

Toetsvoorblad

Naam Student: _____

Studentnummer: _____

Locatie: **Delft**

Opleiding: Elektrotechniek	Toetsnaam: Elektrische omzettingen en voedingen
Opsteller: P.J. van Duijsen Tweede lezer: P.M. Witte	Datum: 31-01-24 Tijd: 11:30 – 13:30
Groep: EQ1.a, EQ1.b, EQ1.c, EQ1D Cursuscode: E-ELOMVO-th1	Aantal bladzijden: 10 (inclusief voorblad) Aantal vragen: 4

Bij deze toets worden verstrekt:

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Gelineeerd papier | <input type="checkbox"/> Opgavenbladen met ruimte om de vragen te beantwoorden |
| <input type="checkbox"/> Ruitjes papier | <input type="checkbox"/> Antwoordformulier ABCDE |
| <input checked="" type="checkbox"/> Kladpapier | <input type="checkbox"/> Antwoordformulier Ja/Nee |
| <input type="checkbox"/> Omslag voor gemaakt tentamen | <input type="checkbox"/> Antwoordformulier Ja/Nee/Vraagteken |
| <input type="checkbox"/> Overig: _____ | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Bijlage(n): Formuleblad (zit in de toets) | |

Toegestane eigen hulpmiddelen bij het maken van deze toets:

- | | |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Eenvoudige rekenmachine | <input type="checkbox"/> Eigen aantekeningen: _____ |
| <input type="checkbox"/> Grafische rekenmachine | <input type="checkbox"/> Boeken/dictaten: _____ |
| <input type="checkbox"/> Computer | |
| <input type="checkbox"/> Formuleblad(en): _____ | |

Cesuur (voorlopig):

Maximaal 100 punten, 10 punten per vraagonderdeel

In te leveren door student bij surveillant:

- | |
|--|
| <input type="checkbox"/> Alle documenten voorzien van naam en studentnummer, per document gesorteerd |
| <input checked="" type="checkbox"/> Alle documenten voorzien van naam en studentnummer, per student gesorteerd (in omslag) |

Belangrijk:

Voor dit tentamen gelden de regels uit de toetsregeling van het Onderwijs- en Examenreglement. Dit document is aanwezig in het toetslokaal; Je dient zelf te controleren of je alle pagina's en vragen van dit tentamen hebt ontvangen;

Dit tentamen is dubbelzijdig geprint;

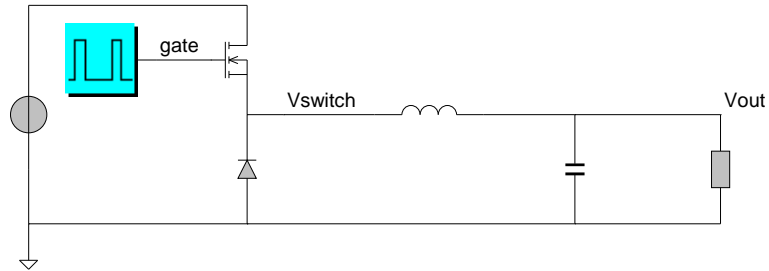
Schrijf je naam en studentnummer op alle documenten.

Let op: Alleen een antwoord van een berekening levert geen punten op. Antwoorden dienen vergezeld te gaan van een uitwerking!

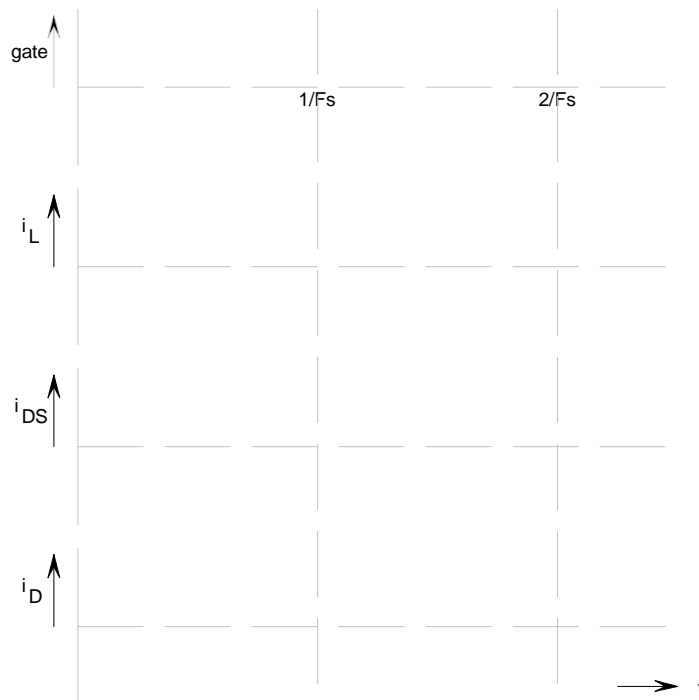
Vraag 1, (10 punten per vraagonderdeel)

Voor een USB aansluiting is een buck omvormer nodig en deze heeft een duty cycle van 0.5 en moet aan de uitgang 5 volt leveren:

$$V_{uit} = 5V, I_{uit} = 1A, F_s = 100kHz, I_{ripple} = 40\% \text{ van de spoelstroom!}$$



1. Bereken de ingangsspanning die hiervoor nodig is.
2. Bereken de waarde van de spoel L die hiervoor nodig is. Let op dat de top-top waarde van de rimpelstroom door de spoel ongeveer 40% van de uitgangsstroom is.
3. Teken in de onderstaande grafiek het Gate signaal, stroom door de spoel, stroom door de diode en de stroom door de mosfet



Vraag 2, (10 punten per vraagonderdeel)

Voor de voeding van een regeling waarin ook ouderwetse PLC's zitten is een voeding van 24 volt nodig. Hiervoor moet een Flyback converter gemaakt worden.

1. Teken hieronder het schema van de Flyback omvormer met 1 uitgangsspanning.
Geef met 2 duidelijke zwarte punten de wikkelrichting van de primaire spoel ten opzichte van de secundaire spoel in het schema aan.

De Flyback heeft de volgende parameters: $V_{in} = 300V$, $V_{uit} = 24V$,
 $N_p = 100$ wikkelingen, $N_s = 10$ wikkelingen, $Fs = 100kHz$

De dutycycle d is in dit geval niet gelijk aan vijftig procent, i.e. $d \neq 50\%$.

De Flyback werkt in continue mode.

2. Bereken de duty-cycle d en de aan-tijd van de Mosfet in μs

Vraag 3, (10 punten per vraagonderdeel)

Op een practicum wordt aan een boost converter gewerkt.

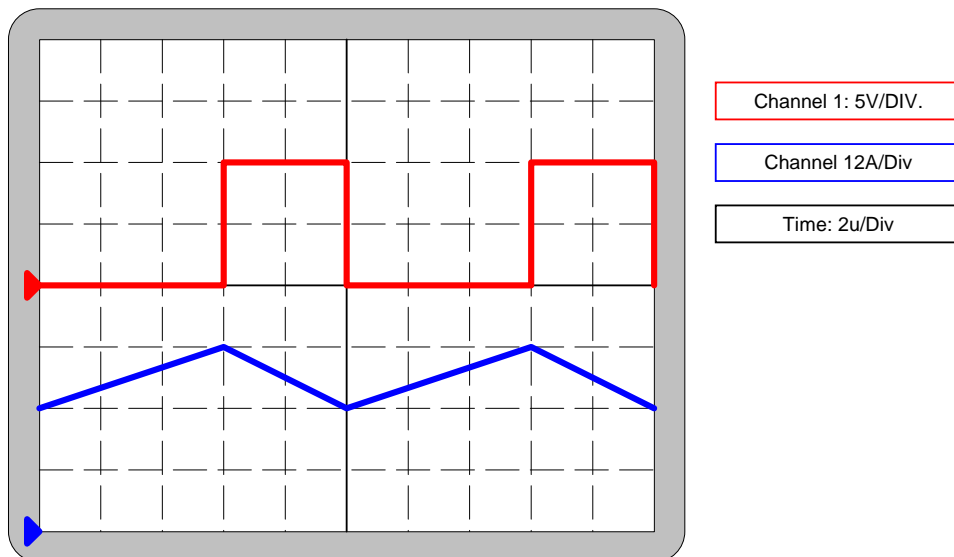
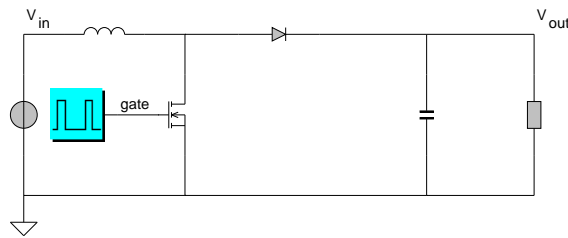
Van deze boost converter is het volgende scope-beeld opgenomen, waarbij de spanning over de mosfet en de stroom door de spoel gemeten is:

Let goed op het nul-niveau van ieder signaal in dit scope beeld!

Uit het scope-beeld moet je ook de duty cycle herleiden. Meestal is dat aan de stroomvorm en het soort converter (nu een boost) goed te herkennen.

$$5V/div, 12A/div, 2\mu/div$$

De uitgangsspanning MOET je constant veronderstellen.



1. Bereken de ingangsspanning V_{in} die aan de ingang moet staan, zodat dit scope beeld klopt.
2. Bereken de gemiddelde waarde van de stroom I_{Mosfet} door de Mosfet(gemiddelde waarde!)
3. Bereken de maximale waarde van de stroom I_{diode} door de diode(Niet de gemiddelde waarde, maar de top-waarde!)

Vraag 4, (10 punten per vraagonderdeel)

Een spoel moet speciaal ontworpen worden voor een Boost converter. We gebruiken twee ETD kernen waarmee een luchtspleet kunnen maken. De grootte van de luchtspleet staat in het datablad gespecificeerd.

We maken gebruik van twee ETD29 kernen die we tegen elkaar aan drukken. Als luchtspleet kiezen we $0.2mm$.

Zie de data sheet voor de parameters.

Hierop gaan we een spoel van $600\mu H$ wikkelen

1. Bereken voor deze kern en zelfinductantie van $600\mu H$ het aantal windingen (afroeden op gehele windingen)

2. Als $B \leq 250mT$ moet blijven, wat is dan de maximale stroom door de spoel?

Formuleblad Vermogenselectronica

$$\frac{1000}{50} = 20 \quad \frac{1000}{40} = 25 \quad v = L \frac{di}{dt} \quad Li = NBA \quad L = N^2 A_L \quad \Delta I = 0.4 \cdot I_{average}$$

Buck	Boost	BuckBoost	Flyback
$V_{out} = dV_{in}$	$V_{out} = V_{in} \frac{1}{1-d}$	$V_{out} = -V_{in} \frac{d}{1-d}$	$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{N_s}{N_p} \cdot \frac{d}{1-d}$

LED

CAPACITOR

REGULATOR (e.g. LM78xx)

Resistor

Digit	Multiplier	Tolerance	
Silver	-	0.01	±10%
Gold	-	0.1	±5%
Black	0	1	-
Brown	1	10	±1%
Red	2	100	±2%
Orange	3	1k	-
Yellow	4	10k	-
Green	5	100k	±0.5%
Blue	6	1M	±0.25%
Violet	7	10M	±0.1%
Gray	8	-	-
White	9	-	-

DIODE

NPN transistor (Current sink) (e.g. PN2222)

N-channel MOSFET

PNP transistor (Current source) (e.g. PN2907)

P-channel MOSFET

* Please note that some components may have a different pinout than the one showed above, you should always check the data sheet before using a new component.

Ceramic Capacitor

104 ← 10x10⁴ = 100,000 pF = 0.1 uF

Symbol (Non-Polarized)

Max. Operating Voltage		Code	Percentage
Code	Max. Voltage	B	± 0.1 pF
1H	50V	C	±0.25 pF
2A	100V	D	±0.5 pF
2T	150V	F	±1%
2D	200V	G	±2%
2E	250V	H	±3%
2G	400V	J	±5%
2J	630V	K	±10%
Tolerance		M	±20%
		Z	+80%, -20%

Bijlage C

ETD kernen

Er zijn verschillende fabrikanten voor ETD kernen. Deze kernen van de verschillende fabrikanten hebben dezelfde afmeting, maar het materiaal waarvan de kern gemaakt is, verschilt per fabrikant. Daarom is de effectieve lengte l_e en effectieve doorsnede A_e van een kern van verschillende fabrikanten wel gelijk, maar de waarde voor A_L kan per fabrikant verschillen.

De waarde van A_L voor de kernen met een luchtspleet zijn gegeven als je een kern met luchtspleet (gapped) en een kern zonder luchtspleet (ungapped) samen neemt. Bij bestelling hierop letten!

ETD 29/16/10

Core

Magnetic characteristics (per set)

$$\Sigma/A = 0,93 \text{ mm}^{-1}$$

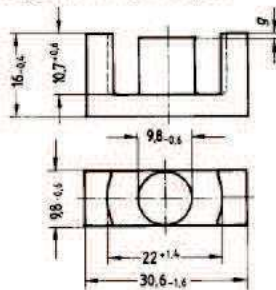
$$l_e = 70,4 \text{ mm}$$

$$A_e = 76 \text{ mm}^2$$

$$A_{\min} = 71 \text{ mm}^2$$

$$V_e = 5350 \text{ mm}^3$$

Approx. weight 28 g/set



Ungapped

Material	A_L value nH	μ_e	$A_{L1\min}$ nH	P_V W/set
N27	2000 + 30/- 20 %	1470	1700	1.04 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)
N67	2100 + 30/- 20 %	1530	1700	3.50 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)
N87	2200 + 30/- 20 %	1610	1700	2.80 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)

Gapped

Material	g mm	A_L value approx. nH	μ_e
N27,	0,10 ± 0,02	621	457
N67,	0,20 ± 0,02	383	281
N87	0,50 ± 0,05	201	148
	1,00 ± 0,05	124	91

ETD 34/17/11**Core****Magnetic characteristics (per set)**

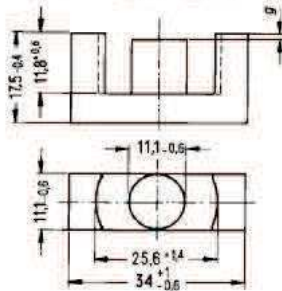
$\Sigma l/A = 0,81 \text{ mm}^{-1}$

$l_e = 78,6 \text{ mm}$

$A_e = 97,1 \text{ mm}^2$

$A_{\min} = 91,6 \text{ mm}^2$

$V_e = 7\,630 \text{ mm}^3$

Approx. weight 40 g/set**Ungapped**

Material	A_L value nH	μ_e	$A_{L1\min}$ nH	P_V W/set
N27	2400 + 30/- 20 %	1540	1940	1,48 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)
N67	2450 + 30/- 20 %	1580	1940	5,00 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)
N87	2600 + 30/- 20 %	1670	1940	4,00 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)

Gapped

Material	g mm	A_L value approx. nH	μ_e
N27,	0,10 ± 0,02	790	508
N67,	0,20 ± 0,02	482	310
N87	0,50 ± 0,05	251	161
	1,00 ± 0,05	153	98

ETD 39/20/13**Core****Magnetic characteristics (per set)**

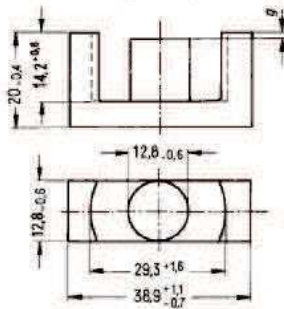
$\Sigma l/A = 0,74 \text{ mm}^{-1}$

$l_e = 92,2 \text{ mm}$

$A_e = 125 \text{ mm}^2$

$A_{\min} = 123 \text{ mm}^2$

$V_e = 11\,500 \text{ mm}^3$

Approx. weight 60 g/set**Ungapped**

Material	A_L value nH	μ_e	$A_{L1\min}$ nH	P_V W/set
N27	2550 + 30/- 20 %	1500	2140	2,22 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)
N67	2600 + 30/- 20 %	1540	2140	7,50 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)
N87	2700 + 30/- 20 %	1600	2140	6,00 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)

Gapped

Material	g mm	A_L value approx. nH	μ_e
N27,	0,10 ± 0,02	1062	622
N67,	0,20 ± 0,02	639	374
N87	0,50 ± 0,05	326	191
	1,00 ± 0,05	196	115

ETD 44/22/15

Core

Magnetic characteristics (per set)

$$\Sigma l/A = 0,6 \text{ mm}^{-1}$$

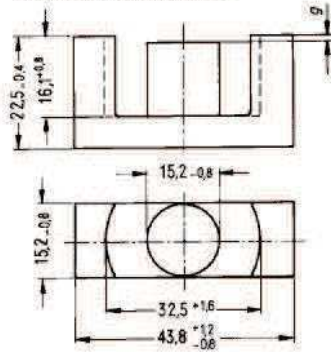
$$l_e = 103 \text{ mm}$$

$$A_e = 173 \text{ mm}^2$$

$$A_{min} = 172 \text{ mm}^2$$

$$V_e = 17800 \text{ mm}^3$$

Approx. weight 94 g/set



Ungapped

Material	A_L value nH	μ_e	A_{L1min} nH	P_V W/set
N27	3300 + 30/- 20 %	1560	2640	3,48 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)
N67	3350 + 30/- 20 %	1600	2640	11,80 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)
N87	3500 + 30/- 20 %	1650	2640	9,40 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)

Gapped

Material	g mm	A_L value approx. nH	μ_e
N27,	0,20 ± 0,02	862	407
N67,	0,50 ± 0,05	438	207
N87	1,00 ± 0,05	262	124
	1,50 ± 0,05	194	92

ETD 49/25/16

Core

Magnetic characteristics (per set)

$$\Sigma l/A = 0,54 \text{ mm}^{-1}$$

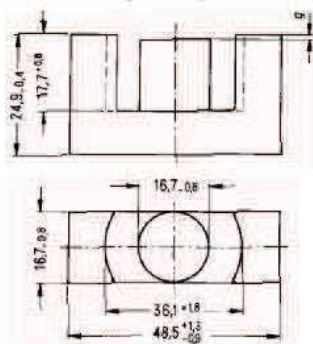
$$l_e = 114 \text{ mm}$$

$$A_e = 211 \text{ mm}^2$$

$$A_{min} = 209 \text{ mm}^2$$

$$V_e = 24100 \text{ mm}^3$$

Approx. weight 124 g/set



Ungapped

Material	A_L value nH	μ_e	A_{L1min} nH	P_V W/set
N27	3700 + 30/- 20 %	1590	2910	4,59 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)
N67	3700 + 30/- 20 %	1590	2910	15,50 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)
N87	3800 + 30/- 20 %	1630	2910	12,40 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)

Gapped

Material	g mm	A_L value approx. nH	μ_e
N27,	0,20 ± 0,02	1035	444
N67,	0,50 ± 0,05	525	225
N87	1,00 ± 0,05	314	135
	2,00 ± 0,05	188	81

ETD 54/28/19

Core

Magnetic characteristics (per set)

$$\Sigma l/A = 0,45 \text{ mm}^{-1}$$

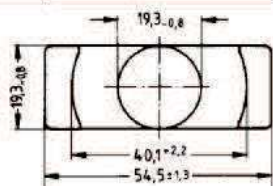
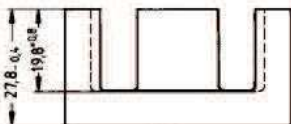
$$l_e = 127 \text{ mm}$$

$$A_e = 280 \text{ mm}^2$$

$$A_{min} = 280 \text{ mm}^2$$

$$V_e = 35\,600 \text{ mm}^3$$

Approx. weight 180 g/set



Ungapped

Material	A_L value nH	μ_e	A_{L1min} nH	P_V W/set
N27	4200 + 30/- 20 %	1510	3470	6,66 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)
N67	4400 + 30/- 20 %	1570	3470	26,00 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)
N87	4450 + 30/- 20 %	1600	3470	21,00 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)

Gapped

Material	g mm	A_L value approx. nH	μ_e
N27	0,20 ± 0,02	1377	496
N67	1,00 ± 0,05	393	141
N87	1,50 ± 0,05	287	103
	2,00 ± 0,05	229	82

ETD 59/31/22

Core

Magnetic characteristics (per set)

$$\Sigma l/A = 0,38 \text{ mm}^{-1}$$

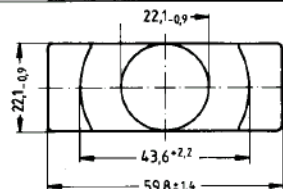
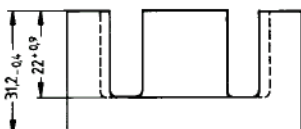
$$l_e = 139 \text{ mm}$$

$$A_e = 368 \text{ mm}^2$$

$$A_{min} = 368 \text{ mm}^2$$

$$V_e = 51\,200 \text{ mm}^3$$

Approx. weight 260 g/set



Ungapped

Material	A_L value nH	μ_e	A_{L1min} nH	P_V W/set
N27	5000 + 30/- 20 %	1500	4170	9,62 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)
N67	5200 + 30/- 20 %	1570	4170	6,50 (100 mT, 100 kHz, 100 °C)
N87	5300 + 30/- 20 %	1590	4170	5,20 (100 mT, 100 kHz, 100 °C)

Gapped

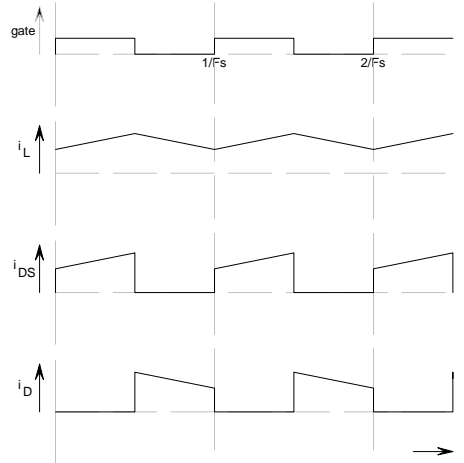
Material	g mm	A_L value approx. nH	μ_e
N27	0,20 ± 0,02	1588	476
N67	1,00 ± 0,05	508	152
N87	1,50 ± 0,05	381	114
	2,00 ± 0,05	311	93

=====
 Antwoord vraag 1:

$$V_{out} = d V_{in}$$

$$V_{in} = V_{out} / d = 5 / 0.5 = 10$$

Rimpelstroom = 40%, omvormer is continue, dus die stromen raken nooit de nullijn



$$d = 5/10 = 0.5 \tag{1}$$

$$V_L = L \frac{di}{dt} \tag{2}$$

Spoelstroom = I_{uit}

$$di = 40\% = 0.4 * I_{uit} = 0.4 * 1 = 0.4 [Ampere] \tag{3}$$

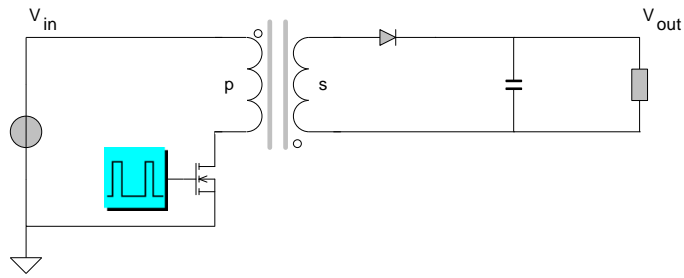
$$dT = 0.5 * (1/Fs) = 0.5 * (1/100k) = 0.5 * 10\mu s = 5\mu s \tag{4}$$

$$V_L = V_{in} - V_{uit} = L \frac{0.4}{5\mu} \tag{5}$$

$$L = (10 - 5) \cdot 5\mu / 0.4 = 62.5\mu H \tag{6}$$

<https://casproc.com/tools/powerelectronics/smps/buck/index.php?Vin=10&Vout=5&Iout=1&Fs=100&di=40&L=62.5&dv=100&Cout=0&Rc=100&vf=0>

=====
 Antwoord vraag 2: Continue mode, dan is de formule geldig



$$\frac{V_{uit}}{V_{in}} = \frac{N_s}{N_p} \frac{d}{1-d} \quad (7)$$

(8)

$$\frac{24}{300} = \frac{10}{100} \frac{d}{1-d} \quad (9)$$

(10)

$$\frac{240}{300} = \frac{d}{1-d} \quad (11)$$

(12)

$$300d = 240 - 240d \quad (13)$$

$$540d = 240 \Rightarrow d = \frac{24}{54} = 0.44 \quad (14)$$

$$T_{on} = d \cdot T_s = d/F_s = 0.44/100kHz = 0.44 \cdot 10\mu s = 4.4\mu s \quad (15)$$

<https://caspoc.com/tools/powerelectronics/smps/flyback/index.php?>

=====
Antwoord vraag 3:

Als de Mosfet geleidend is neemt de stroom toe en is de spanning over de Mosfet gelijk aan 0 volt
Daarom is de rechthoekige trace in het scope beeld de spanning V_{ds} over de Mosfet
Als de Mosfet uit geleiding is, is de spanning over de Mosfet V_{ds} gelijk aan de uitgangsspanning v_{out}

$V_{ds} = V_{out}$ als de schakelaar openstaat
 $V_{out} = 2div * 5V/div = 10volt$
 $d = 3 * 2\mu s/div = 6\mu s$
 $Fs=100kHz = f, Ts=10 \mu s$

Gebruik de berekende duty cycle om de ingangsspanning uit de uitgangsspanning af te leiden

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{1}{1-d} \Rightarrow 10 = V_{in} \frac{1}{1-0.6} \quad (16)$$

$$V_{in} = V_{out} \cdot \frac{1-0.6}{1} = 10 * 0.4 = 4volt \quad (17)$$

De ingangsstroom is af te lezen uit het scope beeld als de schuine trace. Als de schakelaar in geleiding is, dan is de stroom door de mosfet gedurende de eerste $3 * 2\mu s$ gelijk aan de stroom in de trace. Deze heeft dus een maximale waarde van 3 divisies en is daarom dus $3 * 12Ampere = 36 Ampere$. De stroom loopt alleen gedurende de aan tijd van de Mosfet, dus gedurende $6\mu s$ door de Mosfet. De begin waarde van de stroom is 2 divisies = $24A$ en de eind waarde is 3 divisies = $36A$ De gemiddelde waarde is daarom

$$I_{Mosfet}^{gemiddeld} = \frac{24 + 36}{2} \cdot \frac{6\mu s}{6\mu s + 4\mu s} = 30 \cdot 0.6 = 18A \quad (18)$$

De gemiddelde uitgangsstroom kan op de dezelfde wijze berekend worden en is gelijk aan

$$I_{out}^{gemiddeld} = \frac{24 + 36}{2} \cdot \frac{4\mu s}{6\mu s + 4\mu s} = 30 \cdot 0.4 = 12A \quad (19)$$

De gemiddelde ingangsstroom kan uit de scope afgelezen worden en is

$$I_{in}^{gemiddeld} = \frac{24 + 36}{2} = 30A \quad (20)$$

De vermogensbalans moet kloppen

$$P_{in} = P_{out} = 4 \cdot 30 = 120 \quad (21)$$

$$120Watt = 120Watt \quad (22)$$

Het gaat sneller via de vermogensbalans

$I_{in} = 24 + 12/2 = 30$ ampere

$I_{out} = V_{in} * I_{in} / V_{out} = 4 * 30 / 10 = 12$ Ampere

Alleen de diode stroom:

$0..6\mu s$ $I_{diode} = 0$

$6\mu s .. 10\mu s$ $I_{diode} = (36+24)/2 = 30$ Ampere

$I_{uit} = (6\mu s * 0 + 4\mu s * 30) / 10\mu s = 12$ Ampere

De piekstroom door de diode is af te lezen uit de scope op het moment dat de Mosfet uit geleiding gaat en de diode aan gaat en is gelijk aan $36A$

<https://caspoc.com/tools/powerelectronics/smps/boost/index.php?>

=====
Antwoord vraag 4: selecteer de kern met $g = 0.2mm$

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}} = \sqrt{\frac{600\mu}{383n}} = \sqrt{\frac{600\mu}{0.383\mu}} = \sqrt{\frac{600}{0.383}} = 40 \text{Wikkelingen}$$

$$Li = NBA$$

$$600\mu H \cdot i = 40 \cdot 0.250 \cdot 71 \cdot 10^{-6}$$

$$i = \frac{40 \cdot 0.25 \cdot 71}{600} = 1.18 \text{Ampere}$$