

Elektronica componenten

Veldeffecttransistoren



6.1 Inleiding

6.1.1 Principe

Veldeffect-transistoren (*field-effect transistor*, of 'FET') verschillen van de gewone bipolaire junctietransistoren. Het zijn echter wel vergelijkbare componenten.

Principe

FET's en BJT's zijn driepolige componenten waar de geleiding tussen twee aansluitingen afhankelijk is van de aanwezigheid van ladingdragers welke gestuurd worden m.b.v. een spanning die aan een derde stuelektrode wordt aangeboden.

6.1.2 Bipolaire vs. unipolaire transistoren

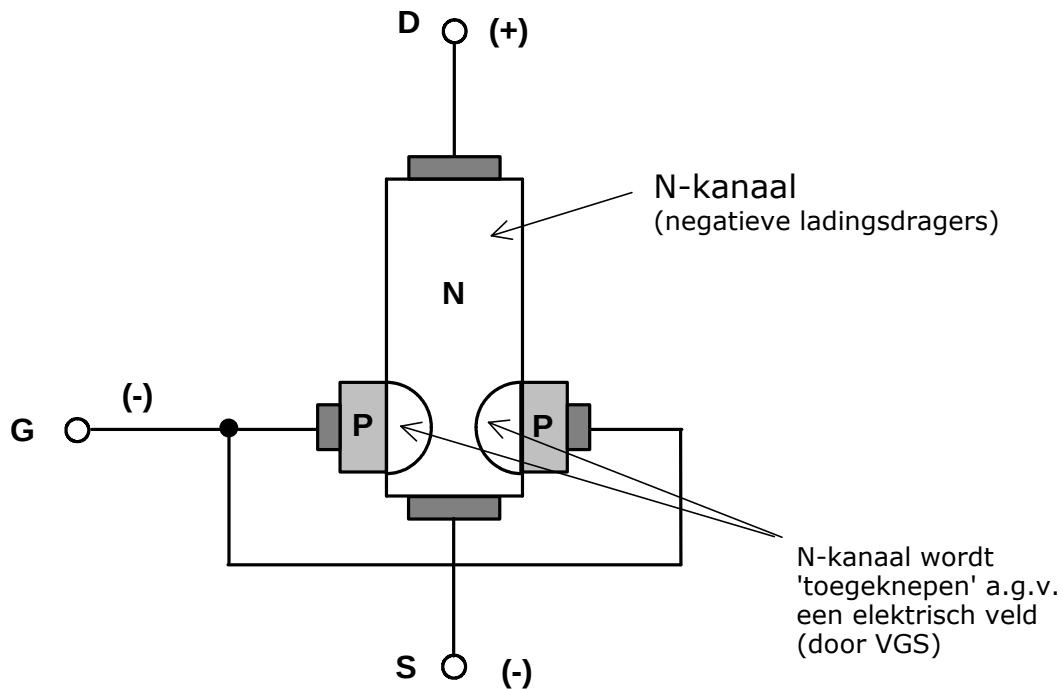
Dit is het grote verschil: in een *bipolaire junctietransistor* staat de collector/basis-diode in sperrichting, zodat er normaliter geen stroom loopt. Door over de basis/emitter-overgang ongeveer 0,7V in doorlaatrichting te zetten kunnen elektronen de basis binnenkomen waar ze sterk worden aangetrokken door de collector. Dit resulteert in een collectorstroom, die wordt gestuurd door een kleinere basisstroom.

Stroomversterker

We kunnen een *bipolaire transistor* opvatten als een **stroomversterker** met een ruwweg constante stroomversterkingsfactor ' h_{FE} '.

Werkingsprincipe FET

Bij veldeffecttransistoren wordt de geleiding in een '**kanaal**' gecontroleerd door een **elektrisch veld**, dat wordt geproduceerd door een spanning op een stuur-elektrode (gate).



△ Fig.6.1 | Structuur van een N-kanaal FET.
Bron: W. Van Wichelen

Spanningsversterker

We kunnen elke *veldeffecttransistor* opvatten als een **spanningsversterker**. Er zijn geen diode-overgangen in doorlaatrichting. Dat betekent dat de gate *geen stroom* trekt. Dit is het grootste voordeel van een FET.

Bipolaire junctietransistoren bestaan uit een PNP- of een NPN-structuur. De twee polariteiten zijn hier essentieel. Het feit dat de werking van een FET gebaseerd is op het al dan niet dichtknijpen van een *kanaal*, geeft aanleiding om deze componenten aan te duiden met de naam *unipolaire* transistoren. Net als bij bipolaire transistoren onderscheiden we twee polariteiten. Bij N-kanaal FET's wordt de geleiding door *elektronen* verzorgd en bij P-kanaal FET's zorgen de zg. *gaten* voor de geleiding.

6.1.3 Hoge ingangsimpedantie

De afwezigheid van gatestroom is waarschijnlijk de belangrijkste positieve eigenschap van een FET. De ingangsimpedantie van veld-effecttransistoren kan als gevolg hiervan groter zijn dan $10^{14}\Omega$. Deze hoge ingangsimpedantie is voor veel toepassingen essentieel. Het wordt nu relatief eenvoudig om elektronische schakelingen in alle geuren en kleuren te ontwerpen.

6.1.4 FET's als vervanger voor BJT's

We kunnen FET's gebruiken in oscillatoren, versterkers, spanningsregelaars,.. waar normaliter ook bipolaire transistoren toepassing vinden. Ze vormen echter geen garantie voor betere prestaties.

Ontwikkeling van IC's

FET's zijn ongeëvenaard als analoge schakelaars en versterkers met een extreem hoge ingangsimpedantie. Ze kunnen gemakkelijk met andere FET's of met bipolaire transistoren tot *geïntegreerde schakelingen*^[26] worden gecombineerd. Dit procédé heeft enorm veel succes gehad bij de fabricage van vrijwel ideale *operationele versterkers*^[27]. *Digitale elektronica* heeft dankzij geïntegreerde MOSFET-schakelingen^[28] een ware revolutie kunnen doormaken.

LSI-schakelingen

Omdat het mogelijk is een groot aantal kleinsignaal-FET's op een zeer kleine oppervlakte onder te brengen zijn ze bijzonder geschikt voor digitale *LSI-schakelingen*^[29] zoals calculator-IC's, microprocessoren en geheugenchips.

Vermogen-elektronica

Steeds meer vervangen moderne vermogens-MOSFET's in veel toepassingen de bekende bipolaire vermogenstransistoren. We denken bijvoorbeeld aan lineaire audio-versterkers en vermogensomzetters. In veel gevallen heeft dit geresulteerd in eenvoudiger schakelingen met betere prestaties.

[26] 'IC': Integrated Circuits of geïntegreerde schakelingen

[27] 'Operationele versterker' wordt afgekort tot 'OpAmp': Operational Amplifier

[28] 'MOSFET': Metal Oxide Screen Field Effect Transistor. Het duurde tot begin jaren 1970 voor de MOSFET aan zijn echte opmars kon beginnen.

[29] 'LSI': Large Scale Integration

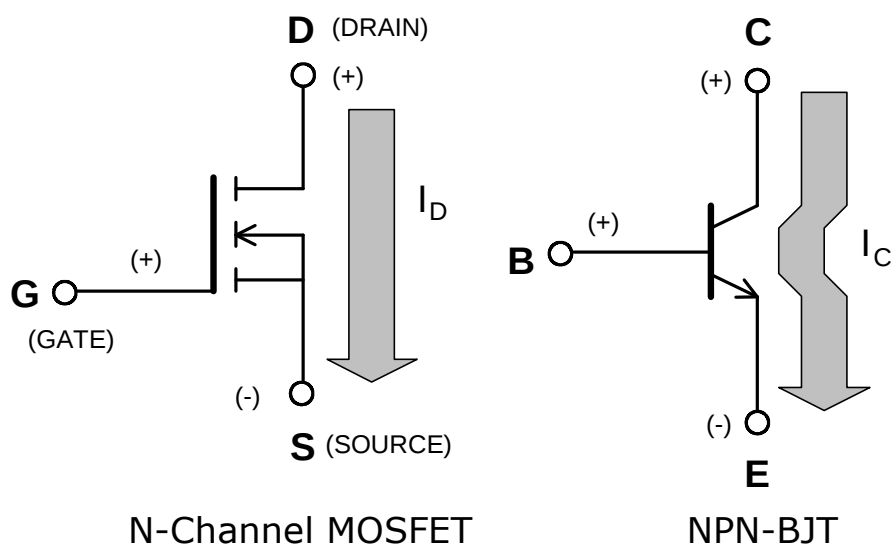
6.2 FET-types

6.2.1 N-kanaaltipe en P-kanaaltipe

Veldeffecttransistoren worden in twee polariteiten vervaardigd. Een N-kanaal FET is het spiegelbeeld van een P-kanaal FET. De symmetrie is echter niet volmaakt omdat voor P-kanaal FET's de *gaten* zorgen voor de geleiding in plaats van *elektronen*. Als gevolg hiervan presteren P-kanaal FET's doorgaans minder goed in vergelijking met de N-types.

6.2.2 Klemmen van een FET

Gate, Drain en Source



△ Fig.6.2 | Aansluitklemmen van een FET en een BJT.
Bron: W. Van Wichelen

De drie klemmen van een veldeffecttransistor worden aangeduid met volgende benamingen:

Let op!

- **Gate (G)**: te vergelijken met de basis van een BJT.
- **Drain (D)**: te vergelijken met de collector van een BJT.
- **Source (S)**: te vergelijken met de emitter van een BJT.

De stroom die door het kanaal vloeit wordt de **drainstroom** (I_D) genoemd. Deze stroom kan je vergelijken met de collectorstroom bij bipolaire transistoren. De grootte van I_D kan je beïnvloeden door een gepaste **gate/source-spanning** (V_{GS}) te voorzien.

6.2.3 MOSFET's

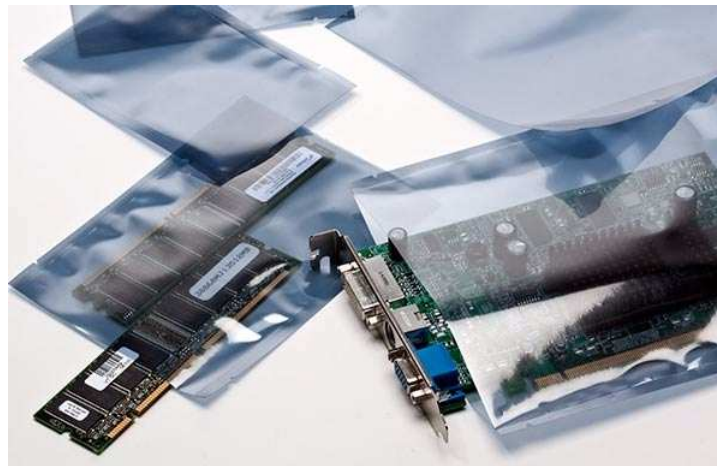
In een **MOSFET** (Metal Oxide Screen Field Effect Transistor) is de gate van het geleidende kanaal gescheiden door een dun laagje siliciumoxide.^[30] De gate bezit aldus een karakteristieke ingangs-impedantie van meer dan $10^{14}\Omega$. De gate beïnvloedt de geleiding van het kanaal uitsluitend door diens elektrische veld. MOSFET's zijn erg gebruiksvriendelijk omdat de gate ten opzichte van de source zowel positief als negatief kan worden zonder dat er een gatestroom gaat lopen.

Statische elektriciteit

Het isolerende laagje onder de gate is behoorlijk dun, typisch minder dan de golftengte van licht. Het is bestand tegen gate-spanningen van maximaal ca. 20V.

Let op!

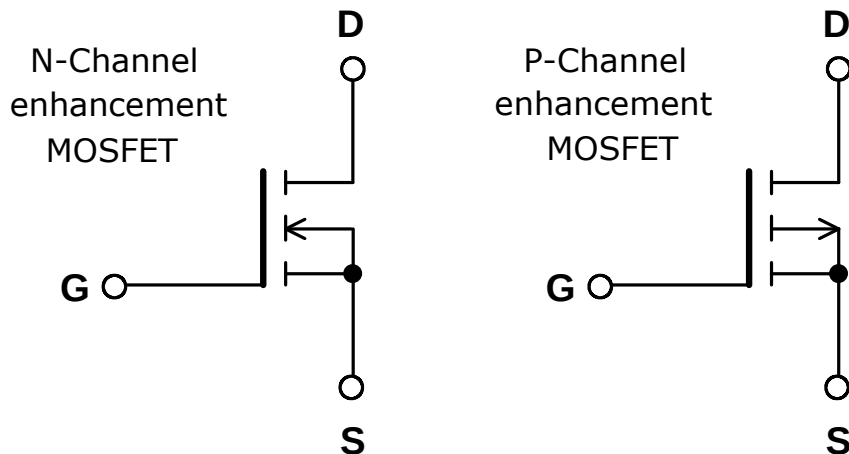
MOSFET's zijn echter tamelijk gevoelig voor beschadiging door **statische elektriciteit**. Je kan een MOSFET al vernielen door die alleen maar aan te raken!



△ Fig.6.3 Anti-statische folie beschermt MOSFET-elektronica tegen ongewenste elektrostatische ontladingen.
Bron: <https://www.clearbags.com/bags/shield>

[30] MOSFET's worden daarom soms insulated gate-FET's (FET met geïsoleerde gate) genoemd ('IGFET').

Schemasymbolen



△ Fig.6.4 Schemasymbolen van N-kanaals MOSFET en P-kanaals MOSFET van het verrijkingstype.
Bron: W. Van Wichelen

Figuur 6.4 toont de schemasymbolen van het meest voorkomende MOSFET-type. Dit type FET staat bekend als het verrijkings-type (enhancement mode).

Let op!

De **N-kanaal MOSFET** is niet-geleidend wanneer de gate op nul volt (of negatief) is ingesteld en gaat geleiden door de gate positief te maken t.o.v. de source.

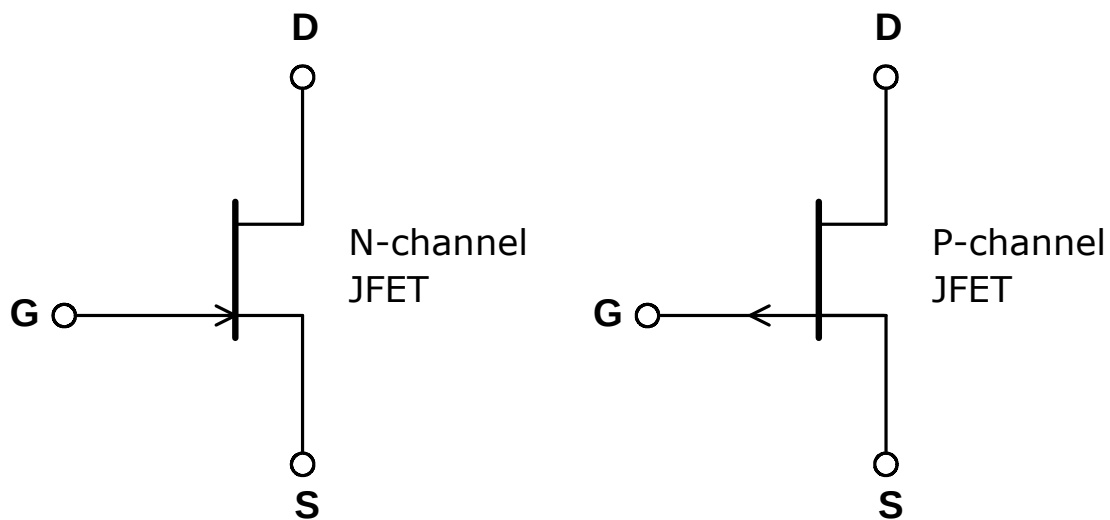
6.2.4 Junctie-FET's

In een JFET (Junction Field-Effect Transistor) vormt de gate een halfgeleiderovergang (junctie) met het onderliggende kanaal. Dit heeft een belangrijke consequentie: de gate van een JFET mag niet in doorlaatrichting ten opzichte van het kanaal worden ingesteld om te voorkomen dat er een gatestroom gaat lopen. Zo zal er bijvoorbeeld diodegeleiding optreden wanneer de spanning op de gate van een N-kanaal JFET een waarde van +0,6V benadert ten opzichte van de source.

Let op!

De **gate** wordt bij een **JFET** altijd in *sperrichting* ingesteld ten opzichte van het kanaal, zodat er geen stroom in de gate kan vloeien.

Schemasymbolen



△ Fig.6.5 | Schemasymbolen van N-kanaals JFET en P-kanaals JFET.
Bron: W. Van Wichelen

6.3 Typische FET-toepassingen

Meestal is het op één of andere manier wel mogelijk een schakeling met bipolaire transistoren om te bouwen tot een schakeling met FET's. Laten we enkele schakelingen bekijken die dankbaar gebruik maken van de unieke eigenschappen van FET's en daaromp beter scoren dan hun bipolaire tegenhangers.

6.3.1 Hoog impedante buffer

Versterkers waar de basisstroom en eindige ingangsimpedantie van BJT's een beperking vormen kunnen het best vervangen worden door een FET-equivalent. Hoewel het mogelijk is dergelijke schakelingen met discrete ('losse') FET's op te bouwen, worden hiervoor in de dagelijkse praktijk geïntegreerde schakelingen (IC's) met FET's gebruikt. In sommige daarvan worden FET's slechts gebruikt om hoogohmige ingangen (voor een overigens normale bipolaire schakeling) te creëren.

6.3.2 Digitale stuelelektronica

Het terrein van microprocessoren, geheugenschakelingen en snelle digitale logica in het algemeen wordt gedomineerd door MOSFET's. In micropower-logica worden uitsluitend MOSFET's toegepast, en wel in de vorm van IC's.

6.3.3 Analoge vermogenschakelaar

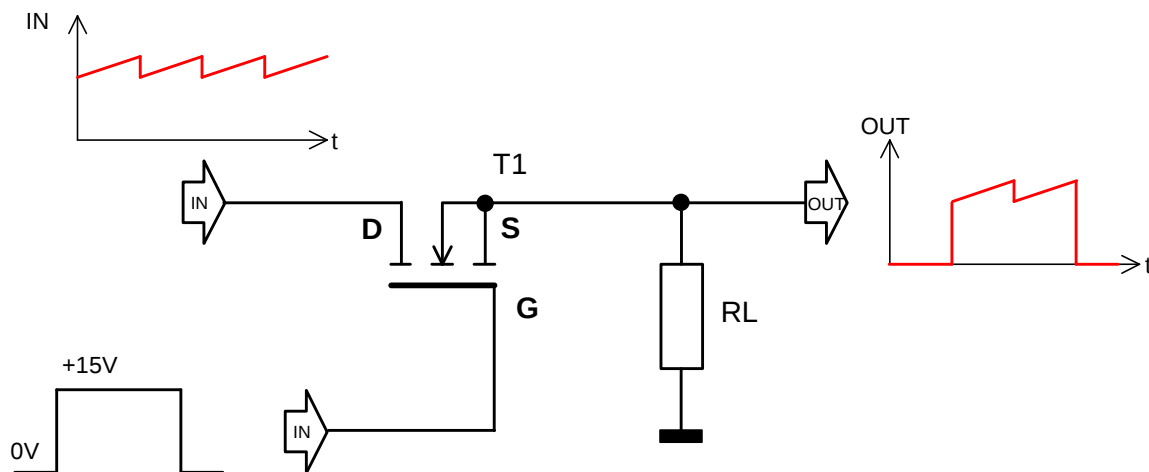
Let op!

MOSFET's zijn uitstekende **spanninggestuurde analoge schakelaars**. De kleine ON-weerstand, zeer hoge OFF-weerstand en lage lekstroom maakt MOSFET's ideaal voor deze toepassing.

Een verliesvrije analoge schakelaar gedraagt zich zoals een ideale mechanische schakelaar:

- In de **ON-toestand** laat deze een signaal onverzwakt en zonder vervorming te introduceren door naar een belasting.
- In de **OFF-toestand** vormt de schakelaar een onderbreking.

Bekijk even de configuratie van figuur 6.6:



△ Fig.6.6 N-kanaals MOSFET als analoge schakelaar.
Bron: W. Van Wichelen

T₁ is een N-kanaal verrijgings-MOSFET. Hij geleidt niet wanneer de gate aan massa ligt of een negatieve spanning voert. In die toestand is de drain/source-weerstand (R_{OFF}) typisch groter dan 10000M Ω , zodat het signaal er niet doorheen komt. Wanneer we een spanning van +15V op de gate zetten gaat het drain/source-kanaal geleiden, met een weerstand R_{ON} van typisch 25...100 Ω .

Let op!

Het signaalniveau op de gate is absoluut niet kritisch, zolang het maar voldoende hoger is dan de grootste te schakelen signaalamplitude.

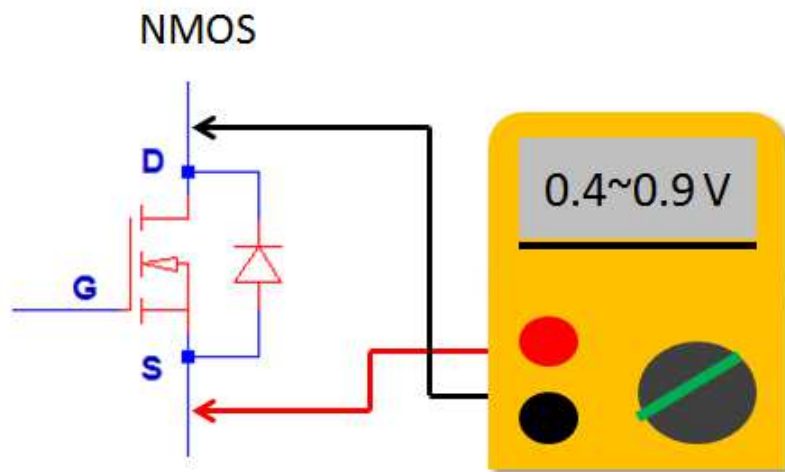
Het stuursignaal kan worden geleverd door digitale logische schakelingen met eventueel tussenschakeling van een FET of een BJT om het stuursignaal een zo groot mogelijke zwaai te geven. Een andere optie is gebruik te maken van een OpAmp. De schakeling van figuur 6.6 werkt goed voor positieve signalen tot ongeveer +10V. Voor grotere signalen is de gatesturing niet groot genoeg om de MOSFET voldoende in geleiding te houden (R_{ON} gaat dan toenemen).

Vermogen MOSFET's

Je zou ten onrechte kunnen denken dat elke MOSFET-schakelaar een *bidirectionele* component is waarbij signalen in beide richtingen kunnen passeren. Wanneer je echter gebruik maakt van **vermogen MOSFET's** (zoals de populaire IRF530) dan mag je niet uit het oog verliezen dat er zich een *diode-overgang* bevindt tussen drain en source. Sommige fabrikanten tekenen deze diode zelfs op het schemasymbool in hun datasheets. In figuur 6.7 is deze source/drain-diode ook in het schemasymbool opgenomen.

Let op!

Vermogen MOSFET's kunnen we NIET *bidirectioneel* gebruiken bij het ontwerpen van analoge schakelaars.



△ Fig.6.7 Testopstelling met DMM (diode-test) om te weten te komen of een N-kanaals vermogen MOSFET al of niet defect is. Bron: <http://electronicsbeliever.com>

Laboproef 9

Bestudeer het principe van een analoge MOSFET-schakelaar. Stuur een N-kanaals MOSFET aan met een PWM-signaal om de lichtsterkte van een gloeilampje van 12 volt te regelen.