

Mosfets

Uit Circuits Online

Inhoud

- 1 Fysische werking.
 - 1.1 FET
 - 1.2 MOSFET
- 2 Types.
 - 2.1 JFET †
 - 2.2 N-enhancement
 - 2.3 P-enhancement
 - 2.4 N-depletion †
 - 2.5 P-depletion †
- 3 Gebruik.
 - 3.1 Basis
 - 3.1.1 Voordeel MOSFET boven BJT
 - 3.2 Gate weerstand
 - 3.3 Snubber
 - 3.4 FET-drivers
 - 3.5 High side driving.
 - 3.6 High side N-mos
- 4 Parameters.
 - 4.1 Threshold
 - 4.2 RDS-on
 - 4.3 VDS max
 - 4.4 VGS max
 - 4.5 gate capacity
 - 4.6 Avalanche energy
 - 4.7 verdere parameters
- 5 Vedere onderwerpen
 - 5.1 Miller plateau.
 - 5.2 praktijk
 - 5.3 H-brug
 - 5.3.1 basis schema
 - 5.3.2 shoot through.
 - 5.4 metingen.
 - 5.5 Werkt m'n FET nog?
 - 5.6 FET kapot.
 - 5.6.1 Doorslag gate
 - 5.6.2 Overspanning
 - 5.6.3 overstroom.

Fysische werking.

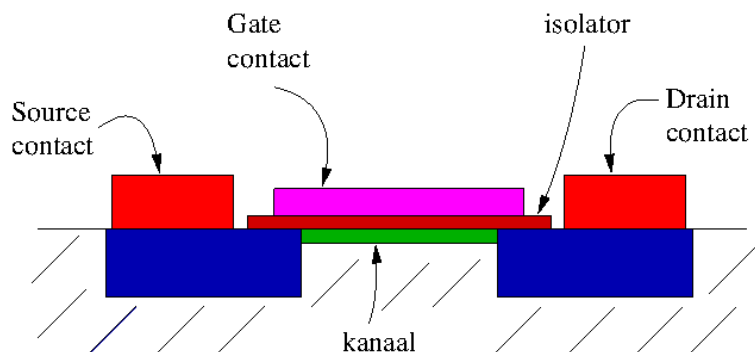
Dit hoofdstukje bespreekt hoe een FET nu eigenlijk fysiek werkt. Enerzijds is dat niet zo van belang, anderzijds helpt het in het begrijpen van hoofdstuk 2, de verschillende types FETs.

Hoofdstuk 3 zal dan bespreken hoe je MOSFETs kan gebruiken. Hoofdstuk 4 op wat voor parameters je moet letten bij het selecteren van een MOSFET. Hoofdstuk 5 geeft wat tips voor de praktijk en bespreekt nog wat andere effecten die soms van belang zijn.

FET

FET staat voor Field Effect Transistor. Waar bij een klassieke bipolaire transistor een stroom de geleiding van de transistor regelt, is het bij een FET zo dat het gaat om het veld dat veroorzaakt wordt door een spanning.

In basis bestaat een FET uit een drain en een source. Twee stukjes halfgeleider van het zelfde type, met een tussenruimte: het kanaal. De gate zit "in de buurt" van het kanaal en kan de geleiding daarvan beïnvloeden.



Voor die invloed is het dus NIET noodzakelijk dat er stroom loopt van of naar de gate.

MOSFET

MOSFET staat voor Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor.

In een MOSFET zit de gate op een dun stukje Metaal Oxide. Bruin gekleurd in bovenstaand plaatje. Hoe dunner het isolerende metaal oxide laagje hoe sterker het field-effect. Maar ook: hoe dunner hoe makkelijker er doorslag optreedt, dus dat de maximale spanning laag is. Kortom fabrikanten moeten een compromis vinden.

Types.

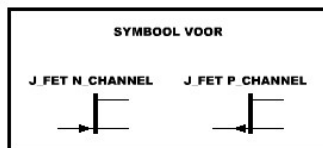
Dit hoofdstuk bespreekt de diverse soorten FETs.

JFET †

JFET staat voor Junction Field Effect Transistor. Hier wordt de isolatie gevormd door een gesperde junctie (PN overgang). Als je deze junctie niet in sper houdt werkt ie niet. Volgens mij worden deze alleen nog toegepast in speciale toepassingen waar een een of andere eigenschap toch handig is.

In het bovenstaande principediagram wordt de isolator gevormd door een junctie: een P-N overgang die in normaal gebruik gesperd is. Door de spanning over de junctie op te voeren ontstaat een groter wordend gebied zonder ladingsdragers. Het kanaal wat normaliter kon geleiden wordt zo steeds minder geleidend.

Hieronder het symbool voor de JFET. Links het symbool voor het N_type, en rechts het symbool voor het P_type.



Junctie FETs worden nauwelijks meer gebruikt behalve in specialistische toepassingen.

N-enhancement

De source en Drain zijn in principe N materiaal. Het kanaal in principe van P materiaal. In rust is er dus altijd een PN overgang die gesperd is en kan er geen stroom lopen.

Het bovenstaande principe diagram is hier weer van toepassing. De blauwe gebieden onder de source en drain contacten zijn dus hier van N-materiaal. het substraat is P-materiaal.

Als de gate nu positief wordt t.o.v. de source, dan trekt deze negatieve ladingsdragers in het licht-gedopeerde P-gebied aan, en zal er een overschot aan N-ladingsdragers ontstaan. Hierdoor gaat het P-gebied lokaal onder de gate zich als N-gebied gedragen. Nu is er een N-N-N configuratie en kan er stroom lopen!

Door moderne productie processen is het onvermijdelijk dat er een extra diode ontstaat. Deze zit dan met z'n anode aan de source en de kathode aan de drain.

Dit is het allerbelangrijkste type MOSFET.

P-enhancement

Als je van de N-enhancement versie alle P en N gebieden verwisselt krijg je een P-enhancement MOSFET. De source en drain zijn nu P-gebied, het kanaal is N. Als je een NEGATIEVE spanning aanbrengt op de gate zullen er P-ladingsdragers aangetrokken worden en ontstaat er een P-P-P configuratie en kan er weer stroom lopen.

Er is nog steeds een body-diode. Deze zit nu met de kathode aan de source en de anode aan de drain.

Dit type wordt ook nog regelmatig toegepast. Omdat met P-ladingsdragers gewerkt wordt en deze minder mobiel zijn in het silicium zijn de eigenschappen minder dan die van N-MOSFETs.

N-depletion †

Door het kanaal net als de drain en source van N-materiaal te maken, geleidt deze variant zonder dat er spanning op de gate staat. Door nu de gate negatief te maken kan je de N-ladingsdragers uit het zwak-gedopeerde kanaal wegduwen en stopt de geleiding.

Doordat het materiaal maar zwak gedopeerd kan worden lukt het niet echt goed om de geleiding erg goed te krijgen zonder dat er spanning op de gate staat. Dit soort MOSFET's is kva performance niet te vergelijken met hedendaagse N-kanaal MOSFET's dus je moet er geen super lage $R_{ds(on)}$ van verwachten. Er zijn echter een paar situaties waar een Depletion mode MOSFET heel handig gebruikt kan worden, zoals: 1) startup circuit van voedingen, vooral de z.g.n off-line switchmode voedingen. Hier heb je vaak grote spanningsverschillen, en zelfs een paar mA's die nodig zijn voor het schakelcircuit geven een enorme dissipatie in een weerstand. Een depletion mode MOSFET heeft geen spanning nodig om te gaan geleiden, en zodra de voeding is opgestart, kan de voeding zelf een spanning genereren om de Depletion mode MOSFET weer uit geleiding te halen. Zo kan gedurende korte tijd tijdens de startup het schakelcircuit eventjes via een weerstand gevoed worden direct vanuit het lichtnet. 2) Ultra low power LDO's. Er zijn wel LDO's met een I_q van 1uA of minder, zelfs 500nA voor de TPS78xxx familie van Texas Instruments, maar die hebben allemaal een maximale ingangsspanning van 5,5V. Met behulp van een Depletion mode MOSFET kun je dat gemakkelijk opkrikken tot 60V of meer, zonder het eigengebruik van de schakeling te verhogen.

P-depletion †

Door weer N en P te wisselen in het bovenstaande verhaal krijg je een P-depletion FET. De eigenschappen zijn nog beroerder en deze worden dus ook nauwelijks gemaakt en gebruikt.

(+) Is "overleden" / alleen in speciale toepassingen.

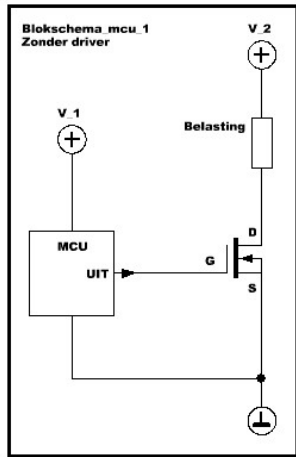
Gebruik.

Dit hoofdstuk beschijft wat basis configuratie in de praktijk.

Basis

We zullen het eerst over een N-FET hebben. Omdat alle anderen nauwelijks meer gemaakt en gebruikt worden, bedoel ik daarmee een N-enhancement-MOSFET.

Door een positieve spanning op de gate t.o.v. de source te zetten zal de MOSFET gaan geleiden. De standaard configuratie is dus met de source aan de GND, de gate aan de sturing en de belasting aan de drain. De andere kant van de belasting hangt aan de voeding.



Op deze manier kan eenvoudig een grote belasting geschakeld worden. Zodra de MOSFET goed "aan" gestuurd wordt blijkt dat hij zich vrijwel als een weerstand gedraagt. Deze weerstand wordt de R_{DS_ON} genoemd.

Voordeel MOSFET boven BJT

Vroeger gebruikte men een bipolaire transistor in deze toepassing. De spanningsval over de transistor blijft dan altijd minimaal 0.2V. Als een last van 50A geschakeld moet worden, is dat nog altijd 10W. Maar ga je in de praktijk kijken, dan hebben we bijvoorbeeld de BUT30V (ongeveer EUR 30,-). Die heeft "typical" 0.5V spanningsval bij 50A. Je moet dan wel voor 2.5A stroom de basis in kunnen zorgen. Je hebt ook al een fors "driver" circuit nodig. Maar het verliesvermogen is hier dus in de praktijk $0.5V \cdot 50A = 25W$ aan verlies.

Neem je echter een moderne MOSFET, bijvoorbeeld de IRFH5302DTR2PBF (minder dan EUR 1,-) dan heeft deze een weerstand van ongeveer 3 mOhm bij 50A. De spanningsval is dan 0.15V en het verlies is nog maar 7.5W. Wil je de verliezen echt laag hebben, kan je voor de kosten van de componenten er tien parallel zetten en wordt het verlies nog eens 10x kleiner!

Door de grote stroom komt er toch nog een redelijk significante spanning over de MOSFET te staan. Zou je bijvoorbeeld 100mA moeten schakelen (5 ledjes?), kan je een IRFML8244TRPBF (EUR 0.10) nemen. 41 mOhm dus 4mV spanningsval, oftewel 0.4mW aan verlies in de MOSFET. Neem je een goede bipolaire transistor dan is de spanningsval 0.2V en is het verlies dus 20mW, 50 maal meer!

Gate weerstand

Zoals je hierboven ziet, is het niet nodig om een gate weerstand toe te passen, zoals bij een bipolaire transistor bij de basis wel vereist is.

Er zijn een aantal redenen om toch een gate-weerstand toe te passen.

Ten eerste kan het zijn dat de MOSFET zodanig "goed" is dat ie zo snel kortsluiting maakt tussen de belasting en de GND dat ie de GND trace "optilt" in plaats van de belasting omlaag. Dit kan dan rare effecten geven in de rest van het circuit. Door nu een gate weerstand op te nemen gaat de MOSFET minder snel in geleiding en zal de boel zich beter gedragen.

Een andere reden kan zijn om de stroom bij het schakelen die naar de gate loopt te beperken. De gate gedraagt zich voornamelijk als condensator. Zou je een output driver van een microcontroller daar direct aanhangen, dan komt de stroom op het moment van schakelen boven de officiële maximum stroom uit. Deze kan je limiteren door er een weerstand tussen te zetten.

Verder kan het zijn dat het langzamere schakelen juist gewenst is.

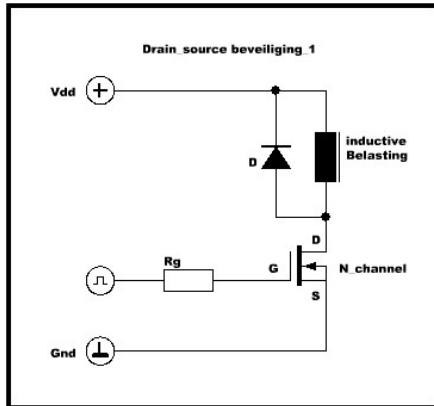
Snubber

Het snelle schakelen kan nogal wat EMI veroorzaken. Ook het schakelen van inductieve lasten kan spanningspieken veroorzaken en kan er voor zorgen dat de FET stuk gaat.

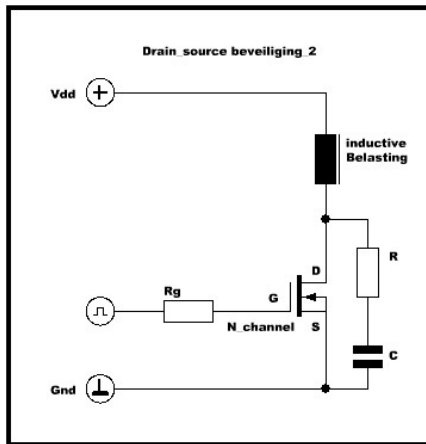
Dit wordt ook wel drain_source beveiliging genoemd. Het filteren kan op verschillende manieren gedaan worden: 1: Met een vrijloop diode over de belasting. 2: Met een R-C circuit op de uitgang. 3: Met een zogenaamde RCD circuit op de uitgang. 4: Met een zener diode op de uitgang.

Hieronder een paar voorbeelden van drain_source beveiligingen.

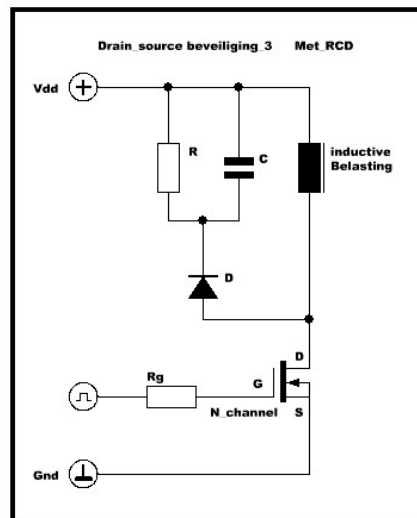
Voorbeeld_1: Hier staat er een vrijloop diode over de belasting.



Voorbeeld_2: Hier staat er een weerstand en een condensator over de uitgang van de FET.

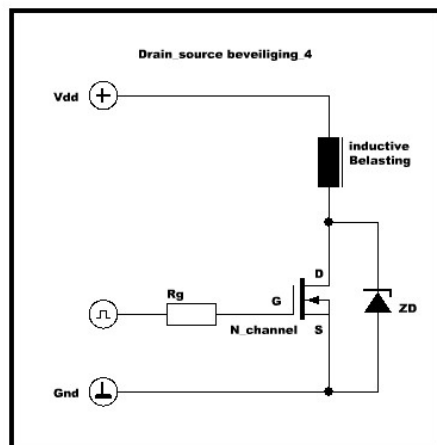


Voorbeeld_3: Dit is het RCD circuit; dit wordt gebruikt bij Hogere frequenties, en voor EMC toepassingen. Hier staat een condensator en weerstand parallel in



serie met een diode, en het geheel staat parallel aan de belasting.

Voorbeeld_4: Hier staat een zener diode over de uitgang van de FET.

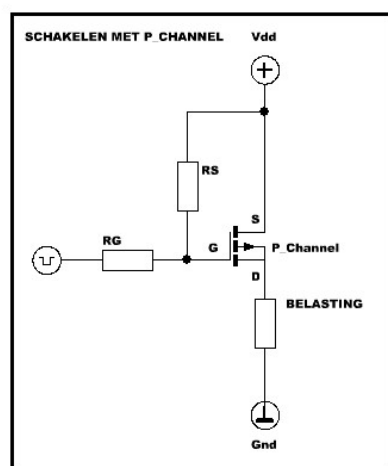


FET-drivers

Om de gate snel aan en uit te schakelen zijn specialistische driver chips beschikbaar die voor korte tijd forse stromen kunnen leveren om de gate capaciteit snel te kunnen opladen en ontladen. Zie ook "verliezen".

High side driving.

Om een belasting naar de voedingsrail te schakelen kan een P-FET toegepast worden. De gate trek je naar beneden om de FET in geleiding te krijgen. Hieronder een voorbeeld van het schakelen met een P-FET. Hier kan je zien dat de belasting tussen de drain en de massa (GND) hangt.



Een alternatief staat in het volgende hoofdstukje.

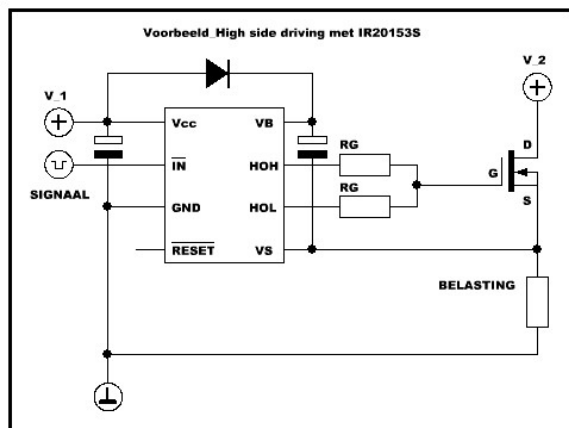
High side N-mos

Omdat N-MOSFETs goedkoper en met betere specs te krijgen zijn, dan P-FETs, is het soms wenselijk om de hoge kant toch met een N-FET te schakelen.

We moeten de normale polariteit van de signalen op de FET aanhouden. De Source die normaal aan de aarde hangt, moet nu aan de belasting. De drain hangt aan de voedingsspanning. In rust is de belasting rond de 0V, dus de drain heeft een hoge spanning t.o.v. de source, net als bij de normale N-FET die de lage kant van de belasting schakelt.

In de geleidende toestand is de spanningsval over de MOSFET nihil, dus de source is ook op een spanning van ongeveer de voedingsspanning. Maar om te geleiden moet de spanning van de gate hoger zijn dan de source. In dit geval dus BOVEN de voedingsspanning.

Hiertoe kan natuurlijk een extra spanningsbron worden aangelegd. Hierbij treedt echter het volgende gevaar op: Als je belasting op ongeveer 0V zit, de voeding is 24V en de gate-drive-spanning is 36V dan kan je de gate snel van 0V naar 36V brengen. Als de op het MOMENT van schakelen nog niet de tijd heeft gehad om naar eens spanning (significant) boven de nul V te komen, zal de spanning op de gate dus ongeveer 36V bedragen t.o.v. de source. Deze spanning mag echter bij veel FETs maar max +/- 20V bedragen. Hieronder een voorbeeld. Op V_1 staat 12VDC dat is de voedingsspanning voor de driver. Op V_2 staat 24VDC voor de belasting. Het signaal is afkomstig van bijv een controller op 5V CMOS niveau.



Er zijn dus speciale driver chipjes beschikbaar die een zogenaamde boost-condensator gebruiken (zie voorbeeld hier boven). Deze condensator zit tussen de source van de MOSFET (= ook belasting!) en een pinnetje van het chipje. Deze condensator wordt tijdens "rust" (via een diode) opgeladen tot de voedingsspanning van bijvoorbeeld 12V. Zodra de MOSFET aangestuurd dient te worden, sluit de driverchip die extra pin en de gate kort. De gate spanning is nu maximaal de 12V voedingsspanning boven de source van de MOSFET. Komt de source niet zo ontzettend snel omhoog, dan is er dus geen kans op doorslag van de gate. Verder, zodra de FET goed in geleiding is en de source op de voedingsspanning van het geheel is aangekomen, komt ook de gate op de gewenste spanning van de voeding + ongeveer 12V aan. Perfect!

Het nadeel van deze methode is dat er altijd wel wat lek is uit de boost-condensator. Een minimale lek via de gate van de FET, wat lek binnen de condensator en wat lek binnen het driver chipje. Hierdoor is het niet mogelijk om de "aan" situatie onbeperkt te handhaven. In een motor-driver situatie zal je dus bijvoorbeeld een MAX-PWM van 99% moeten aanhouden.

Merk op dat sommige mensen dan denken: Dan neem ik wel een P-FET of Bipolaire transistor: Ik wil m'n belasting voor 100% kunnen aansturen. Deze komen bedrogen uit: De verliezen die deze oplossingen teweeg brengen zijn vaak veel groter dan die laatste 1% PWM die je moet opofferen als je voor deze oplossing kiest.

Parameters.

Threshold

Bij deze spanning begint de FET te geleiden. Hieronder doet ie in principe nauwelijks wat (sper, niet geleiden).

Let op: Dit is nog niet de spanning waarbij hij maximaal geleidt!

Het wordt voor de fabrikanten steeds makkelijker om MOSFETs te maken warabij deze spanning laag is.

RDS-on

Dit is één van de allerbelangrijkste parameters. Zodra de MOSFET in geleiding is, gedraagt hij zich als een weerstand. Er zijn MOSFETs verkrijgbaar met een RDSON van onder de miliohm. De wat oudere MOSFETs hebben soms wel een weerstand van een ohm. Dat klinkt veel als je bedenkt dat je ook 0.1 ohm, 0.01 ohm en 0.001 ohm kan krijgen. Maar je moet je bedenken dat er dan (even) 12A gaat lopen als je deze bijvoorbeeld zou gebruiken om de gate van een MOSFET van 0V naar 12V te trekken. Dan is 1 Ohm nog helemaal niet zo slecht.

VDS max

De maximum spanning die de MOSFET kan verdragen. De fabrikanten nemen niet veel marge met deze parameter. Als ze 30V specificeren dan moet je niet denken dat 35V ook nog wel zal gaan.

Bij deze spanning gaat de MOSFET doorslaan. Ondanks dat er geen spanning op de gate staat, gaat bij deze spanning de MOSFET geleiden. Doordat er stroom loopt en een spanning over de MOSFET staat, komt hierbij (een groot) vermogen vrij in de MOSFET. De MOSFET gaat kapot van de hitte die hierbij ontstaat. Enerzijds biedt dat wat "tolerantie", maar anderzijds kan het toch ook binnen 1ms echt gebeurd zijn met je dure MOSFET.

Omdat het om de warmte gaat die hierbij vrijkomt, specificeren fabrikanten tegenwoordig hoeveel energie er in zo'n gebeurtenis mag zitten: Zie Avalanche Energy hieronder.

VGS max

De maximum spanning van de gate t.o.v. de source. Deze is vaak +/- 20V. Bij oudere modellen wel eens wat meer, bij modernere FETs ook wel eens minder.

Als je hier overheen gaat, slaat de isolatie tussen de gate en de rest van de FET door en is ie kapot.

gate capacity

Als je de gate met maximaal 20mA kan laden en ontladen (b.v. direct uit de microcontroller) dan kan je hiermee uitrekenen hoe lang het duurt totdat je MOSFET volledig (of "voldoende") opgestuurd is.

Avalanche energy

Dit heeft te maken met de VDSmax in 4.3. Zoveel energie mag er in 1x in de MOSFET gedumpt worden zonder dat ie kapot gaat. Deze parameter werd vroeger

nauwelijks gespecificeerd. Je overschrijdt de maximum spanning -> als ie kapot gaat: eigen schuld. Tegenwoordig zijn de fabrikanten er achter gekomen dat als je deze parameter weet, je bijvoorbeeld minder of goedkopere beschermingsdiodes kan gebruiken waardoor het overall ontwerp weer goedkoper kan worden.

verdere parameters

Het datasheet staat natuurlijk bomvol met allerlei parameters. Dat doet zo'n fabrikant natuurlijk niet voor niks. De belangrijkste hebben we hierboven behandeld, zo nodig zal je de rest van de parameters moeten lezen in het datasheet om er achter te komen of een FET geschikt is voor je project.

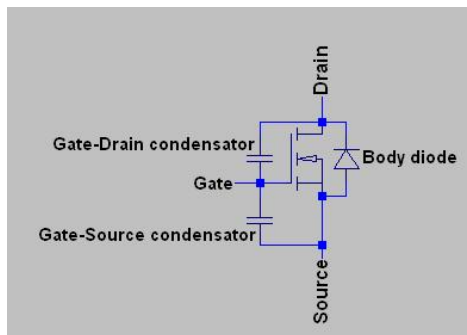
Vedere onderwerpen

Miller plateau.

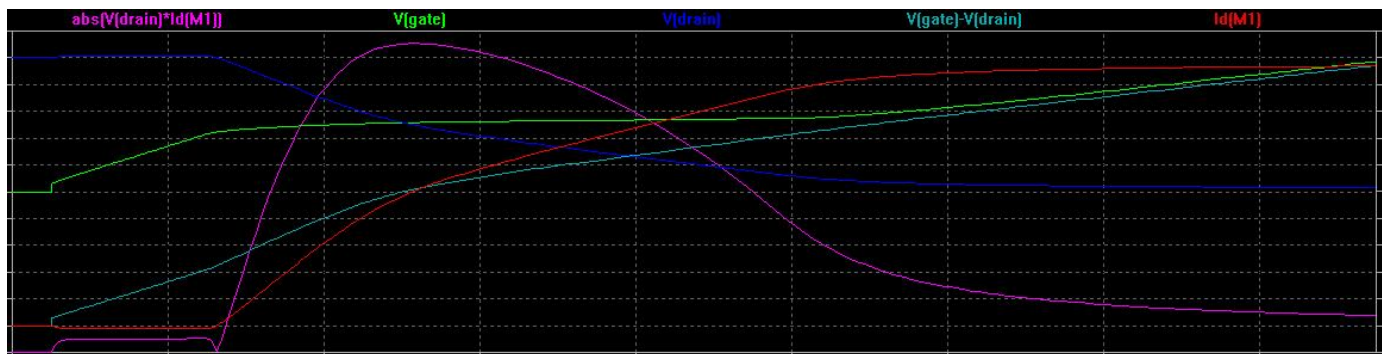
Het nu volgende stuk is een *hele* ruwe versie van de tekst over het Miller plateau; hetgeen wat ik wil vertellen staat er wel in, maar in de huidige staat is het vrijwel onbegrijpelijk. Werk in uitvoering, dus...

Er wordt vaak gezegd dat een MOSFET een spanning gestuurde transistor is, en dat het volstaat om een voldoende hoge spanning op de gate te zetten om deze open te sturen. Helaas is dit niet helemaal waar.

Een MOSFET bevat een aantal paracitaire condensators, die opgeladen en ontladen moeten worden om de spanning op de gate te kunnen veranderen. De voor ons interessante condensators bevinden zich tussen de gate en de source en tussen de gate en de drain. Deze condensators zijn inherent aan het principe van een MOSFET; het is dus niet mogelijk om een MOSFET te maken waarbij deze capaciteiten niet aanwezig zijn, maar fabrikanten doen wel hun uiterste best om ze zo klein mogelijk te maken.



In de volgende grafiek is de gatespanning tegen de tijd uitgezet, wanneer de gate met een constante stroom wordt geladen:



Hoewel we in de praktijk maar zelden een MOSFET aansturen met een stroombron, is het effect hierbij duidelijker zichtbaar. Meestal gebruiken we een spanningsbron met een weerstand in serie, waarbij het lineaire verloop van de gate spanning veranderd in een laad- en ontladcurve van een RC circuit.

We zien dat de gatespanning lineair stijgt, tot deze de $V_{gs(th)}$ (Voltage Gate-Source Threshold) heeft bereikt. Dit is de spanning waarbij de MOSFET net begint open te gaan. Vanaf dat punt zien we dat de spanning nog wel stijgt, maar veel minder stijl, tot de MOSFET op een bepaald moment helemaal open is, en de spanning weer met een stijle helling oploopt tot de uiteindelijke gatespanning. Het middelste stuk, met de flauwe helling, noemen we het Miller Plateau.

Het is opvallend dat de spanning binnen dat stuk veel minder snel stijgt, terwijl de gate met een constante stroom geladen wordt. Waar blijft de stroom dan?

Het antwoord daarop is in principe heel simpel, als je eenmaal doorhebt hoe het werkt. De stroom die op dat moment de gate in loopt, wordt gebruikt om de gate-drain condensator te ontladen.

Stel dat we weer beginnen met de source aan de ground, een spanning van 0V op de gate, en 10V op de drain (de MOSFET is immers aan het sperren). Wanneer we nu beginnen de gate op te laden, zien we weer de genoemde stadia.

1) de MOSFET spert volledig tot de $V_{gs(th)}$ spanning is bereikt; de spanning op de drain blijft dus 10V. Omdat de gate-drain condensator met z'n drain-poot ook op een vaste spanning staat, staat hij voor de stroom effectief parallel met de gate-source condensator.

2) de MOSFET begint te geleiden, waardoor de spanning op de drain daalt. De spanning over de drain-gate capaciteit is op het moment dat dit stadium begint, nog 10V. Aangezien de spanning over een condensator niet zomaar kan veranderen, zonder dat er stroom door loopt, zal deze condensator proberen de gate spanning terug omlaag te drukken, zodra de drain spanning begint te dalen. Hierdoor is het onmogelijk om de gate spanning te laten stijgen, en daarmee de MOSFET verder in geleiding te brengen, zonder de drain-gate condensator te ontladen. Als de gate-source spanning een klein beetje stijgt, gaat de MOSFET een

klein beetje verder in geleiding, waardoor de drain spanning daalt, en de gate-drain condensator dus een verder geladen moet worden. Het grootste deel van de stroom die we de gate in sturen, wordt daar dus voor gebruikt.

3) op het moment dat de MOSFET volledig in geleiding is (ongeveer op punt X, maar er is geen punt eenduidig aan te wijzen), daalt de drain spanning bijna niet meer, waardoor deze condensator minder invloed krijgt op de gate spanning. We blijven de gate op dit punt nog wel laden, omdat de interne weerstand van de MOSFET lager is met een hogere gate spanning. De gate-source en gate-drain condensators staan nu effectief parallel; beide moeten geladen worden, maar de spanning aan de andere kant van de beide condensators veranderd nu niet meer, zodat het laden weer lineair gebeurt.

Bij het uitschakelen van de MOSFET, en dus het ontladen van de gate, doet zich exact hetzelfde voor, maar uiteraard in omgekeerde volgorde.

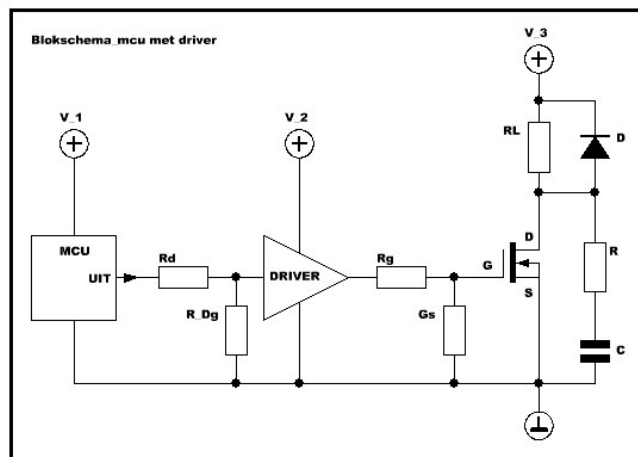
In de grafiek kunnen we ook duidelijk zien dat de verliezen in de MOSFET het grootst zijn zolang de gate spanning binnen het Miller plateau ligt; dit is de tijd dat er een redelijke stroom door de MOSFET loopt, en er tegelijkertijd een redelijke spanning over staat. Het product van deze stroom en spanning is een verlies. Als de MOSFET spert, staat er een grote spanning over, maar loopt er geen stroom, waardoor het verlies (bijna) 0W is. Zodra de MOSFET helemaal geleidt, loopt er een grote stroom, maar staat er een kleine spanning over (vanwege de interne weerstand, $R_{ds(on)}$), waardoor het verlies ook vrij klein is.

Tijdens het schakelen (van deze specifieke MOSFET, onder deze specifieke omstandigheden) zien we een piek van 25W. Dit is een behoorlijk groot verlies, maar gelukkig bestaat dit maar gedurende een zeer korte tijd. Het totale verlies tijdens het schakelen is hier maar ongeveer 3.5uJ (micro-Joule), dus als we deze MOSFET met 10kHz zouden in- en uitschakelen, zou het totale verlies door het schakelen $3.5 * 10.000 * 2 = 0.07W$ zijn. Als deze dan 50% van de tijd aan zou staan, en er in die tijd 10A door zou lopen, zouden de verliezen door de interne weerstand ongeveer 1.5W zijn. Hierbij zien we dus dat de schakelverliezen vaak veel kleiner zijn dan de geleidingsverliezen, mits we redelijk snel schakelen en dit niet met hele hoge frequenties doen.

Voor de volledigheid zou je wel alletwee uit moeten rekenen. Als je wat ervaring krijgt, ga je vanzelf leren wanneer je de verliesvermogens niet meer hoeft uit te rekenen.

praktijk

In de praktijk bestaat een schema met een MOSFET in principe uit: Een schakeling die de aansturing bepaalt (hier getekend als MCU), een driver, en wat



protectie-elementen:

Een aantal van deze elementen zijn niet in alle gevallen nodig.

De weerstand R_d tussen de MCU en de driver is zelden nodig. Alleen als de driver een bipolaire input heeft, die stroom-gestuurd is bijvoorbeeld. Nu zal een driver-chip dat niet snel hebben, maar het "driver" blokje kan je ook zelf maken met een paar losse onderdelen.

De weerstand R_{Dg} zorgt er voor dat als de MCU geen signaal aanstuurt, de last niet plotseling rare dingen gaat doen. Deze kan je weglaten als je kunt tolereren dat je last rare dingen gaat doen, of als je toch nooit de MCU gaat programmeren. (b.v. omdat het geen MCU is, maar een schakeling met een 555).

De driver is nodig om een "10-12V" niveau op de gate van de MOSFET te genereren. Veel MOSFETs hebben zo'n signaal-niveau nodig om volledig open gestuurd te worden. Maar er zijn er tegenwoordig ook steeds meer die het prima doen met een signaal van 5V, 3.3V, of zelfs 2.5V op de gate.

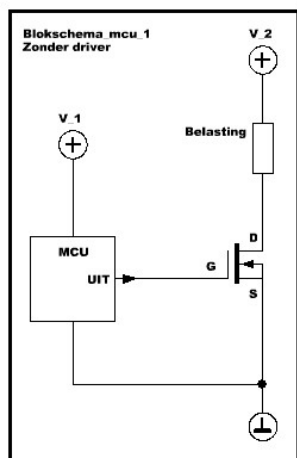
De R_g beperkt de uitgangsstroom van de driver. Veel drivers kunnen gewoon direct aan de gate. Door de R_g wordt het schakelen langzamer. Ook dat kan een doel zijn.

De G_s weerstand is nodig als de driver tristated kan raken, bijvoorbeeld door wegvallende aansturing. Wederom bijvoorbeeld als de MCU geprogrammeerd wordt.

De snubber, R , C , is nodig om EMI te verminderen.

De diode D is nodig als de last inductief is. Alhoewel in sommige gevallen ook met een inductieve last volstaan kan worden zonder diode. Vaak moet dit een snel type diode zijn.

In het simpelste geval wordt het dus:

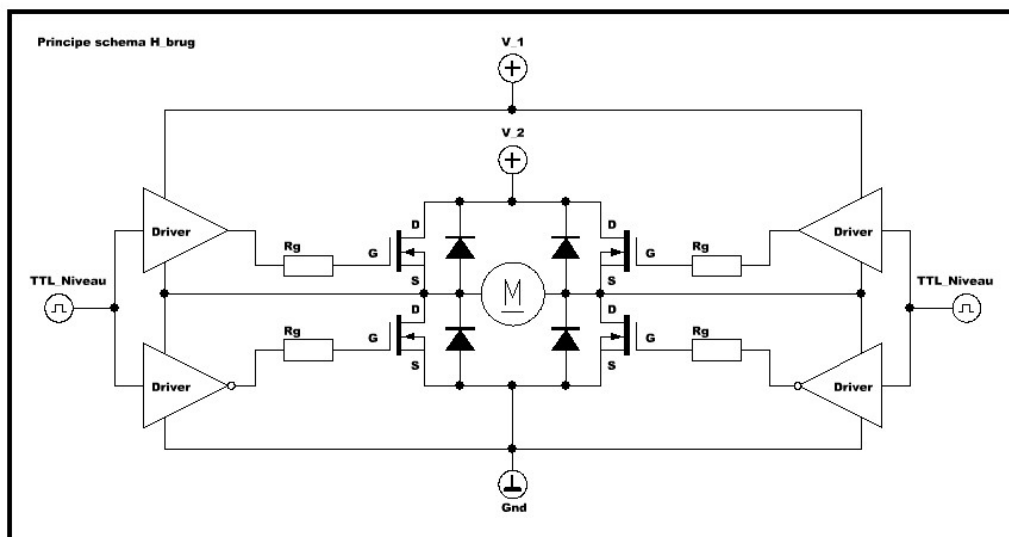


H-brug

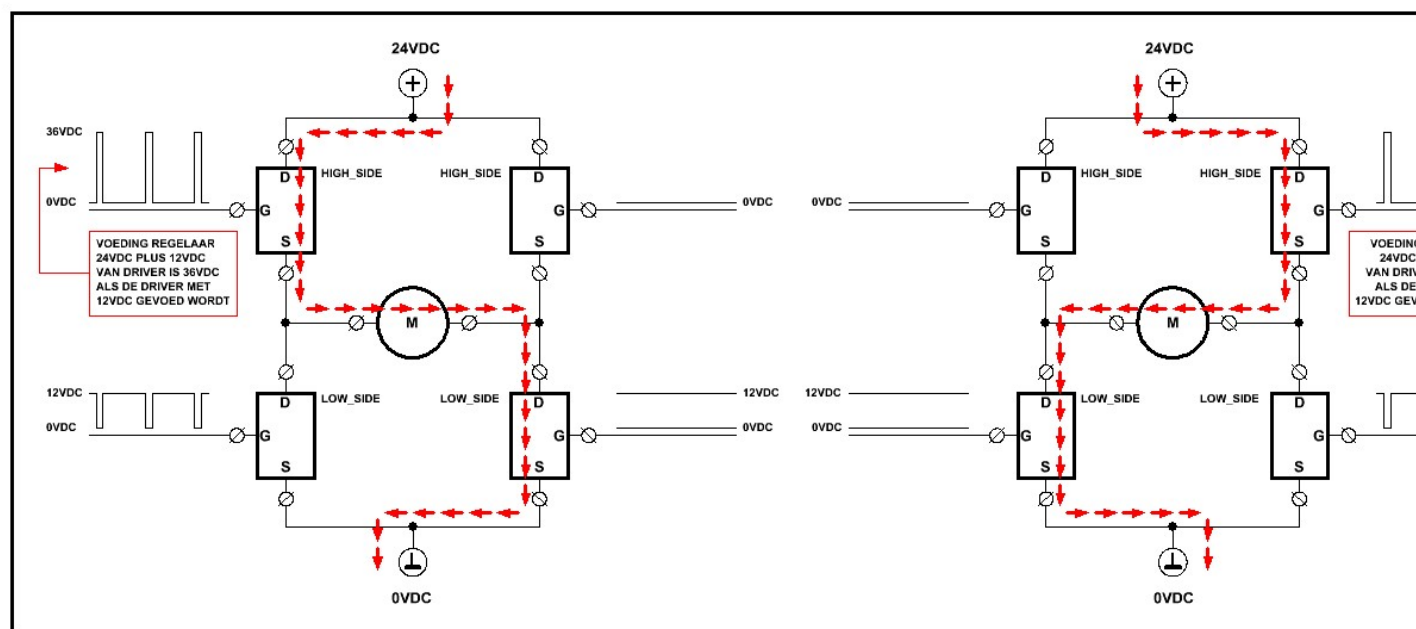
De H_brug wordt toegepast om motoren aan te sturen in richting en toerental. De opstelling staat in een H vorm, zoals de naam H_brug al zegt. Er kan gebruik gemaakt worden van transistoren, of van de modernere MOSFETs. Het voordeel van MOSFETs ten opzichte van transistoren is dat MOSFETs een hele lage RDson hebben in geleidende toestand. (Zie ook RDson in het artikel hierboven) Zoals gezegd de H_brug dient er dus voor om een elektromotor links- en rechtsom te laten draaien, en het toerental te regelen. De signalen die op de ingangen van de H_brug komen te staan, zijn vaak afkomstig van bijv. een microcontroller of bijv. van een pc. Het toerental wordt geregeld door een PWM signaal (puls breedte modulatie) dat verkregen wordt uit een controller of een pc.

basis schema

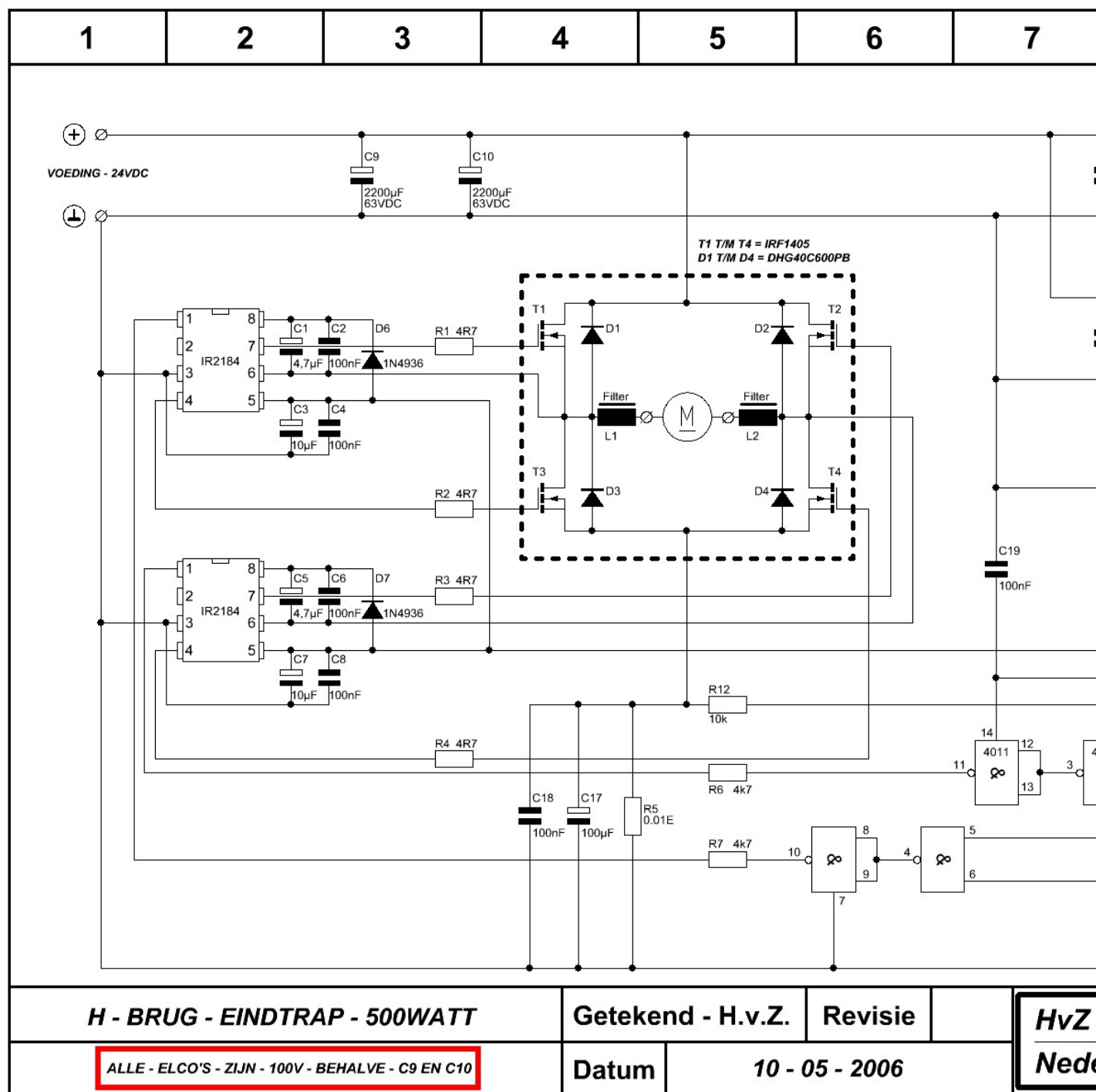
De opbouw van de H_brug gebeurt met vier MOSFETs. De bovenste twee MOSFETs worden high side MOSFETs genoemd, en de onderste twee low side. Hieronder een principe schema.



De brug kan op verschillende manieren opgebouwd worden. Het kan met P-MOSFETs aan de bovenkant, en N-MOSFETs aan de onderkant. Maar het kan ook met vier N-MOSFETs, zoals in het principe schema getoond wordt. Daar worden ook speciale drivers gebruikt, deze zorgen ervoor dat de aansturing van de FETs netjes verloopt. Sommige drivers bezitten een zogenaamde bootstrap; deze trap zorgt ervoor dat de high side MOSFET een stukje opgebeurd wordt aan de gate. Dit is nodig, omdat de FET anders niet in geleiding komt. Hieronder een voorbeeld van het signaal dat op de gate komt. De spanning die hier getoond wordt hangt wel af van de voedingsspanning van de driver; de driver wordt in dit geval gevoed met 12VDC.

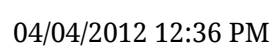


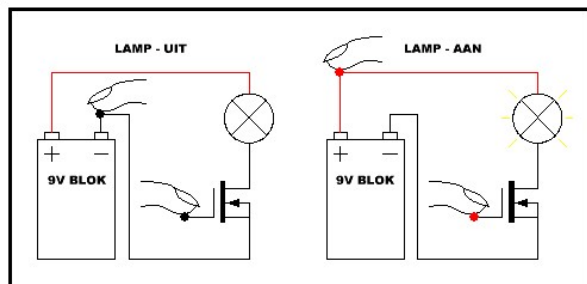
Op de afbeelding (boven) is ook het stroomverloop te zien. Als men op het linkervoorbeeld kijkt, is te zien dat de high side FET (linksboven) en de low side FET (rechtsonder) in geleiding is. Je ziet dat de stroom via de bovenste FET door de motor en via de onderste FET naar de GND loopt. Op het plaatje zijn ook de bijbehorende signalen te zien; de motor draait bijv. nu rechtsom. Op het voorbeeld rechts is de high side FET (rechtsboven) en de low side FET (linksonder) in geleiding. Je ziet dat de stroom richting nu de andere kant op loopt, de motor draait nu linksom. Als er op de ingang van de driver een PWM signaal gezet wordt, kan ook het toeren tal van de motor geregeld worden. De drivers kunnen direct vanuit een controller of pc aangestuurd worden, op TTL niveau dus. Tussen de driver en de FETs staan weerstanden getekend. Dit worden de gate weerstanden genoemd. (uitleg, zie artikel hierboven) De weerstand waarde kan variëren van 0 tot 100 Ohm, maar dat ligt geheel aan het ontwerp van een schakeling. Hieronder een werkend schema van een H_brug.



Over de FETs staan diodes om de FETs te beschermen; dit vanwege de inductieve belasting die een elektromotor is. In de meeste FETs zijn de diodes wel aanwezig, maar het heeft echt de voorkeur deze externe diodes erbij te plaatsen. Het moeten wel snelle diodes zijn, dus geen diodes die gebruikt worden voor brugcellen (gelijkrichters.) Verder kan er nog met filters gewerkt worden, maar dat is niet speciaal nodig. Ook moeten de FETs van een koellichaam voorzien worden, om te zorgen dat deze niet te warm worden. Er kan ook nog een ptc of ntc op de koelplaat gemonteerd worden om de temperatuur te controleren. Er is ook een stroom meet functie aanwezig zodat de H_brug beveiligd kan worden tegen overstroom.

Er kan ook een regelaar gemaakt worden met een halve H_brug, Hiermee kan de motor maar in één richting geregeld worden. Als de motor omgepoold moet worden kan dat wel met relais gebeuren. Maar als de motor maar in één richting geregeld moet worden, dan is dit een optie. Verder geldt voor de halve brug het zelfde als voor een H_brug. Hieronder een werkend schema van een halve brug.





Houd de min van de batterij vast. Tik de gate aan (met de andere hand). De belasting moet nu uit gaan of blijven. Houd nu de plus van de batterij vast. Tik de gate weer aan. De belasting moet nu aan gaan. Herhaal dit eventueel een paar keer om je er van te vergewissen dat het echt werkt.

De lekstroom van de gate hoort zodanig klein zijn dat de belasting na het aantikken zeker een aantal seconden aan of uit moet blijven. Met kleine FETs: laat je belasting niet "half" branden. Of aan OF uit.

FET kapot.

Dit stukje bespreekt een paar manieren waarop je FET kapot kan gaan.

Doorslag gate

Door een spanning op de gate te zetten zal er een elektrisch veld ontstaan over de isolator. Als dat veld te sterk wordt, zal er doorslag optreden. Vaak gebeurt dit al boven de 20V, ook als de FET geschikt is voor hogere voltages.

Overspanning

Als de spanning tussen drain en source te hoog wordt, dan treedt een zogenaamde avalanche effect op. Een electron komt (b.v. door thermische botsingen) los van z'n atoom, versnelt door het veld naar de +, komt dan een atoom tegen en tikt daar dan gemiddeld meer dan 1 electron los. Het resultaat is dat de spanning niet verder kan stijgen en dat de stroom anders sterk toeneemt.

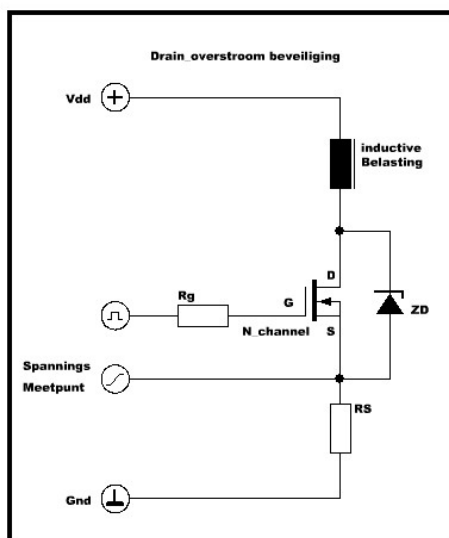
Dit effect is niet direct dodelijk voor moderne MOSFETs. Wel moet je uitkijken: De stroom kan significant zijn, de spanning ook, dus het product, het vermogen, zal ook fors zijn. Tegenwoordig krijg je van de fabrikant een waarde mee: Hoeveel energie mag je zo in je MOSFET dumpen.

Dit gebeurt vaak als je een inductieve last probeert te schakelen en de protectie diode vergeten bent. Of deze is te langzaam.

overstroom.

Als de stroom door de MOSFET te groot wordt, dan gaat deze kapot. Vaak ontstaat een harde kortsluiting tussen drain en source (de FET schakelt niet meer uit).

Wat wel gedaan wordt om dit tegen te gaan, is een meet weerstand (SHUNT) tussen de source en de gnd te zetten (RS in het voorbeeld). Over deze weerstand loopt de stroom van de belasting en veroorzaakt een spanningsval over de weerstand. Deze spanning kan gemeten worden door bijv een controller, de gegevens kunnen dan in het programma verwerkt worden. Op deze manier is het mogelijk om de FET te beschermen tegen overstroom. De waarde van de shunt ligt rond de 0,01 of 0,1 Ω , maar dat ligt aan de stroom door de belasting. Voorbeeld: Als de weerstand bijv 0,1 Ω is en er loopt een stroom van 10A, dan is de spanningsval $10 \times 0,1 = 1V$. Stel dat de FET op 12A beveiligd moet worden, dan mag de spanningsval over de weerstand niet groter worden dan 1,2V. Hieronder het voorbeeld.



In een H-brug configuratie kan bijvoorbeeld controle-hardware de ene MOSFET uitschakelen en z'n complementaire MOSFET te snel aanschakelen. Dan treedt een zogenaamde shoot-through op: De volledige voedingsspanning staat over de twee MOSFETs die alletwee (nog) geleiden. De stroom wordt rap zodanig veel dat de MOSFETs alletwee kapot gaan.

Teruggeplaatst van "<http://gaia.bitwizard.nl/co/index.php/Mosfets>"

- Deze pagina is het laatst bewerkt op 3 apr 2012 om 13:37.