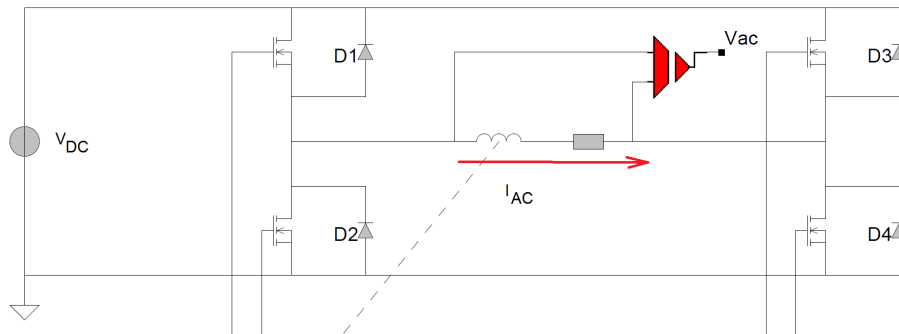


## Vraag 1, (2 punten)

De waarde van de weerstand  $R$  in een enkelfase belasting is niet bekend. In de onderstaande éénfase inverter wordt door de AC last een sinusvormige stroom met een RMS waarde van 2 Ampere gemeten.



De uitgangsfrequentie is  $50\text{Hz}$ .

De DC-link spanning is gelijk aan 48 volt

De last is een serieschakeling van een weerstand  $R = (\text{uitrekenen})\Omega$  en  $L = 50\text{mH}$ .

De schakelfrequentie is  $20\text{kHz}$  en de modulatie index van de bipolaire PWM is gelijk aan  $m = 1$ .

De doorlaatverliezen van de halfgeleiders mag je verwaarlozen.

De stroom door de R-L last heeft een rms waarde van 2 Ampere.

Bereken de waarde van de weerstand  $R$ ?

$$V_{dc} = 48\text{volt} \quad L = 50\text{mH} \quad I_{AC} = \hat{I} \cdot \sin(2\pi \cdot 50) \quad F_s = 20\text{kHz} \quad m = 1 \quad I_{RMS} = 2\text{A}$$

$$\text{Antwoord: } V_{dc} = \hat{V} = V_{rms} \cdot \sqrt{2}$$

$$Z = \frac{V_{rms}}{I_{rms}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}$$

$$V_{dc} = \hat{V} = 48\text{V} \quad \hat{V} = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 48$$

$$V_{rms} = 33.94$$

$$Z = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} = \frac{33.94}{2} = 16.97$$

$$X_L = 2\pi fL = 314.159 \cdot 0.05 = 15.7$$

$$R = \sqrt{Z^2 - X_L^2} = \sqrt{16.97^2 - 15.7^2} = \sqrt{287.98.96 - 246.74} = \sqrt{41.26} = 6.4$$

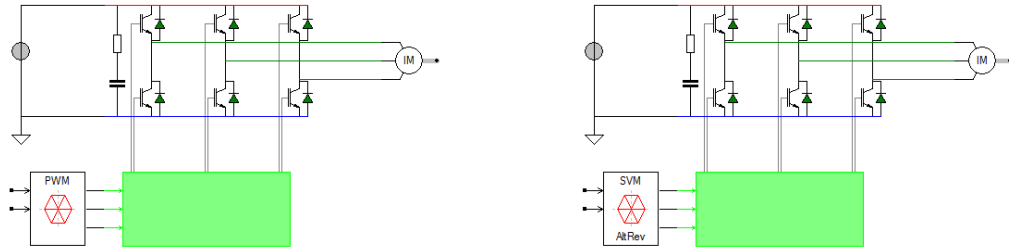
## Vraag 2, (2 punten)

Een driefasen inverter wordt met behulp van PWM gemoduleerd om een sinusvormige stroom te maken..  
De RMS waarde van de uitgangsstroom is  $I_{RMS} = 5$  Ampere voor een sinusvormige stroom met een frequentie van  $50Hz$ .

De belasting bestaande uit een serieschakeling van  $R = 5\Omega$  en  $L = 20mH$  is in ster geschakeld.

De DC link spanning blijft constant.

De modulatie index is al maximaal.



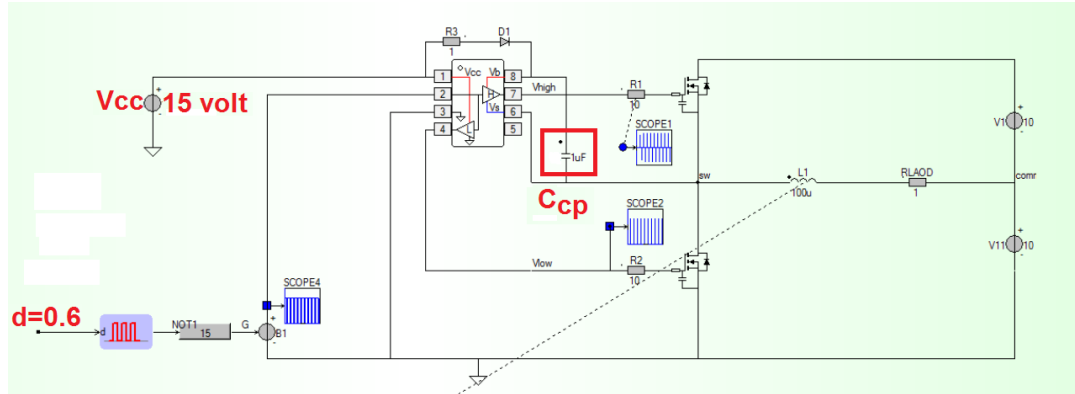
In plaats van PWM wordt nu Space Vector Modulatie SVM toegepast, hoe groot wordt nu de uitgangsstroom?

$$R = 5\Omega \quad L = 20mH \quad PWM \rightarrow SVM \quad I_{AC} = \sqrt{2} \cdot 5 \cdot \sin(2\pi \cdot f) \quad m = 1$$

Antwoord:  $1.15 \cdot 5 = 5.75A$

### Vraag 3, (2 punten)

In de gate driver van onderstaande schakeling zit een condensator  $C_{cp}$ , verbonden met de uitgang van de inverter. Ook is hij verbonden met pin [6] en met pin [8] van de gatedriver. De High-side Mosfet en de low-side Mosfet worden met een schakelfrequentie van  $40kHz$  met een dutycycle van 60% geschakeld.



Bepaal de maximale spanning die OVER de condensator  $C_{cp}$  staat?

$$V_{cc} = 15\text{volt} \quad F_s = 40\text{kHz} \quad d = 0.6 \quad C_{CP} = 1\mu F$$

Antwoord:

$$V(C_{cp}) = V_{cc} = 15\text{v}$$

## Vraag 4, (2 punten)

Op een koellichaam P16/200 worden 6 IGBT's gemonteerd. De totale verliezen van alle 6 IGBT's tezamen is gelijk aan  $100Watt$ .

De totale thermische weerstand van de IGBT is volgens de datasheet  $R_{JC}^{th} = 0.45K/W$ .

De thermische weerstand van de isolatie en koelpasta tussen de IGBT en het koellichaam is  $R_{iso}^{th} = 0.004K/W$ .

Door het koellichaam is een luchtstroom met een constante temperatuur van  $65\text{ }^\circ\text{C}$

De IGBT mag niet heter worden dan  $125\text{ }^\circ\text{C}$ .

P 16					
Standard lengths	n	b / d Ø mm	$R_{thha}$	$R_{thha}$ with fan SKF 16B-230-01	w
			K/W	K/W	kg
P 16/170	3	20		0,05	4
P 16/200	3	20		0,046	4,7
	6	20		0,039	
	3	34		0,038	
	2	50		0,04	
	3	50		0,033	
P 16/300	6	34		0,036	7
	6	50		0,024	

Bereken de temperatuur van de behuizing  $T_{case}$  van een IGBT?

$$\begin{aligned}
 P_{verlies} &= 100Watt & R_{JC}^{th} &= 0.45K/W & R_{iso}^{th} &= 0.004K/W \\
 T_{luchtstroom} &= 65\text{ }^\circ\text{C} & T_{IGBT} &< 125\text{ }^\circ\text{C} & &
 \end{aligned}$$

Antwoord:

Temperatuur op de heatsink is het totale verlies door het koellichaam en de isolatie en koelpasta bovenop de temperatuur van de luchtstroom.

Gevraagd wordt de temperatuur van de case, niet van de junction!

Alle vermogen  $100Watt$  gaat door de heatsink, maar per IGBT-iso gaat er maar  $100/6Watt$

$$\begin{aligned}
 T_{heatsink} &= 100 * (0.046) + 65 = 69.6\text{ }^\circ\text{C} \\
 T_{IGBTcase} &= \frac{100}{6} * (0.004) + 69.6 = 69.6666\text{ }^\circ\text{C} \\
 T_{IGBTjunction} &= \frac{100}{6} * (0.45) + 69.6666 = 77.166\text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

## Vraag 5, (2 punten)

Voor een industriële aandrijving wordt een driefasen inverter met 6 IGBT's gemaakt. De schakelverliezen per IGBT zijn in de datasheet gegeven als  $E_{on} = 1.5mWs$  en  $E_{off} = 2.5mWs$ .

De schakelfrequentie is  $F_s = 25kHz$

De doorlaatverliezen gaan we nu niet berekenen.



Als de high-side IGBT aan gaat, gaat de low-side mosfet uit. Er wordt Space Vector Modulatie toegepast, dus iedere IGBT schakelt 1 keer aan en 1 keer uit per periode.

Bereken het totale schakelverliezen ten gevolge van het schakelen van alle 6 de IGBT's tezamen?

$$\text{Per IGBT: } E_{on} = 1.5mWs \quad E_{off} = 2.5mWs \quad F_s = 25kHz \quad P_{doorlaat} = 0$$

Antwoord:

$$P_{sw} = 6 \cdot F_s (E_{on} + E_{off}) = 6 \cdot 25k(1.5m + 2.5m) = 150k \cdot 4m = 600Watt$$