

HET DRAAIVELD IN DRIEFASIGE INDUCTIEMOTOREN

"I think it is possible to utilize magnetism as an energy-source. But we science idiots cannot do that; this has to come from the outside."

Werner Heisenberg, Nobel laureate [5]



Gilbert Vanheerswyngheles

Frank Rubben

© 2010-2017

INHOUD

1.	Inleiding.....	5
1.1.	introdactie	5
1.2.	Constructie SM met PM-rotor.	7
1.3.	Openvouwen van de stator	9
1.4.	Conclusies	10
1.5.	Ter Info: TESLA zijn AC-motor [6]	11
2.	Hypothese: één wikkeling in de stator.....	12
2.1.	Opstelling.....	12
2.2.	Spanning en stroom uit het net.....	13
2.3.	Verband stroom – magnetisch veld.....	15
2.4.	Wisselveld.....	17
2.5.	Conclusies en bedenkingen	18
2.5.1.	Bedenkingen:.....	18
2.5.2.	Conclusies:.....	18
3.	Realiteit: Drie Wikkelingen in de stator (*)	19
3.1.	3 wikkelingen, 3 gelijke spanningen	19
3.2.	3 wikkelingen, 3 verschillende spanningen (verschoven).....	20
3.3.	Eigenschappen draaiveld	23
4.	Conclusies.....	24
4.1.	Draaiveld.....	24
4.2.	Snelheid van het draaiveld	24
4.3.	Wijzigen synchrone snelheid	25
4.4.	Finale conclusie	25
5.	Bronvermelding.....	26
	Cursussen	26
	Boeken	26
	Websites.....	26
	Figuren	26

1. INLEIDING

1.1. INTRODUCTIE

In het begin van de elektrotechniek werd er voornamelijk gefocust op de gelijkspanningsvorm van elektriciteit.

Men had immers een gelijkspanningsgenerator en een gelijkspanningsmotor ontwikkeld, net zoals er sprake was van batterijen. De wereld leek klaar om door gelijkspanning veroverd (of betoverd) te worden. [8]

Er waren wel nog een aantal problemen bij DC-netten:

Slijtage koolstofborstels in de motoren en generatoren door commutatie

Veel energieverlies in de kabels

Moeilijk om te vormen van spanning- en stroomgrootte; vooral de omvorming met beperkt verlies bleek moeilijk.

Ondertussen had men wel al de transformator ontdekt, en zag men dat dit enkel mogelijk was om te gebruiken bij AC. De transformator laat toe om de spanningen en de stromen om te vormen aan een hoog rendement.

Het opwekken van AC-signalen kende men al vlog, een minimale verandering in de constructie van de DC-generator leverde AC-spanning (en stroom) aan de uitgang van de alternator.

Dus men had op dat moment alles voor handen om een AC-net te bouwen, er ontbrak nog één iets: een AC-motor.

Tesla nam een patent op een bepaald type motor nadat hij deze ontdekte. Ook Ferraris lag mee aan de basis van AC-motoren. [8]



Figuur 1: Synchronische Motor met Permanente Magneet (PMSM) [3]

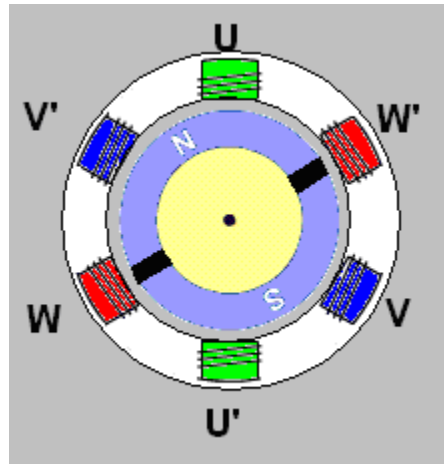
Er bestaan verschillende AC-motoren. In industriële omgevingen worden driefasige draaiveldmotoren het meest frequent toegepast. Deze 3f motoren zijn onder te verdelen in verschillende types; hoewel de bouw van de stator in alle gevallen zeer gelijkaardig is. In dit hoofdstuk komt dan ook de meest algemene vorm van stator voor (en het draaiveld die erin wordt opgewekt). In verdere hoofdstukken worden dan de volgende types van driefasige motoren nog eens doorgelicht:

- Synchronische motor
 - Verschillende types
 - Permanente magneetrotor
 - Elektromagneetrotor
 - Reluctantierotor

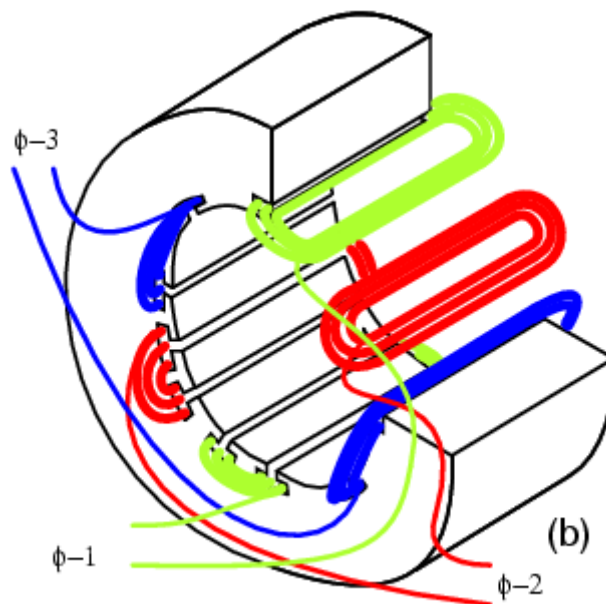
- Asynchrone motor
 - 2 types:
 - Kooiankermotor
 - Sleepringankermotor

1.2. CONSTRUCTIE SM MET PM-ROTOR.

In de onderstaande figuur is de doorsnede te zien van de synchrone motor met permanente magneten in de rotor. De stator bestaat uit 3 wikkelingen: U-U', V-V' en W-W'. Rondom deze wikkelingen zit er een statormantel bestaand uit magnetisch geleidend materiaal.



Figuur 2: Constructie synchrone motor [2]



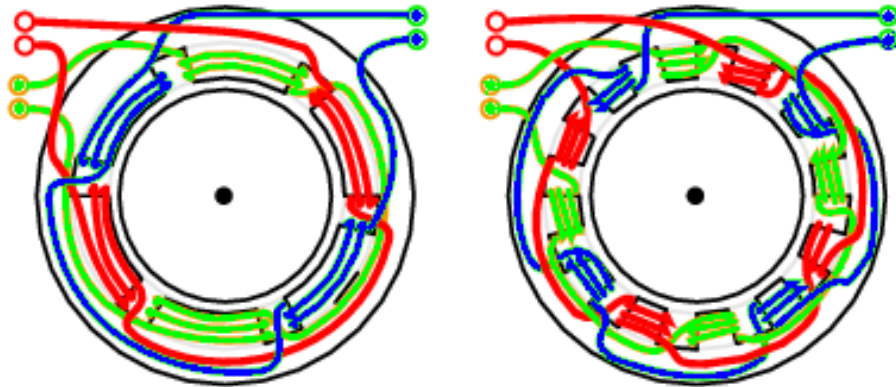
Figuur 3: Ligging driefasige wikkelingen [1]

Deze wikkelingen zijn **RUIMTELIJK** verschoven. Let op de nuance ligt hier op de mechanische verschuiving – dit is het aantal graden dat elke wikkeling t.o.v. elkaar ligt vanuit de motoras gezien.

Als er slechts 1 poolpaar gewenst is, dan is de mechanische verschuiving 120°; bij 2 poolparen is dit 60°. Met andere woorden men kan de ruimtelijke verschuiving berekenen:

$$\varphi_x = \frac{120^\circ}{p}$$

met p = aantal poolparen bij DRIEFASIGE wikkelingen.
 met φ_x = de mechanische hoekverschuiving.



Figuur 4: Wijziging constructie stator bij meerdere poolparen [1]

Aantal poolparen	Ruimtelijke verschuiving
1	120°
2	60°
3	40°
4	30°



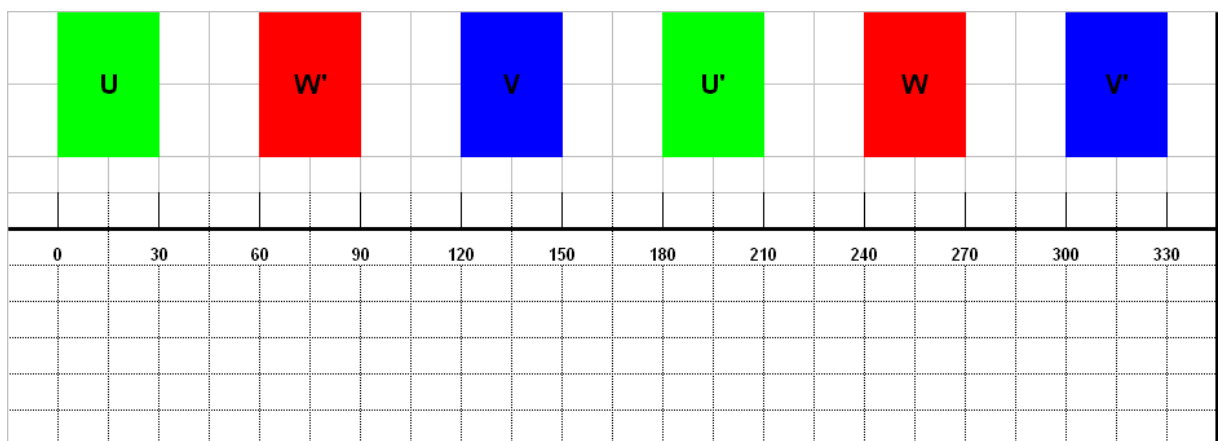
Figuur 5: Sfeerbeeld bewikkelen stator [4]

1.3. OPENVOUWEN VAN DE STATOR

Omdat denken in lineaire termen eenvoudiger is dan zich in bochten wringen, zal de stator regelmatig opgevouwen worden in het verdere verloop van deze cursus én in verschillende boeken omtrent wikkelen van motoren.

De omtrek van de binnendiameter van de stator wordt voorgesteld door een X-as. Deze X-as gaat van 0° naar 360° . De SI-deskundigen die radialen verkiezen mogen er gebruik van maken; en zoals ze wel weten gaat de X-as dan van 0 naar 2π .

Beide eenheden bedoelen hetzelfde; de hoekverschuiving vanuit de motoras gezien, beginnend bij het aansluitpunt van de spanning aan de eerste wikkeling U.



Figuur 6: Vereenvoudigde voorstelling van de opgevouwen stator

In andere boeken maakt men gebruik van de gleuven in de stator.

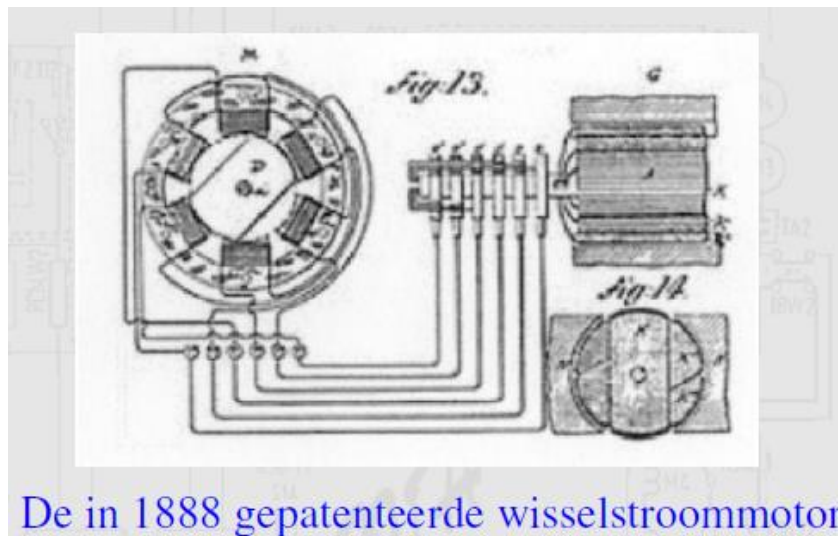
1.4. CONCLUSIES

- Er zijn 3 wikkelingen aanwezig in de driefasige inductiemotor.
- RUIMTELIJKE hoekverschuiving tussen de wikkeling varieert afhankelijk van de constructie; en bepaalt ook het aantal poolparen (of omgekeerd)

1.5. TER INFO: TESLA ZIJN AC-MOTOR [6]

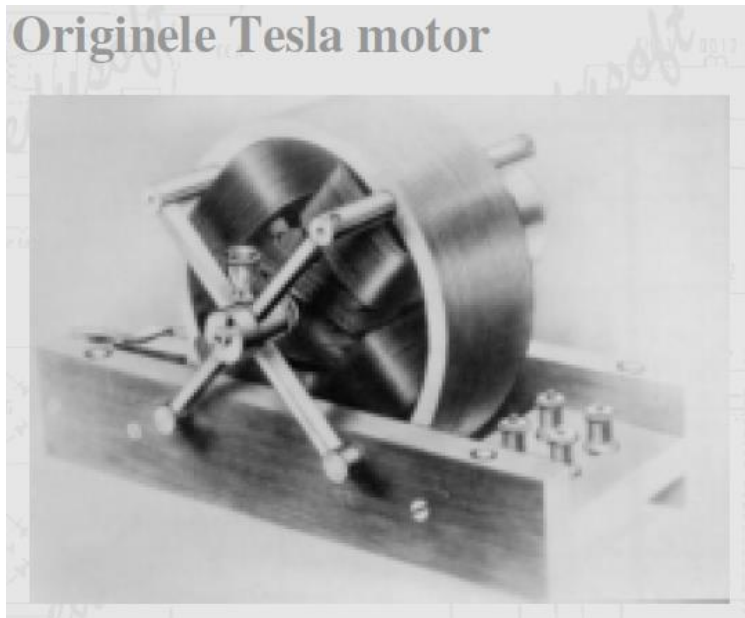
"...a magnetic whirlwind in space which possessed fantastically new and intriguing properties. It was an utterly new conception... Tesla produced a field of force which rotated in space at high speed and was able to lock tightly into its embrace an armature which required no electrical connections. The rotating field possessed the property of transferring [energy] wirelessly through space, by means of its lines of force..."

***Prodigal Genius: The Life of Nikola Tesla*, John J. O'Neill, p. 50-51 [7]**



De in 1888 gepatenteerde wisselstroommotor

Figuur 7: gepatenteerde motor (Tesla)



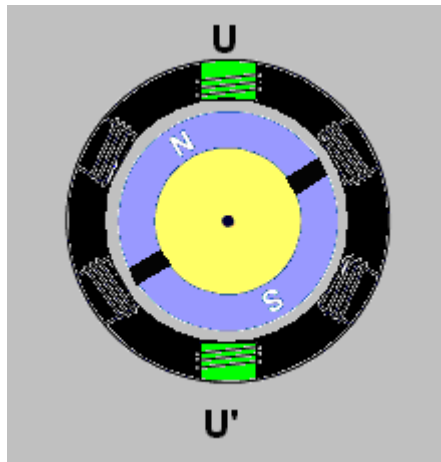
Originele Tesla motor

Figuur 8: Originele Teslamotor (! 2fasig)

2. HYPOTHESE: ÉÉN WIKKELING IN DE STATOR

2.1. OPSTELLING

Er wordt slechts één wikkeling weerhouden. De andere wikkelingen worden in deze bespreking even genegeerd. In dit hoofdstuk wordt de werking besproken vanuit wikkeling U-U' gezien.

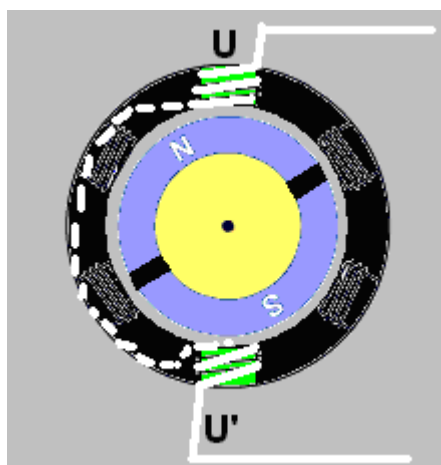


Figuur 9: Enkele wikkeling U-U'

Het magnetisch blik wordt als ideaal verondersteld in deze hypothese:

- $\mu_{FE} = \text{oneindig}$
- Reluctantie (=magnetische weerstand) is onbestaande ($\check{R}_m=0$)
- Magnetisatiestroom = nul
- Geen hysteresisverliezen, geen wervelstroomverliezen

De beide uiteinden van de wikkelingen zijn verbonden met het net, de 2 delen van de wikkeling zijn intern in de stator verbonden.



Figuur 10: aansluiting net op de wikkeling

2.2. SPANNING EN STROOM UIT HET NET

Een spanning varieert in de tijd en plant zich voort met de snelheid van het licht. Op die manier kan men aannemen dat de variatie van de spanning onafhankelijk is van de locatie in de geleider. Er kan vereenvoudigd gesteld worden dat de aangelegde spanning enkel in de tijd varieert.

Er wordt aan deze wikkeling een cosinusvormige spanning aangelegd. De redenen om hiervoor te opteren zijn onder andere:

Elke spanningsvorm is te herleiden naar een som van sinussen en cosinussen. (Fourieranalyse)

Een sinus is tot een cosinus herleidbaar en omgekeerd. (Goniometrie)

De stroom zal 90° naijlen bij een geïdealiseerde inductieve belasting. Een sinus begint bij het nulpunt; immers $\sin(0^\circ) = 0$.

Omwille van de bovenstaande redenen is het interessant om de spanning als cosinus te noteren.

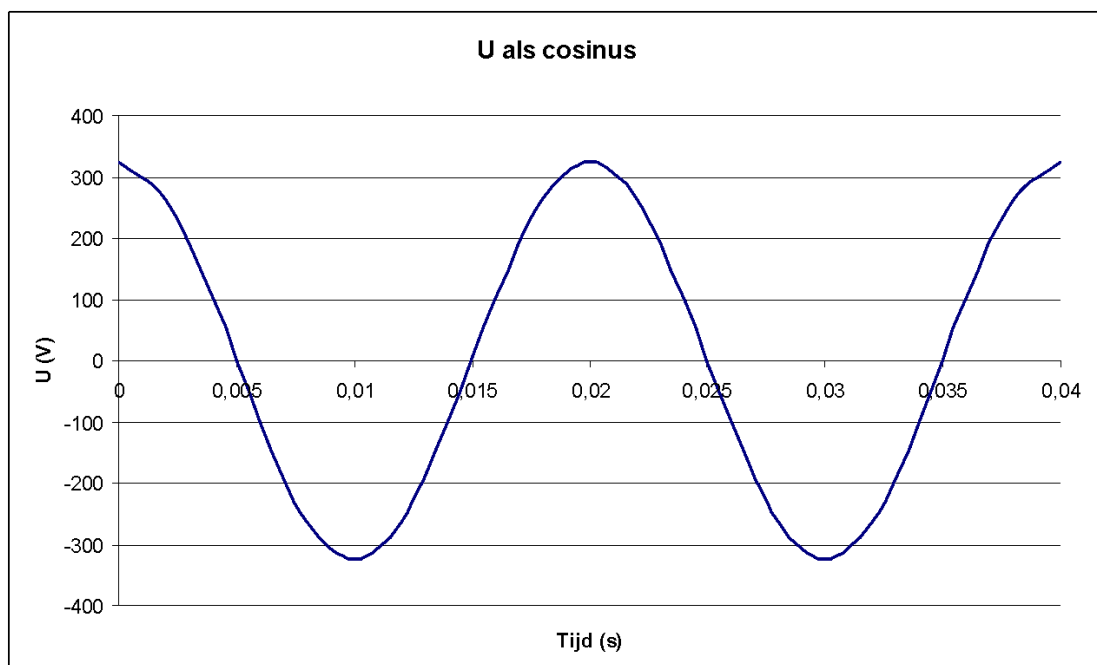
De vorm van de aangelegde spanning zal dus een cosinus zijn, met als variabele de tijd.

In de EU spreekt men van een 50Hz-net, met een effectieve waarde van 230V. Dit laat toe om spanning als volgt te noteren:

$$u_1(t) = \sqrt{2} \cdot U_{eff} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

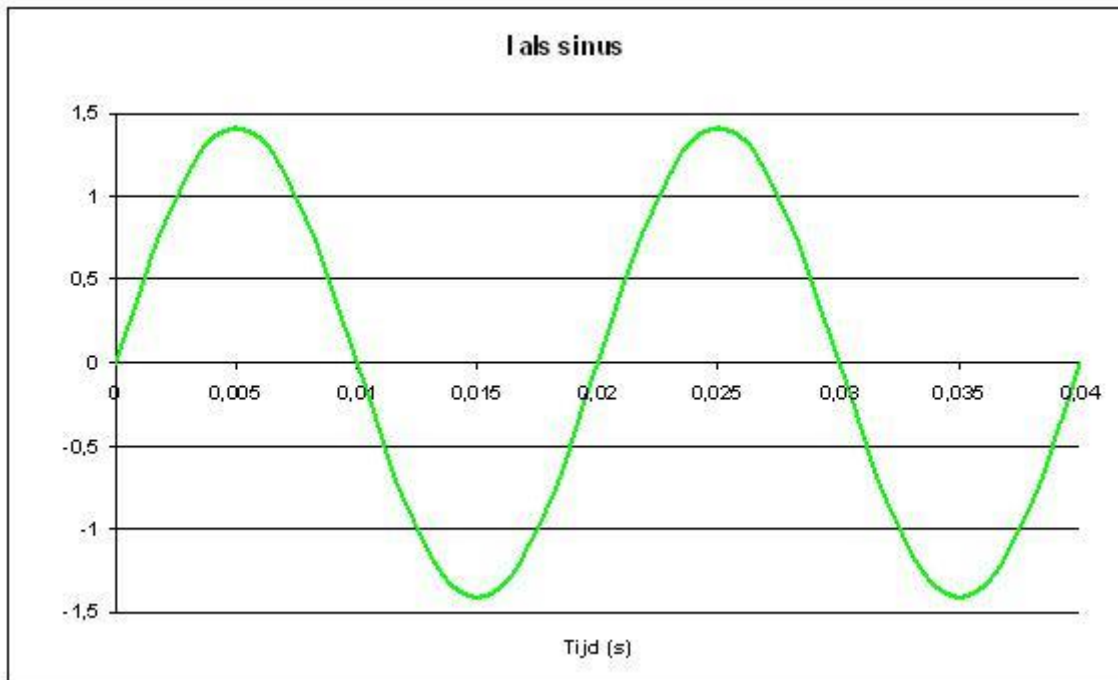
$$u_1(t) = \sqrt{2} \cdot U_{eff} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot t)$$

De cosinusvormige spanning zal er dus als volgt uitzien:



De stroom van bijvoorbeeld 1A én in de veronderstelling dat er met ideale spoelen gewerkt wordt, zal er dan sinusvormig uitzien. Er is immers een hoekverschuiving van -90° . → Zie goniometrische formules:

$$\sin(\omega.t) = \cos(\omega.t + \phi)$$



2.3. VERBAND STROOM – MAGNETISCH VELD

Als er een stroom vloeit door een geleider, dan ontstaat er rond die geleider een magnetisch veld. Indien die geleiders samengevouwen zijn tot een spoel, dan zal er in die spoel een magnetisch flux ontstaan.

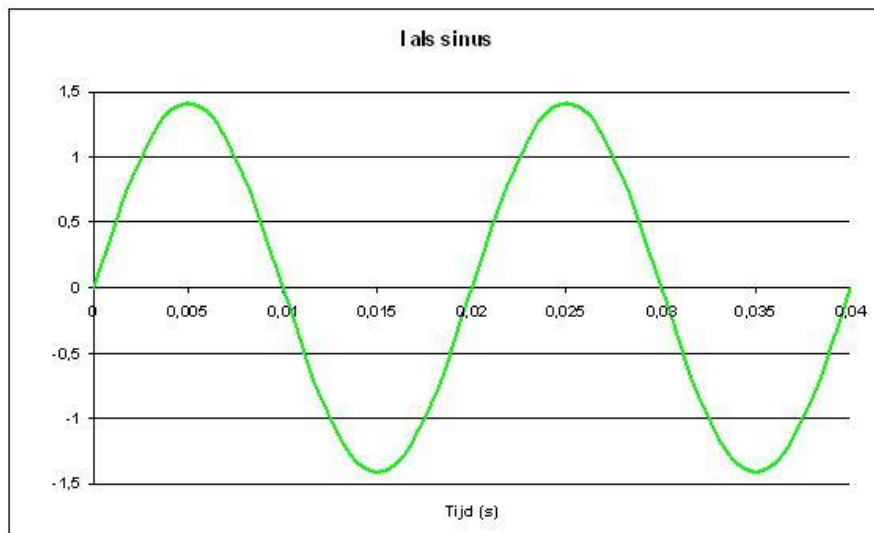
De flux is recht evenredig met de stroom.

De flux zorgt voor ontstaan van het magnetisch veld $b(x,t)$.

Het magnetisch veld zal dus een fysische relatie hebben met de stroom, die wiskundig uit te drukken valt als een functie van de ruimte en de tijd.

$$b(x,t) = f(i(t))$$

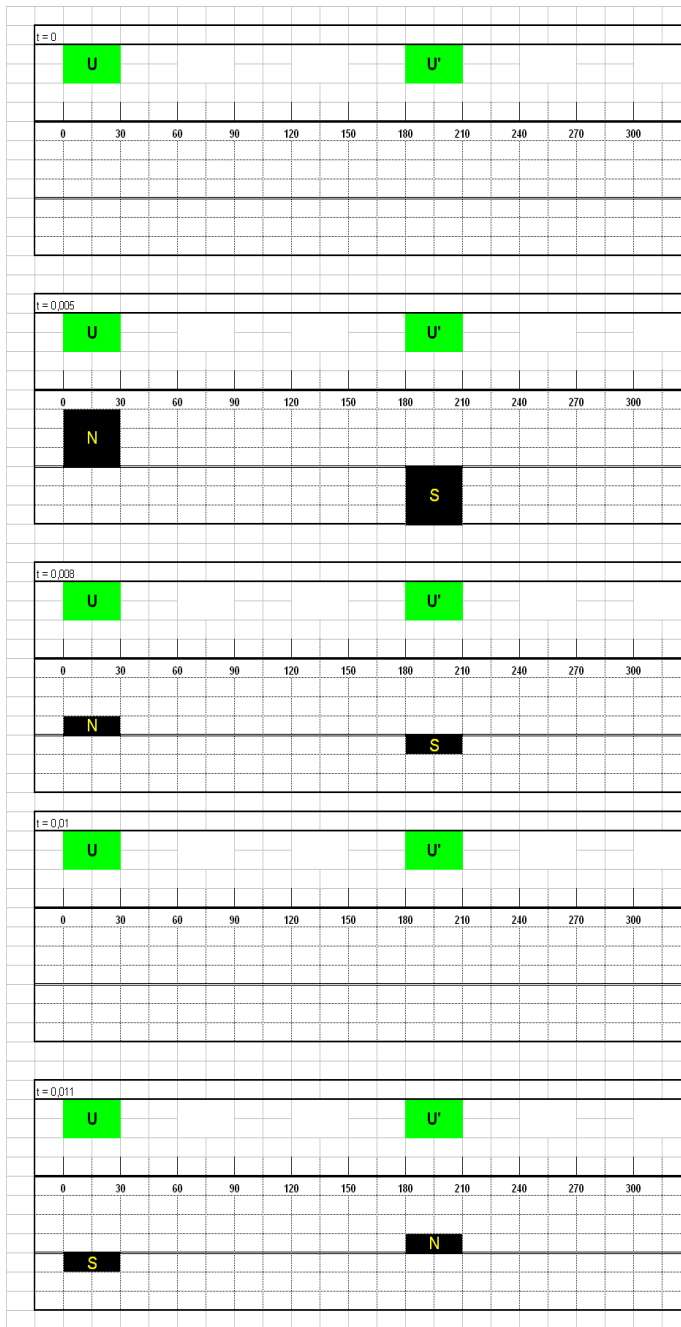
De stroom is sinusvormig.



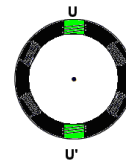
Het magnetisch veld zal in de tijd variëren, maar ook afhankelijk zijn van de positie.

De figuur op de volgende bladzijde stelt de variatie in de ruimte en het magnetisch veld in de vorm van een pijl.

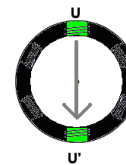
Het draaiveld in een driefasige inductiemotor



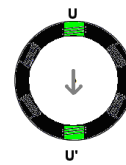
$t = 0 \text{ ms}$



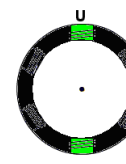
$t = 5 \text{ ms}$



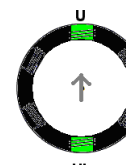
$t = 8 \text{ ms}$



$t = 10 \text{ ms}$



$t = 11 \text{ ms}$



Men kan zien dat:

- Het magnetisch veld (zwarte blokjes) is een staande golf; op dezelfde plaats variërend in functie van de tijd. Merk op dat er geen lekfluxen aanwezig zijn in dit geïdealiseerde geval; immers de permeabiliteit van ijzer is oneindig terwijl de permeabiliteit van de lucht 1 is.
- De richting van de pijl wisselt.

2.4. WISSELVELD

Wanneer men aan één wikkeling een éénfasige spanning aanlegt, zal er een stroom vloeien. Deze stroom is sinusvormig.

Deze sinusvormige stroom zorgt voor het ontstaan van een magnetisch veld in de stator.

De eigenschappen van de fasor van dit magnetisch veld:

- Richting van de fasor is constant.
- De zin van de fasor varieert: naar boven of naar beneden (in de bovenstaande tekeningen)
- (Het aangrijppunt blijft gelijk.)
- De grootte varieert van de fasor.

Aangezien enkel de grootte (en de zin) veranderen van deze fasor, spreekt men van een *wisselveld*.

Er is géén variatie in de richting, enkel een variatie in de tijd.

2.5. CONCLUSIES EN BEDENKINGEN

Een wisselveld is een belangrijk begrip. Maar is een wisselveld op zich voldoende om een motor te doen draaien?

2.5.1. BEDENKINGEN:

- Zie test met de eenfasige rotor in klas.
- Gedachtenexperimentje. Breng in de geschetste stator een stilstaand kompas.
 - Zal de kompas meedraaien met het wisselveld?
 - Wanneer wel?
 - Wanneer niet?

2.5.2. CONCLUSIES:

Een wisselveld kan geen motor aandrijven vanuit stilstand.

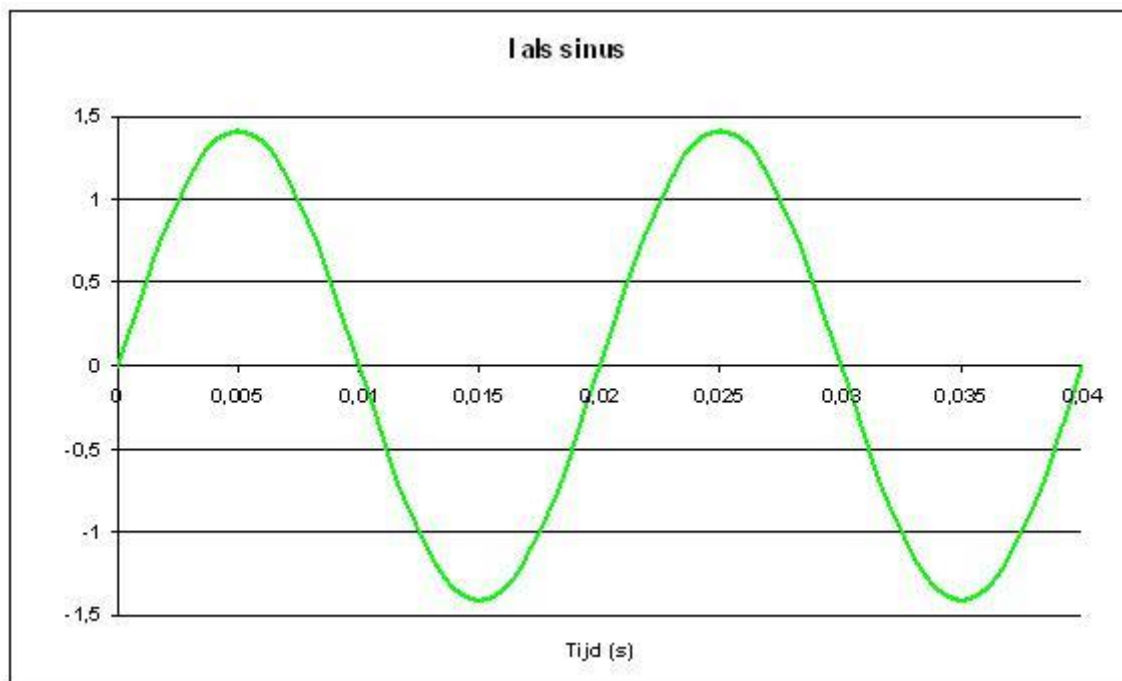
Het wisselveld ontstaat in een wikkeling waarin een sinusvormige stroom vloeit doordat de wikkeling aangesloten wordt op een cosinusvormige spanning.

3. REALITEIT: DRIE WIKKELINGEN IN DE STATOR (*)

3.1. 3 WIKKELINGEN, 3 GELIJKE SPANNINGEN

In elke wikkeling ontstaat er nu een wisselveld. De resultante van de drie wisselvelden wordt in deze paragraaf onder de loep genomen.

Aangezien de spanningen in fase zijn, zal de stroom in de drie wikkelingen ook in fase zijn.

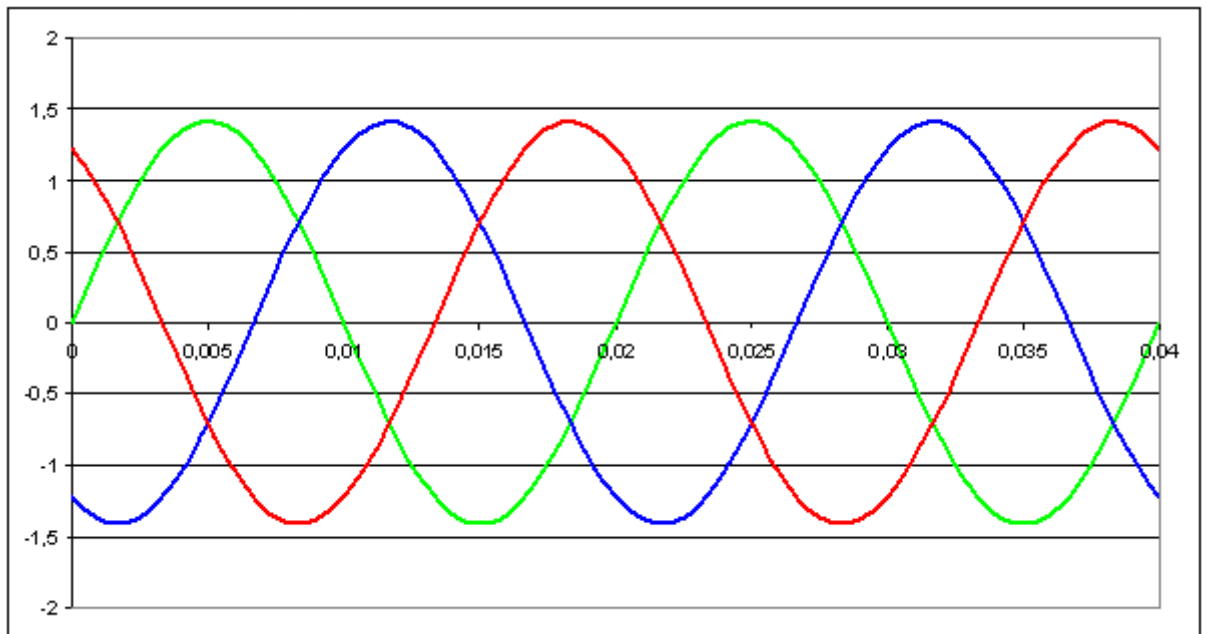


Figuur 11: Dezelfde stroom door elke winding vloeiend

Bekijkt men nu de magnetische velden in de stator dan zal men zien dat er géén veld ontstaat.

Bewijs dit.

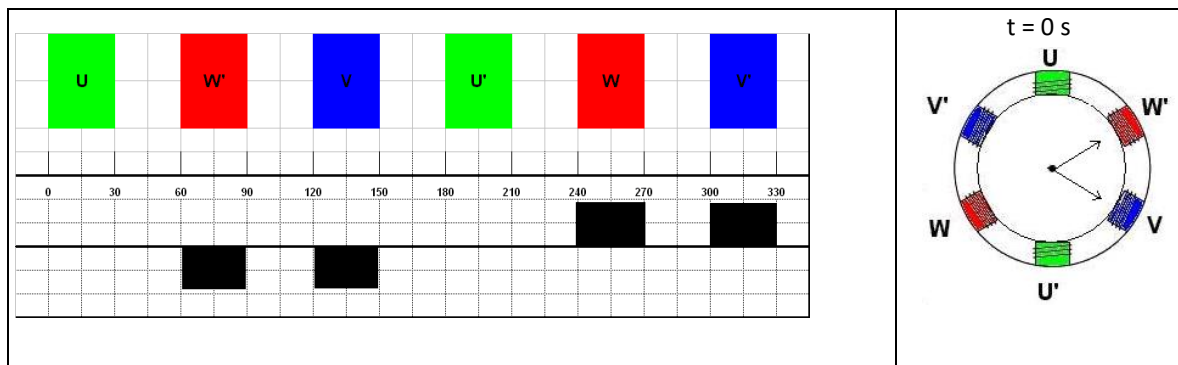
3.2. 3 WIKKELINGEN, 3 VERSCHILLENDE SPANNINGEN (VERSCHOVEN)



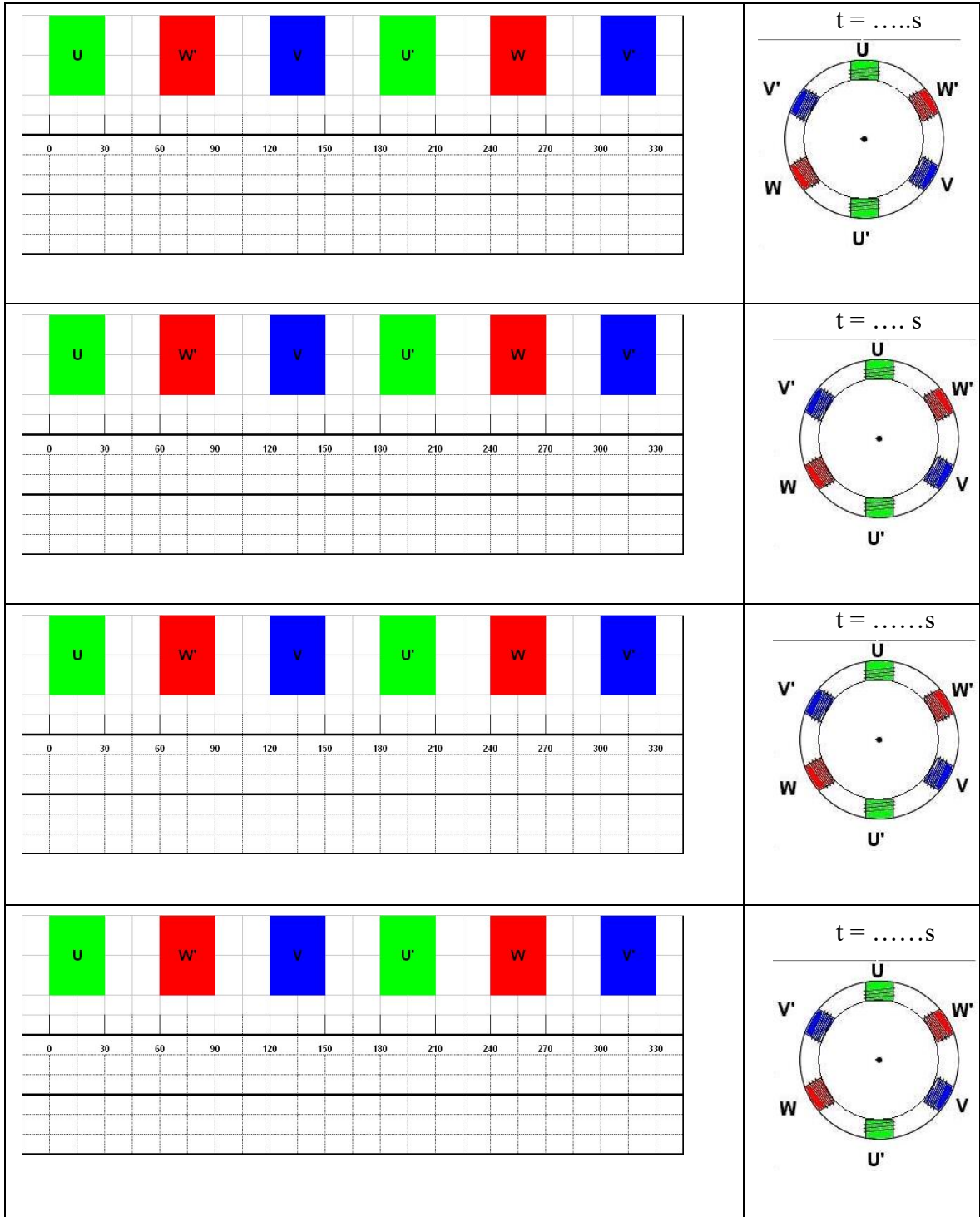
Figuur 12: driefasige spanningen

Als men de stromen op verschillende plaatsen neemt, zal men zien dat het veld in elke geleider op dat moment recht evenredig is met de stroom door diezelfde geleider.

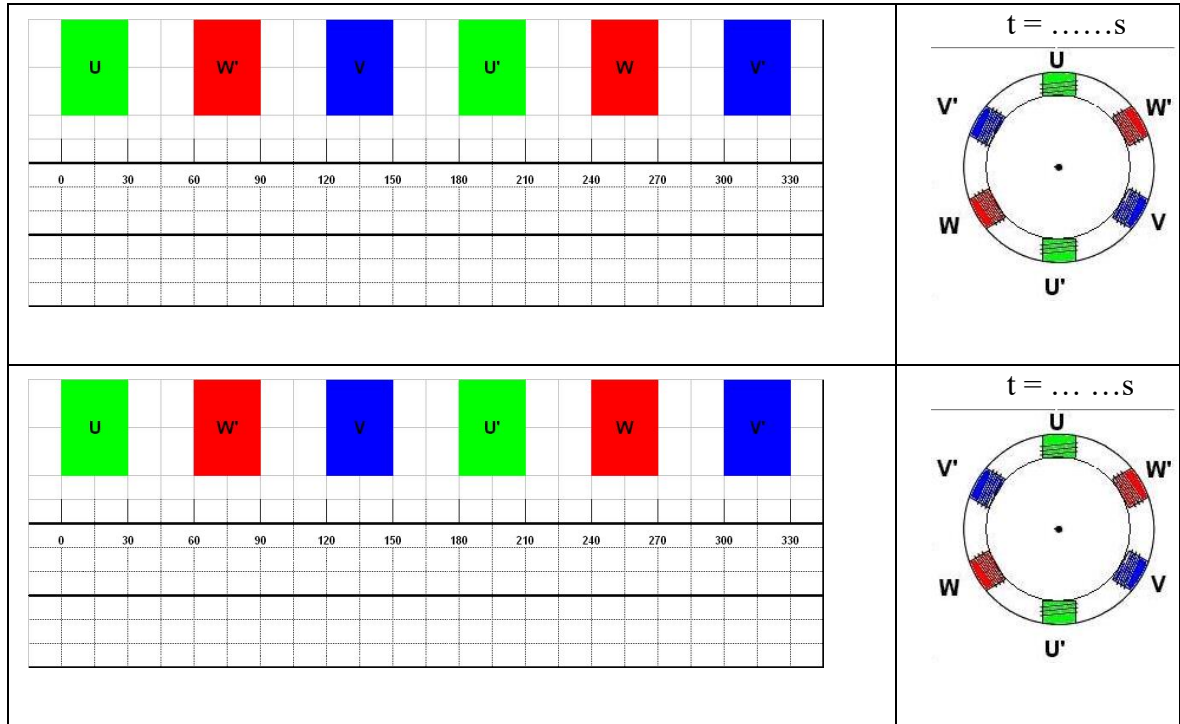
Vul verder de tekeningen aan:



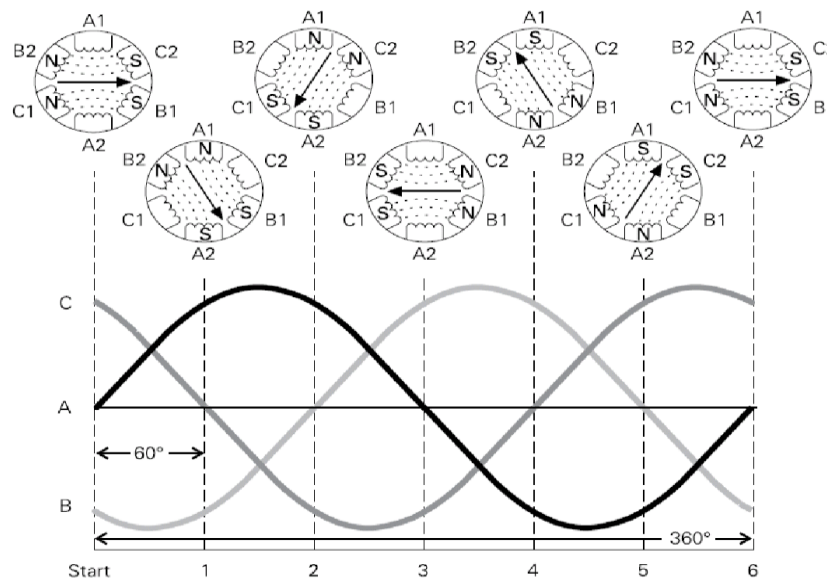
Het draaiveld in een driefasige inductiemotor



Het draaiveld in een driefasige inductiemotor



De som van de drie velden noemt men het resulterend veld:



Figuur 13: Draaiveld voorgesteld (Siemens)

Opdracht:

- Stel zelf de resulterende fasor voor op de eerder aangevulde tekeningen.

3.3. EIGENSCHAPPEN DRAAIVELD

- Het resulterende veld is een fasor met de volgende eigenschappen:
 - De grootte van het veld is constant.
 - De richting verandert continue, en draait als het ware rond.
 - De zin verandert niet.
 - Het aangrijppunt van de fasor blijft gelijk.

Uit deze eigenschappen lijkt het alsof het resulterend veld ronddraait. Dit is ook het geval. Daarom wordt dit veld vaak '**DRAAIVELD**' genoemd.

Onthoud goed dat het enkel een magnetisch veld is dat ronddraait in stilstaande wikkelingen!!!

4. CONCLUSIES

4.1. DRAAIVELD

In een eenfasige wikkeling wordt er een wisselveld geïnduceerd.

In een driefasige net worden drie fasen met drie verschillende spanningen verbonden. Dit zorgt er voor dat er in elke fase een wisselveld ontstaat.

De resultante van deze velden noemt men het draaiveld.

- Een draaiveld draait rond met een constante grootte.
 - ALS de wikkelingen even groot zijn én
 - ALS de spanningen even groot zijn én
 - ALS de mechanische en elektrische verschuiving even groot is
- Het draaiveld verandert van positie in de tijd, maar niet van grootte!!!

$$\Rightarrow B(x,t) = B(x(t))$$

4.2. SNELHEID VAN HET DRAAIVELD

Men kan de snelheid van het draaiveld berekenen:

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

- N_s is de snelheid van het draaiveld. Dit noemt men de synchrone snelheid. Dit wordt uitgedrukt in toeren per minuut.
 - f is de frequentie. [Hz]
 - p is het aantal poolparen. Dit is afhankelijk van de constructie.

4.3. WIJZIGEN SYNCHRONE SNELHEID

Bedenk wat er gewijzigd kan worden om N_s te veranderen.

-
-

Tip:

Dit is de tabel bij 60Hz.

No. of Poles	Synchronous Speed
2	3600
4	1800
6	1200
8	900
10	720

Figuur 14: N_s bij 60Hz en diverse polen [8]

Maak een tabel bij 50 Hz!!!

Aantal Polen	Synchrone snelheid
2	
4	
6	
8	
10	
12	

4.4. FINALE CONCLUSIE

- In deze bundel werd het draaiveld uitgelegd van driefasige inductiemotoren.
- Het draaiveld is afhankelijk van:
 - de aangelegde spanning (hoekverschuiving, frequentie, effectieve waarde, ...)
 - de constructie (hoekverschuiving tussen de polen, aantal polen, ...)

5. BRONVERMELDING

CURSUSSEN

G. Merlevede, AC machines

[6] G. Vanheerswynghels, **Driefasige Motoren: Het Draaiveld**, ppt.

[8] Siemens, AC-motors, pdf

BOEKEN

WEBSITES

[5] <http://www.mintakafulcrum.net/#1>

[7] <http://www.teslaplay.com/>

FIGUREN

[1] <http://www.rficdesign.com/>

[2] <http://www.renesas.eu/>, aangepast door FRB in kader didactische overwegingen

[3] metrowerks.com

[4] Flanders Electric

