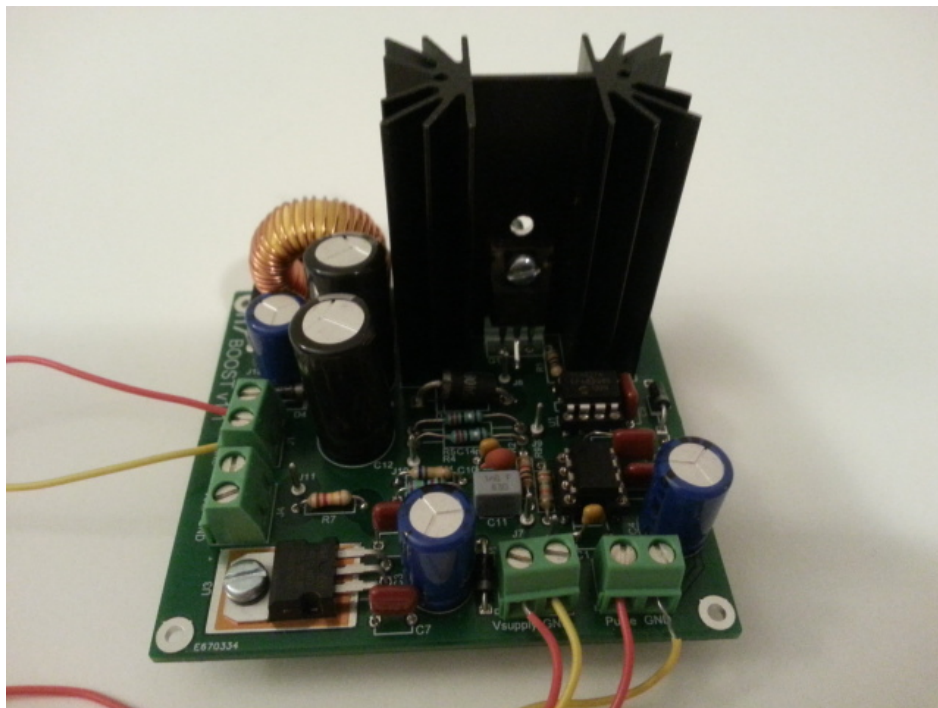


Vermogenselektronica Practicum Elektrotechniek

Andrew Lau, 13058339
Kevin Oei, 13090062
EQ1.a

23-01-2015



Inhoudsopgave

1	Doel	3
2	Meetopstelling	4
3	Metingen	8
3.1	Meting 1	8
3.2	Meting 2	11
3.3	Meting 3	14
3.4	Meting 4	16
4	Conclusie	17
5	Bronvermelding	18
6	Bijlage	19

1 Doel

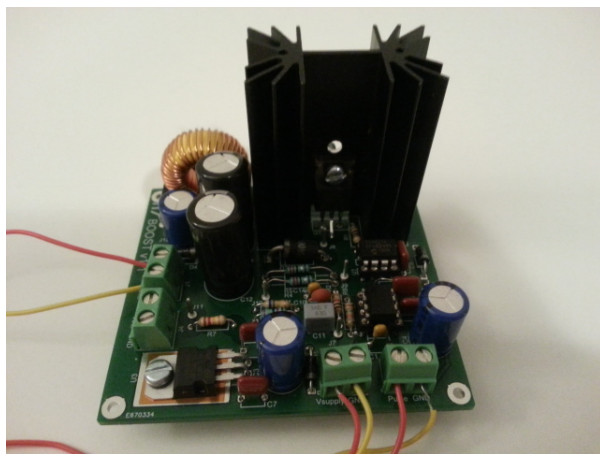
Het doel van het practicum is inzicht verkrijgen in de werking van de boostconverter. Het verkrijgen van inzicht geschiedt ten eerste door het lezen van het dictaat en het zelf bouwen van de boostconverter schakeling. Het boostconverter schema is op blackboard beschikbaar. Ten slotte wordt aan de gebouwde boostconverter schakeling gemeten aan de hand van de gegeven opdrachten.

2 Meetopstelling

In de bijlage is het schema van de boostconverter te zien. Met behulp van het schema is de boostconverter gebouwd.

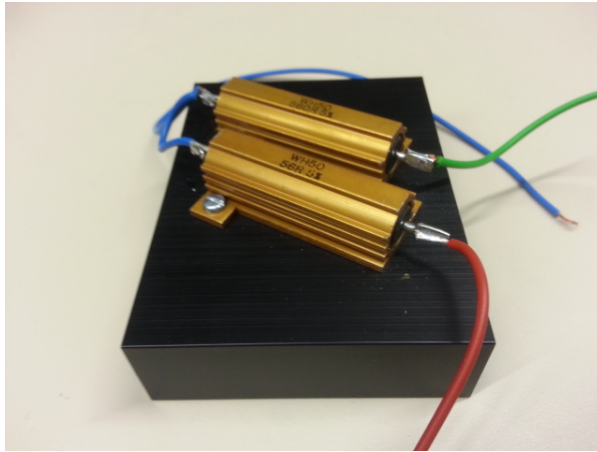
Voor het meten van de opdrachten zijn de volgende onderdelen gebruikt:

- Een gebouwde boostconverter
- 560Ω en 56Ω belastingen
- Coax kabels
- Oscilloscoop
- Bananenstekkers
- Functiegenerator
- Digitale multimeter
- Twee spanningsbronnen



Figuur 2.1: De gebouwde boostconverter

In figuur 2.1 is de gebouwde boostconverter te zien. Deze is gebruikt voor het verrichten van de metingen.



Figuur 2.2: Belasting van 560Ω en 56Ω

Een belasting van 560Ω en 56Ω is gebruikt voor sommige opdrachten. Deze zijn bevestigd aan een koellichaam om de warmte af te voeren (de weerstanden worden behoorlijk heet).



Figuur 2.3: Oscilloscoop

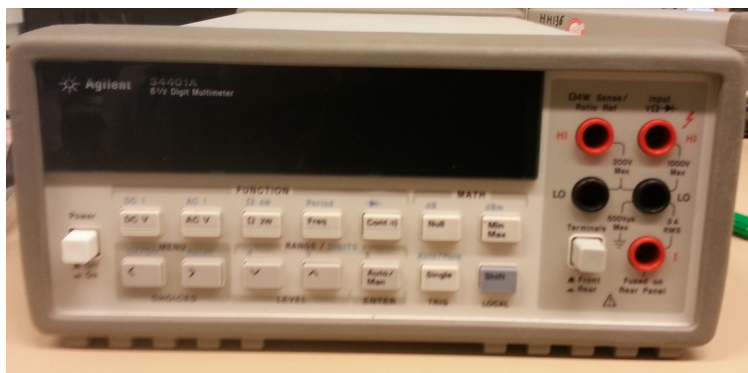
In figuur 2.3 is de oscilloscoop te zien die gebruikt is voor het afbeelden van

de spanningen over de gemeten componenten. Het model dat gebruikt is, is Tektronix DPO 2004B.



Figuur 2.4: Functiegenerator

De functiegenerator in figuur 2.4 is gebruikt voor het opwekken van het signaal dat de frequentie van de mosfet bepaalt. De functiegenerator kan ook de duty-cycle en amplitude instellen. Het model is een BK Precision 4052.



Figuur 2.5: Digitale multimeter

Een digitale multimeter is gebruikt voor het verrichten van de metingen zoals te zien is in figuur 2.5. We hebben voor een digitale multimeter gekozen omdat het decimale getallen weergeeft wat een meer nauwkeurige aflezing mogelijk maakt vergeleken met een analoge multimeter. De digitale multimeter die gebruikt is, is een Agilent 34401A.



Figuur 2.6: Twee spanningsbronnen

Twee spanningsbronnen zijn gebruikt om de boostconverter te voeden. Eén van de spanningsbronnen wordt aangesloten op V_{in} en de andere spanningsbron op V_{supply} .

3 Metingen

3.1 Meting 1

- *Meet en noteer de uitgangsspanning en stroom van de boostconverter bij de volgende duty-cycles: 10, 15, 25, 50, 75%, onbelast, met 560Ω belasting en met 56Ω belasting.*

Tabel 3.1: Metingen zonder belasting, tijdens het practicum zijn er aangepaste duty-cycles opgegeven om te gebruiken bij deze meting

Duty-cycle (%)	V_{out} , onbelast (V)
2	42,3V
6	87,5V
10	128,6V
14	166,4V
18	206,0V

Tabel 3.2: Metingen met belasting

Duty-cycle (%)	V_{out} , belast met 560Ω (V)	V_{out} , belast met 56Ω (V)
10	23,2V	20,8V
15	27,1V	21,6V
25	34,5V	24,9V
50	52,2V	29,1V
75	73,0V	14,8V

Bij een duty-cycle van 75% met een belasting van 56Ω is $V_{\text{out}} = 14,8\text{V}$. Te zien is dat V_{out} bij een duty-cycle van 75% kleiner is dan V_{out} bij een duty-cycle van 50%. Dit komt doordat de spanningsbron niet voldoende stroom levert. De stroombegrenzing is dus bereikt. De stroombegrenzing is bij 46% bereikt bij een belasting van 56Ω .

- *Zet de duty-cycle op 30%, sluit de 560Ω belasting aan. Meet en noteer de ingangsspanning en stroom, en uitgangsspanning en stroom.*

$$V_{\text{in}} = 20,0\text{V}$$

$$I_{\text{in}} = 0,16\text{A}$$

$$V_{\text{supply}} = 18,9\text{V}$$

$$I_{\text{supply}} = 6,426\text{mA}$$

$$V_{\text{out}} = 38,3\text{V}$$

$$I_{\text{out}} = \frac{38,3\text{V}}{560\Omega} = 0,068\text{A}$$

- *Bereken het rendement van de converter. Met en zonder eigenverbruik.*

$$P_{in} = 20,0V * 0,16A = 3,2W$$

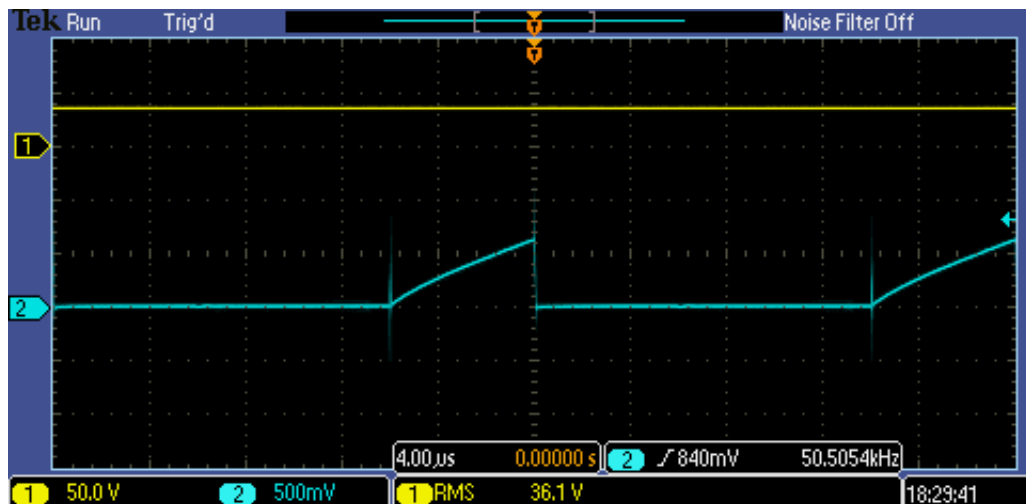
$$P_{supply} = 18,9V * 6,426mA = 121,45mW = 0,12145W$$

$$P_{out} = 38,3V * 0,068A = 2,6044W$$

$$\text{Rendement met eigenverbruik: } \eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN} + P_{SUPPLY}} = \frac{2,6044}{3,2 + 0,12145} = 0,784 \text{ (78,4\%)}$$

$$\text{Rendement zonder eigenverbruik: } \eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{2,6044}{3,2} = 0,814 \text{ (81,4\%)}$$

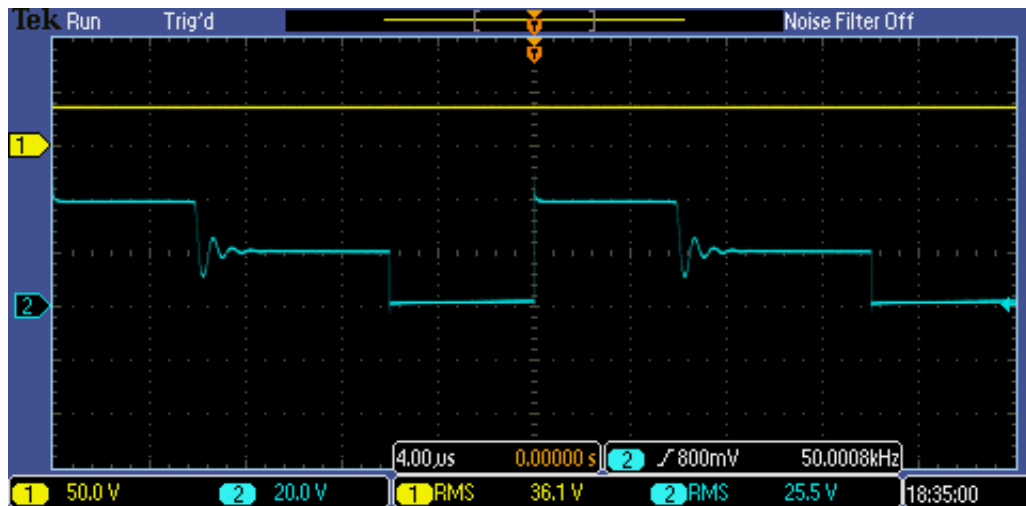
- *Meet met de scoop de stroom door de shunt. Wat is er anders aan de golfvorm dan de golfvorm uit de theorie? Teken de golfvorm van de oscilloscoop en verklaar.*



Figuur 3.1: Spanning over de shunt

In figuur 3.1 is een scoopbeeld van de spanning over de shunt te zien. De golfvorm van de spanning (en daarmee de stroom) van figuur 3.1 en de golfvorm uit de theorie zijn bijna hetzelfde. In figuur 3.1 is een verticale lijn te zien wanneer de stroom toeneemt (wanneer de mosfet ingeschakeld wordt) terwijl, volgens de golfvorm uit de theorie, geen verticale lijn aanwezig is wanneer de stroom toeneemt. Er is een verticale lijn omdat de mosfet een 'push' nodig heeft voor het inschakelen. De stroom door de shunt stijgt dus aanzienlijk voor een kort moment bij het inschakelen van de mosfet.

- *Meet met de scoop de spanning over de mosfet (van drain naar ground). Teken de golfvorm en verklaar de verschillende spanningsniveaus in de figuur.*

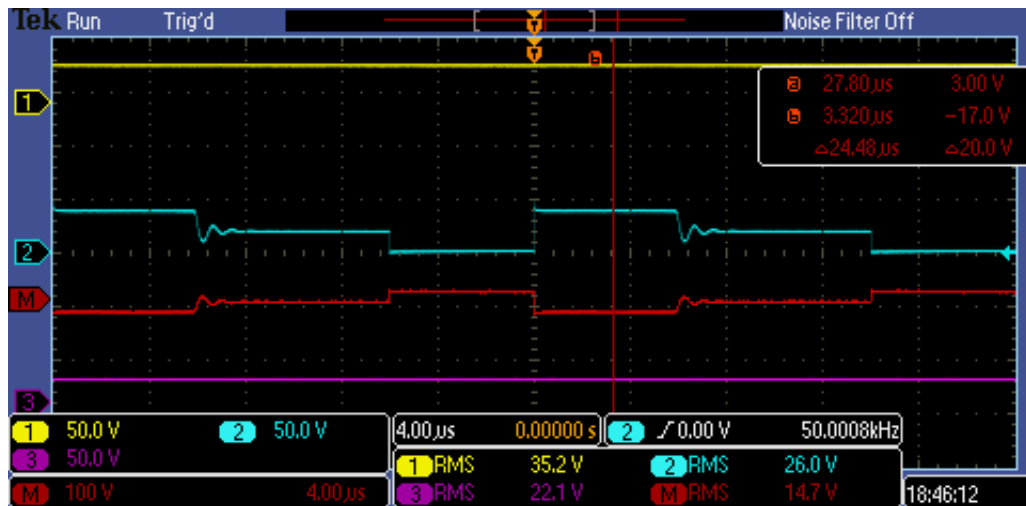


Figuur 3.2: Spanning over de mosfet

In figuur 3.2 is de golfvorm van de spanning over de mosfet te zien. Wanneer de mosfet ingeschakeld is, is de spanning over de mosfet gelijk aan 0V. Wanneer de mosfet uitgeschakeld wordt, wordt de spanning over de mosfet gelijk aan de uitgangsspanning (V_{out}). Na een bepaalde tijd wordt de spanning over de mosfet gelijk aan de ingangsspanning terwijl de mosfet nog steeds uitgeschakeld is. Tijdens de uitschakeling verandert de spanning over de mosfet van uitgangsspanning naar ingangsspanning omdat de spoel (L1) helemaal ontladen is. Omdat de spoel helemaal ontladen is, is de diode (D3) niet meer in geleiding en de spoel gedraagt zich als een kortsluiting, waardoor de spanning over de mosfet gelijk wordt aan de ingangsspanning.

Er is een uitdovende oscillatie aanwezig tussen de overgang van uitgangsspanning naar ingangsspanning nadat de mosfet uitgeschakeld is. Dit wordt veroorzaakt door de uitgangscondensator van de mosfet die volgeladen is voordat de diode (D3) uit geleiding gaat. Wanneer de diode (D3) uit geleiding gaat, gaat de uitgangscondensator van de mosfet ontladen door de spoel en hierdoor gaat de spanning 'wobbelen' totdat de spanning over de mosfet gelijk wordt aan de ingangsspanning.

- Meet met de scoop de spanning over de spoel (gebruik twee probes). Teken de golfvorm en verklaar de verschillende spanningsniveaus in de figuur.



Figuur 3.3: Spanning over de spoel (weergegeven in rood)

In figuur 3.3 is de golfvorm (rood) van de spanning over de spoel te zien. Deze kan niet direct gemeten worden met een probe, dus er moeten twee meetpunten worden genomen waarvan het verschil de spanning over de spoel is. In dit geval wordt de spanning V_{out} van V_{in} afgetrokken. Wanneer de mosfet ingeschakeld is, is de spanning over de spoel gelijk aan de ingangsspanning. Wanneer de mosfet uitgeschakeld is, wordt de spanning over de spoel negatief. Tegelijkertijd ontlada de spoel. Wanneer de spoel helemaal ontladen is terwijl de mosfet nog steeds uitgeschakeld is, gaat de diode (D3) uit geleiding waardoor de spanning over de spoel gelijk wordt aan 0V. De spoel is dan als het ware een kortsluiting.

- *Is de converter nu in discontinu of continu bedrijf?*

Aan de hand van de scoopbeelden (figuren 3.1, 3.2 en 3.3) kan geconcludeerd worden dat de converter in discontinu bedrijf is.

3.2 Meting 2

- *Sluit de 56Ω belasting aan met een duty-cycle van 30%. Meet en noteer de ingangsspanning en stroom, en uitgangsspanning en stroom.*

$$V_{in} = 20,0V$$

$$I_{in} = 0,71A$$

$$V_{supply} = 18,9V$$

$$I_{supply} = 6,429mA$$

$$V_{\text{out}} = 27,1\text{V}$$

$$I_{\text{out}} = \frac{27,1\text{V}}{56\Omega} = 0,484\text{A}$$

- *Bereken het rendement van de converter. Met en zonder eigenverbruik.*

$$P_{\text{in}} = 20,0\text{V} * 0,72\text{A} = 14,4\text{W}$$

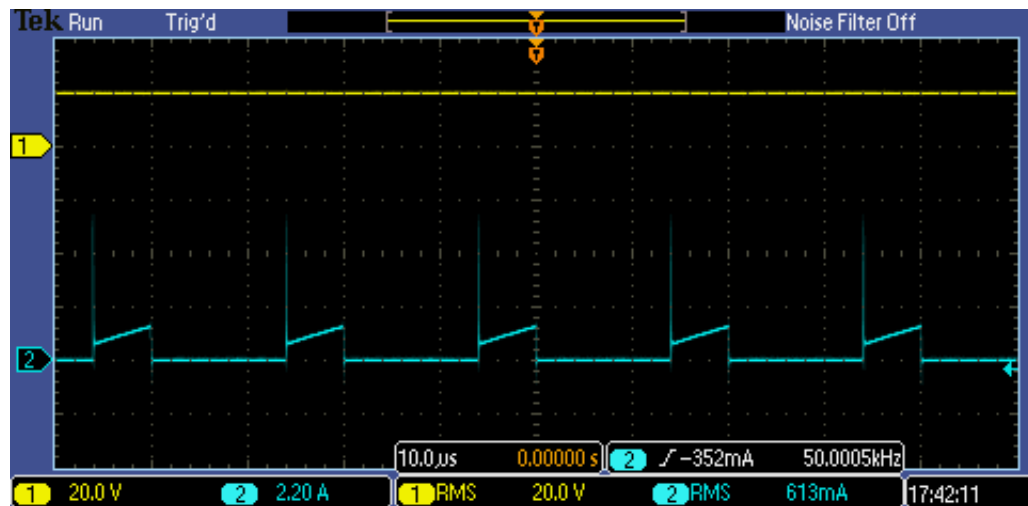
$$P_{\text{supply}} = 18,9\text{V} * 6,429\text{mA} = 121,45\text{mW} = 0,12151\text{W}$$

$$P_{\text{out}} = 27,1\text{V} * 0,484\text{A} = 13,12\text{W}$$

$$\text{Rendement met eigenverbruik: } \eta = \frac{P_{\text{OUT}}}{P_{\text{IN}} + P_{\text{SUPPLY}}} = \frac{13,12}{14,4 + 0,12151} = 0,903(90,3\%)$$

$$\text{Rendement zonder eigenverbruik: } \eta = \frac{P_{\text{OUT}}}{P_{\text{IN}}} = \frac{13,12}{14,4} = 0,911(91,1\%)$$

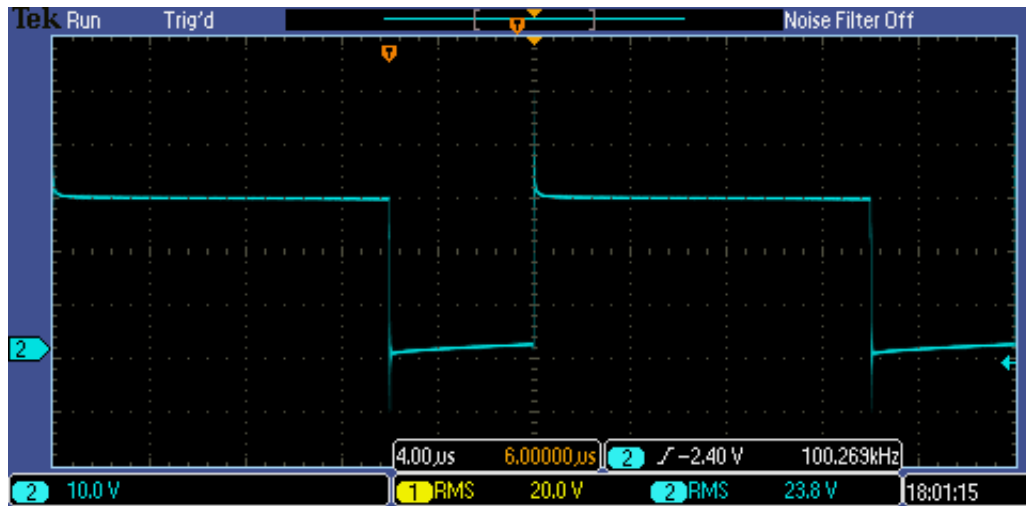
- *Meet met de scope de stroom door de shunt. Wat is er anders aan de golfvorm dan de golfvorm uit de theorie? Teken de golfvorm van de oscilloscoop en verklaar.*



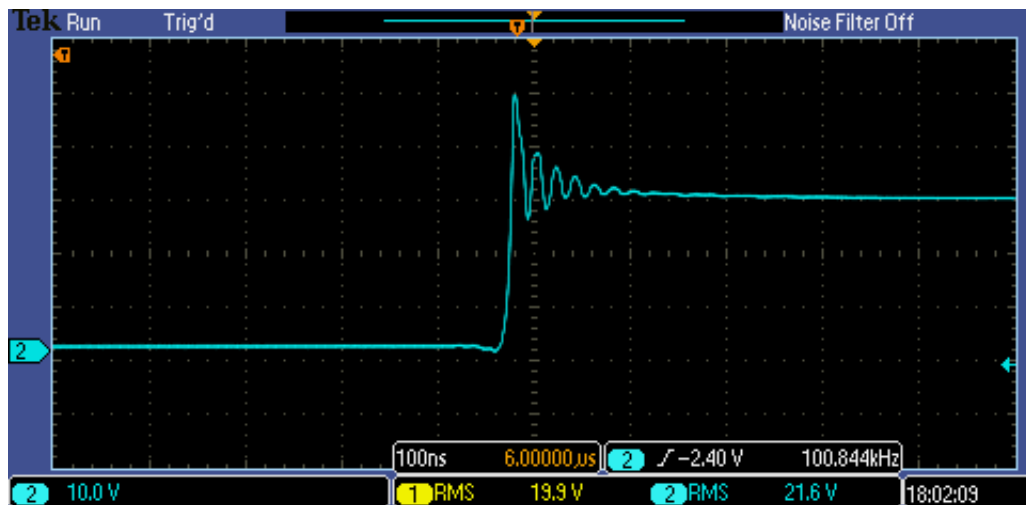
Figuur 3.4: Spanning over de shunt

In figuur 3.4 is een scoopbeeld van de spanning over de shunt te zien. De golfvorm van de spanning (en daarmee ook de stroom) in figuur 3.4 en de golfvorm uit de theorie zijn bijna hetzelfde. In figuur 3.4 is een verticale lijn te zien wanneer de stroom toeneemt (wanneer de mosfet ingeschakeld wordt) terwijl, volgens de golfvorm uit de theorie, geen verticale lijn aanwezig is wanneer de stroom toeneemt. Er is een verticale lijn omdat de mosfet een 'push' nodig heeft voor het inschakelen. De stroom door de shunt stijgt dus aanzienlijk voor een kort moment bij het inschakelen van de mosfet.

- Meet met de scope de spanning over de mosfet. Teken de golfvorm en verklaar de verschillende spanningsniveaus in de figuur.



Figuur 3.5: Spanning over de mosfet

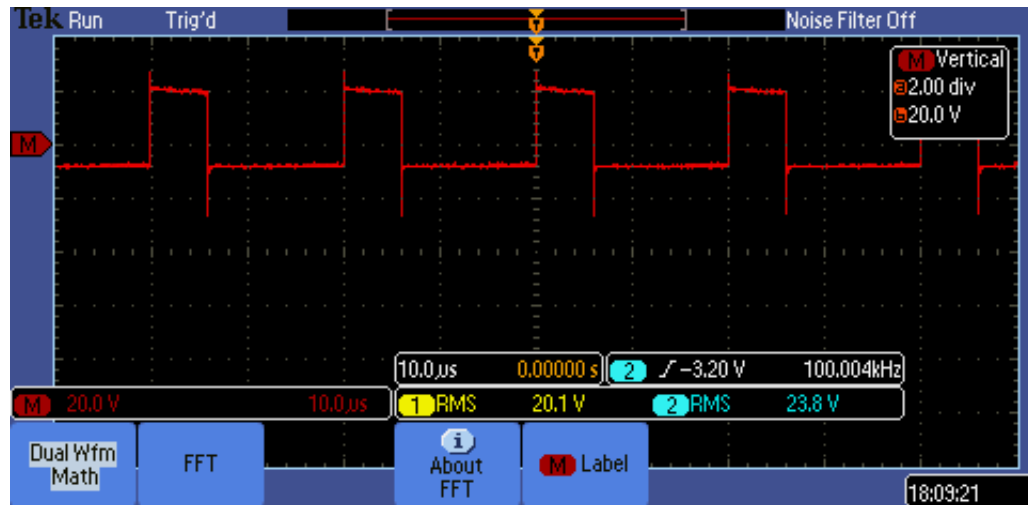


Figuur 3.6: Spanning over de mosfet, ingezoomd op de overgang van laag naar hoog

In figuur 3.5 is de golfvorm van de spanning over de mosfet (V_{DS}) te zien. Wanneer de mosfet ingeschakeld is, is V_{DS} in het begin een negatieve spanning

die naar 0V loopt. V_{DS} is in het begin negatief doordat er een overshoot plaats vindt wanneer de mosfet ingeschakeld wordt. In figuur 3.5 oscilleert de spanning over de mosfet kort wanneer de mosfet uitgeschakeld word. Deze trilling komt door plotselinge geleiding door de diode. Na de wobbels wordt de spanning over de mosfet gelijk aan de uitgangsspanning.

- Meet met de scoop de spanning over de spoel. Teken de golfvorm en verklaar de verschillende spanningsniveaus in de figuur.



Figuur 3.7: Spanning over de spoel (weergegeven in rood)

In figuur 3.7 is de golfvorm van de spanning over de spoel te zien. Wanneer de mosfet ingeschakeld is, is de spanning over de spoel gelijk aan de ingangsspanning, maar de spanning daalt na verloop van tijd. Wanneer de mosfet uitgeschakeld is, wordt de spanning over de spoel negatief. De negatieve spanning over de spoel is gelijk aan de ingangsspanning min de uitgangsspanning ($V_{in} - V_{out}$). Door de plotselinge geleiding van de diode (D3) schiet de spanning over de spoel naar een nog lagere spanning ($V_{in} - V_{out}$) voor een korte periode.

- Is de converter nu in discontinu of continu bedrijf?

Aan de hand van de scoopbeelden kan gezien worden dat de converter in continu bedrijf werkt.

3.3 Meting 3

Closed loop metingen. Haal de functiegenerator los, zet de TL3843 in het ic voetje en sluit de 560Ω belasting aan. Ingangsspanning 20V (Stroombegrenzing op maximaal of op 1,5A)

- Meet en noteer de in- en uitgangsstroom en spanning, en bereken het rendement van de converter.

$$V_{in} = 20,2V$$

$$I_{in} = 0,09A$$

$$P_{in} = 20,2V * 0,09A = 1,818W$$

$$V_{supply} = 18,9V$$

$$I_{supply} = 38,02mA$$

$$P_{supply} = 18,9V * 38,02mA = 718,58 \text{ mW} = 0,71858 \text{ W}$$

$$V_{out} = 30,1V$$

$$I_{out} = \frac{30,1V}{560\Omega} = 0,054A$$

$$P_{out} = 30,1V * 0,054A = 1,618W$$

$$\text{Rendement met eigenverbruik: } \eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN} + P_{SUPPLY}} = \frac{1,618}{1,818 + 0,71858} = 0,638 \text{ (63,8\%)}$$

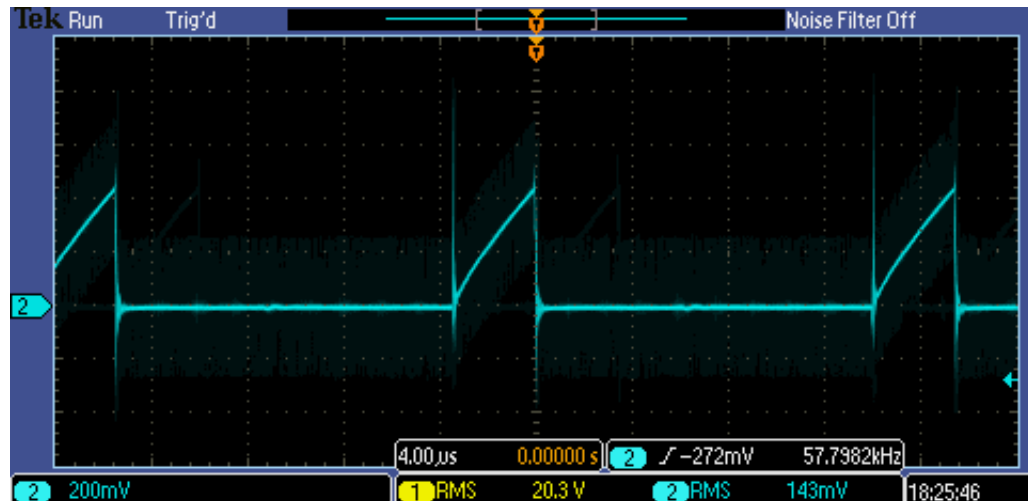
$$\text{Rendement zonder eigenverbruik: } \eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{1,618}{1,818} = 0,890 \text{ (89,0\%)}$$

- Meet de stroom door de shunt met de scoop. Bekijk de spanning over de shunt. Is de converter nu discontinu of continu?

$$V_{shunt} = 143mV$$

$$R_{shunt} = R_4 // R_5 = \frac{2,2 * 2,2}{2,2 + 2,2} = 1,1\Omega$$

$$I_{shunt} = \frac{V_{SHUNT}}{R_{SHUNT}} = \frac{143mV}{1,1\Omega} = 130mA$$



Figuur 3.8: Spanning over de shunt

De converter is in discontinu bedrijf.

- *Sluit de 56Ω belasting aan. Draai de ingangsspanning van de converter langzaam omhoog vanaf $10V$ en kijk wat er gebeurt met het stroomsignaal. Beschrijf wat je ziet en verklaar.*

Voor het omhoog draaien van de ingangsspanning van de converter, is te zien dat de duty-cycle steeds kleiner wordt totdat de duty-cycle 0 wordt. Dit komt door de formule van de duty-cycle van de boost converter:

$$V_{OUT} = V_{IN} * \frac{1}{1-d}$$

$$V_{OUT} - d * V_{OUT} = V_{IN}$$

$$-d * V_{OUT} = V_{IN} - V_{OUT}$$

$$-d = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{V_{OUT}}$$

$$d = \frac{V_{OUT} - V_{IN}}{V_{OUT}}$$

Als de ingangsspanning (V_{IN}) steeds groter wordt, dan nadert de duty cycle naar nul.

3.4 Meting 4

- *Bepaal aan de hand van de gemeten spanning en stroom de inductie van de spoel.*

$$F_S = 50000\text{Hz}$$

$$T = \frac{1}{F_S} = \frac{1}{50000} = 0,00002s = 20\mu s$$

$$\text{Duty-cycle} = 30\% = 0,3$$

$$dT = 0,3 * 20\mu s = 6\mu s$$

De V_{IN} is gegeven en die is gelijk aan $20,2V$.

De ingangsstroom (I_{IN}) is gemeten en die is gelijk aan $0,09A$. De rimpelstroom door de spoel is circa 40% van de ingangsstroom. De rimpelstroom door de spoel is gelijk aan:

$$\Delta I_L = 0,4 * 0,09A = 0,036A$$

Met al de gegevens bekend kan de inductie van de spoel berekend worden.

$$L = \frac{1}{\Delta I_L} * V_{IN} * dT = \frac{1}{0,036} * 20,2 * 6 * 10^{-6} = 3,367mH$$

4 Conclusie

Vanuit de metingen kan de conclusie getrokken worden dat de gebouwde boost-omvormer werkt. De golfvormen uit de theorie en de golfvormen die verkregen zijn tijdens de metingen komen overeen. Het idee achter het practicum was het inzicht krijgen in de verschillen tussen theorie en praktijk van deze golfvormen, en dat is duidelijk gebleken in de meetresultaten.

5 Bronvermelding

1. van Duijsen, P.J. (2014). *Vermogenselektronica: Schakelende Voedingen* (1e druk). De Haagse Hogeschool.

6 Bijlage

