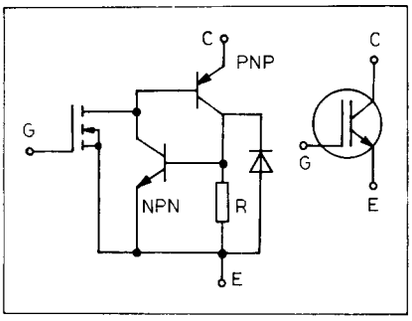
Foto-FET: fénnyel vezérelhető kivitel. Például a CRYSTALLONICS FF600-as típusa. Rajzjele a **6. ábra** szerinti.



8. ábra

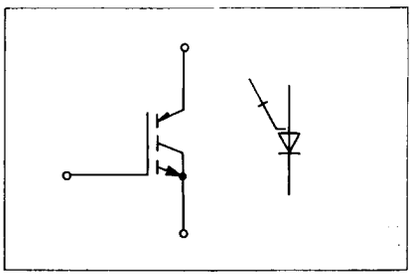
Smoke detektor MOS-FET: füstgázok érzékelésére szolgál.

Sensor-FET: (PHILIPS), vagy FREDFET (SIEMENS), vagy SENSEFET (MOTOROLA – például az MTP40N06M típus); n-típusú, növekményes MOS-FET-ek. A vezérelt áram érzékelésére – mérésére – külön kimenettel rendelkeznek, ami a túláramvédelem működtetésére alkalmas. Öt kimenettel rendelkezik **7. ábra).**



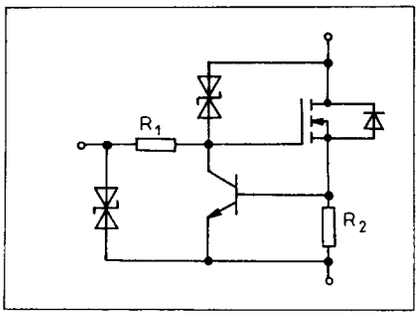
9. ábra

Lambda-dióda: két réteg-FET-ből áll, a **8. ábra** szerinti kapcsolásban. Ilyen például a MATSUSHITA MEL 4881S típusa. Bővebb ismertetése lapunk 92/1–39 és 92/2–86–88 oldalain.



10. ábra

Insulated Gate Bipolar Transistor: (IGBT); A HARRIS által 1980-ban feltalált eszköz egy FET bemenettel ellátott bipoláris tranzisztor. (Bővebben lapunk 92/11–544. oldalán.) Azonos elven működő gyártmányt takar az RCA 1982-es születésű „Conductiviti Modulated FET" (COMFET) megnevezésű gyártmánya is (9. ábra).



11. ábra

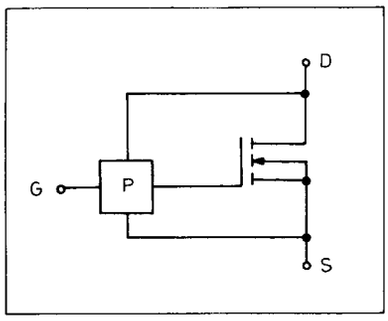
MOS Controlled Thyristor: (MCT); a HARRIS 1991-ben forgalomba hozott FET bemenetű tirisztora. p-típusú változatának rajzjele a **10. ábra** szerinti.

Temperature Protected MOS-FET: (TEMPFET), és PROTECTED MOSFET (PROFET); a SIEMENS hőmérséklet-, illetve hő- és túlfeszültség-védelemmel egybeintegrált teljesítmény-FET gyártmányainak megnevezése.

Smartdiscrete; a MOTOROLA túláram- és túlfeszültség-védelemmel egybeintegrált N-típusú, növekményes teljesítmény MOSFET eleme **(11. ábra).**

Temperature and Overload Protected MOS-FET (TOPFET); a PHILIPS hőmérséklet- és túláramvédelemmel ellátott gyártmánya **(12. ábra).**

Intelligent Power Device (IPD): a TOSHIBA előbbiekhez hasonló teljesítményelektronikai elemei a védelmi áramkörök mellett már vezérlő áramköröket is tartalmaznak.



12. ábra