

Vermogenselektronica

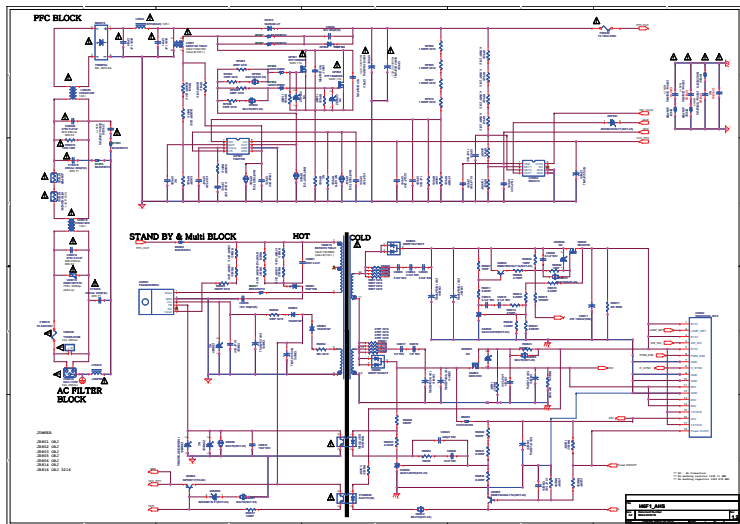
Peter van Duijsen

31 augustus 2020

Table of contents

- ① Halfgeleiders
- ② Mosfet
- ③ IGBT
- ④ Diode
- ⑤ Koeling
- ⑥ Opgaven
- ⑦ Volgende week

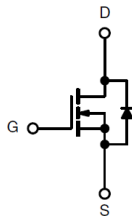
46" LED Televisie



46" LED Televisie

Geintje, maar je zal nu meer gaan herkennen!
Zoek de Mosfets

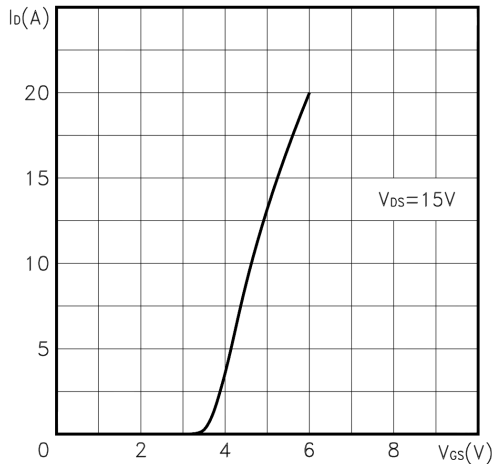
Mosfet



N-Channel MOSFET

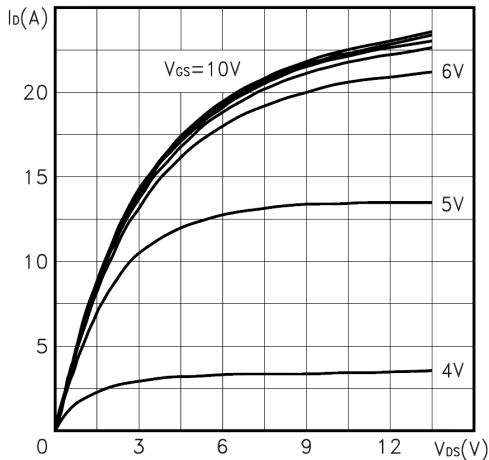
Figuur: Symbool van de N-kanaal Mosfet.

Mosfet karakteristiek



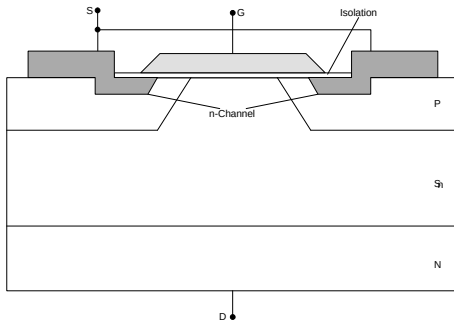
Figuur: Maximale stroom als functie van de gatespanning.

Mosfet Gate spanning



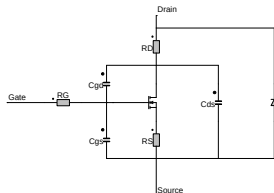
Figuur: Maximale stroom als functie van de drain-sourcespanning voor verschillende gatespanningen.

Mosfet structuur



Figuur: Structuur van de Mosfet.

Mosfet vervangschema



$$C_{iss} \approx C_{gs} + C_{gd}$$

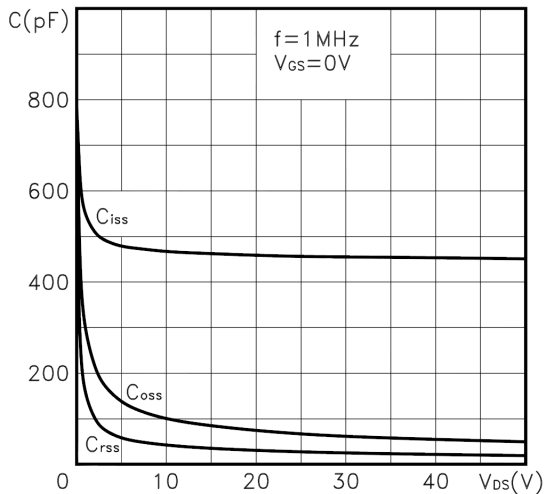
$$C_{css} \approx C_{ds} + C_{gd}$$

$$C_{rss} \approx C_{gd}$$

C_{gd} wordt ook wel de Miller-capaciteit C_{Miller} genoemd.

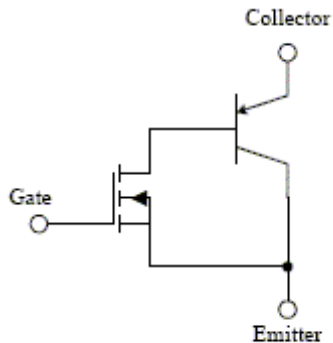
$$R_{DS(on)} \approx R_D + R_S$$

Mosfet charge storage



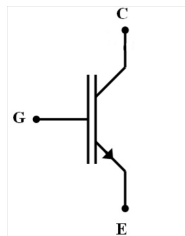
Figuur: Spanningsafhankelijkheid van de interne capaciteiten in de Mosfet.

IGBT



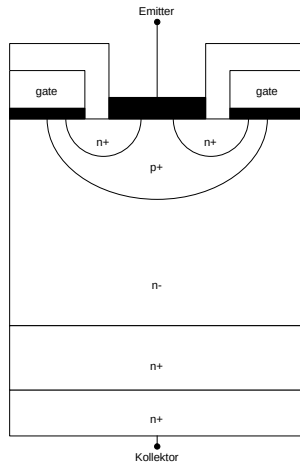
Figuur: Vervangsschema van de IGBT.

IGBT symbol



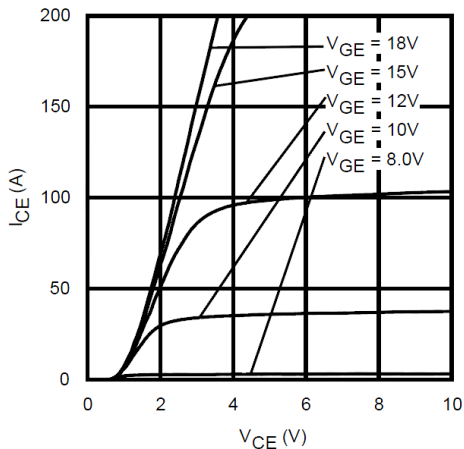
Figuur: Symbool van de IGBT.

IGBT structuur



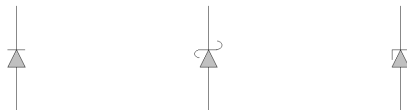
Figuur: Structuur van de IGBT.

IGBT karakteristiek



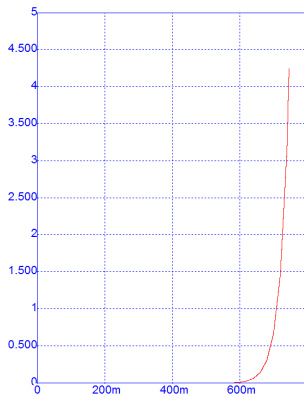
Figuur: Stroomafhankelijkheid van V_{ce} en V_{ge} .

Diode symbol



Figuur: Symbool van de diode, schottky-diode en de zener-diode.

Diode karakteristiek



Figuur: Diodestroom als functie van de spanning over de diode.

Naarmate de temperatuur van de diode toeneemt, neemt het spanningsverlies over de diode bij gelijke doorlaatstroom I_d toe.

Schottky diode

Klassieke Schottky diodes gemaakt van silicium hebben de volgende eigenschappen:

- Geen ladingsopslag en dus korte reverse recovery tijd. Ze zijn daarom geschikt als vrijloopdiodes in schakelende voedingen.
- Lage voorwaartse spanning $< 0.5V$. Indien de diodes in een gelijkrichter vervangen worden door Schottky diodes, halveren de verliezen en daardoor kan de efficiëntie van een schakeling gemakkelijk verhoogd worden.
- De maximale blokkeerspanning is lager dan van gewone diodes. Schottky diodes worden daarom gebruikt in voedingen met lagere spanningen.

SiC Schottky diodes

Siliciumcarbide Schottky diodes hebben soortgelijke eigenschappen als silicium Schottky diodes, maar kunnen een hogere spanning blokkeren en hebben minder doorlaatverliezen. Ze worden gebruikt als vrijlooptiodes.

Soft Recovery Diodes



Figuur: Revere recovery van een diode.

Verliezen

Naast de prijs van een omvormer is de efficiency van de omvormer een belangrijk criterium in het ontwerp van de omvormer.

- Doorlaatverliezen
- Schakelverliezen
- Magnetische kern verliezen
- Verliezen in de snubbers
- Voeden van de regeling

Doorlaat verliezen

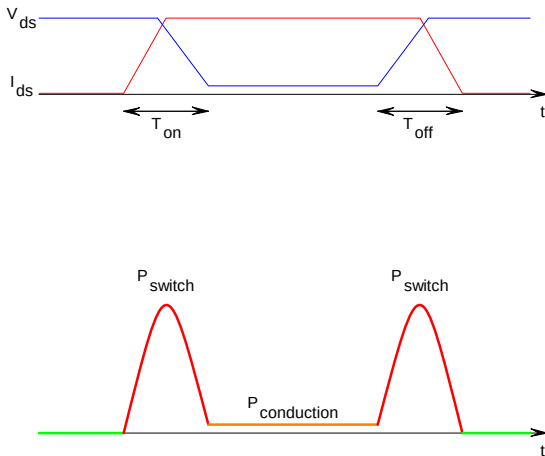
Mosfet

$$P_{Cond} = I_{ds} \cdot (I_{ds} \cdot R_{ds}) \quad (1)$$

Diode

$$P_{Cond} = I_d \cdot V_d \quad (2)$$

Schakelverliezen



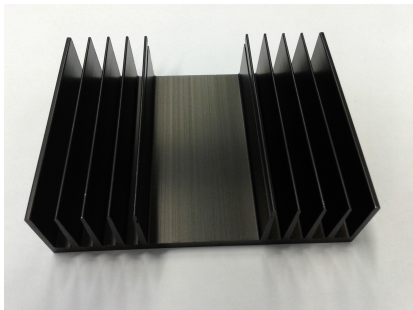
Figuur: Schakel- en doorlaatverliezen van en Mosfet.

Totale verliezen

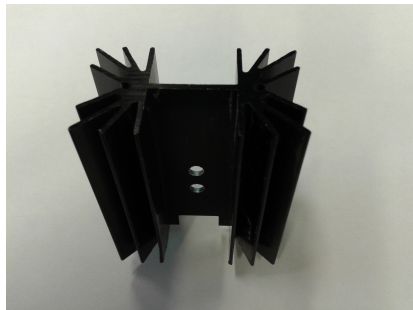
$$P_{total} = P_{cond} + (E_{on} + E_{off}) \cdot F_s [Watt] \quad (3)$$

waarin F_s de schakelfrequentie in Hertz is.

Koeling



Figuur: $R_{th} = 1.9C/Watt$



Figuur: $R_{th} = 3.4C/Watt$

Figuur: Twee verschillende koelementen.

Rekenvoorbeeld verliezen en Koeling

Mosfet die 300volt, $R_{ds} = 1\Omega$, 1A moet schakelen.

Doorlaatverliezen dus ongeveer $P_{cond} = 1Watt$.

$T_{on} + T_{off} = 200ns$ bij een frequentie van 100kHz

$$E_{TurnOn} = \frac{1}{2} v_{ds} \cdot i_{ds} \cdot T_{on} = \frac{1}{2} 300 \cdot 1 \cdot 100e-9 = 15\mu J$$

$$E_{TurnOff} = \frac{1}{2} v_{ds} \cdot i_{ds} \cdot T_{off} = \frac{1}{2} 300 \cdot 1 \cdot 100e-9 = 15\mu J$$

$$\begin{aligned} P_{total} &= P_{cond} + (E_{on} + E_{off}) \cdot F_s \\ &= 1 + (15\mu + 15\mu) \cdot 100e3 \\ &= 1 + 3 \\ &= 4[Watt] \end{aligned} \tag{4}$$

Stel nu dat de stroom maximaal is voor een duty-cycle van $d = 0.5$, dan verlagen de doorlaatverliezen zich, maar de schakelverliezen blijven.

Warmteweerstand

TO220 behuizing van een Mosfet heeft een warmteweerstand R_{thJA} (Junction-Ambient) van $20^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$ hebben.

Temperatuurverschil van $P_{total} \cdot R_{thJA}$

Rekenvoorbeeld $4 \cdot 20 = 80$ graden Celsius.

Omgevingstemperatuur 20°C , Mosfet zal opwarmen tot 100°C Celsius.

(En daar kan je niet alleen je vingers aan branden, maar kan de Mosfet ook stuk gaan.)

Warmteweerstand

Koeling: een warmteweerstand $R_{th_{CA}}$ van behuizing(Case) naar (Ambient)
 $\leq 1C/Watt$

Warmteweerstand $R_{th_{JC}} \approx 1C/Watt$ Junction naar (Case)

Rekenvoorbeeld $4 \cdot (1 + 1) = 8$ graden Celsius.

Ambient is 20 graden

Mosfet temperatuur blijft onder de 30 graden.

Opgave

Maak een schakelende voeding met de volgende parameters:

- $V_{in} = 300V$ DC
- $V_{out} = -12...0...12V$ DC $I_{out} = 1A$
- $V_{out} = 5V$ DC $I_{out} = 2A$
- Schakelfrequentie $F_s = 50kHz$
- Teken schema en bereken de waarde voor L in het geval van continue bedrijf.
- Teken de ingangsstroom
- Teken de spoelstroom
- Teken de diodestroom
- Teken de spanning over de Mosfet
- Selecteer een kern en bereken het aantal wikkelingen

Oplossing 1

300 volt

50 khz $\rightarrow$ 20us $d \leq 0.5$ $T_{on} = 10\mu$

$P_{in} = P_{uit} = 12 \cdot 1 + 12 \cdot 1 + 5 \cdot 2 = 12 + 12 + 10 = 34$ watt

$I_{in\ average} = P_{in} / 300 = 0.1133$ Ampere

driehoekje tot T_{on} , dus dat is de helft, toff is 50procent,
dus daarom nogmaals maal 0.5, dus piek = $4 \cdot average$

$I_{max} = 4 \cdot I_{in\ average} = 0.453$ Ampere is bijna 0.5 Ampere

Oplossing 2

$$U_L = L \, di / dt$$

$$300 = L * 0.453 / 10\mu \quad ==>>$$

$$L = 300 * 10\mu / 0.453 = 6.6 \text{ mH}$$

begrens T_{on} tot maximaal $9.75\mu s$,
dan heb je nog wat ruimte om te regelen
en om de zaak uit te schakelen

$$L = 300 * 9.75\mu / 0.453 = 6.5 \text{ mH} \quad \text{ongeveer}$$

Oplossing 3

Probeer ETD29 met $g=0.5\text{mm}$

$AL=0.201 \text{ uH} / N^2$

dus $N = \sqrt{6500/0.201} = 180$

Wikkerverhouding 300 volt naar 12 $300/12 = 180/N_{\text{sec12}}$

$\Rightarrow N_{\text{sec12}} = 7.2$ kies 8

Wikkerverhouding 300 volt naar 5 $300/5 = 180/N_{\text{sec5}}$

$\Rightarrow N_{\text{sec5}} = 3$

$B_{\text{max}}: Li=NBA$

$6.5\text{e-}3 * 0.453 = 180 B_{\text{max}} 71\text{mm}^2$

$(71\text{mm}^2 \text{ ===== } 71 \text{ e-}6 \text{ meter in het kwadraat})$

$B_{\text{max}} = 6.5\text{e-}3 * 0.453 / (180 * 71\text{e-}6)$

$= 6.5 * 0.453 * 1\text{e}3 / (180 * 71) \text{ [T]}$

$= 230 \text{ mT}$

Volgende week

Oefenen

- Oefenen opgaven diktaat
- Oefenen oude tentamens