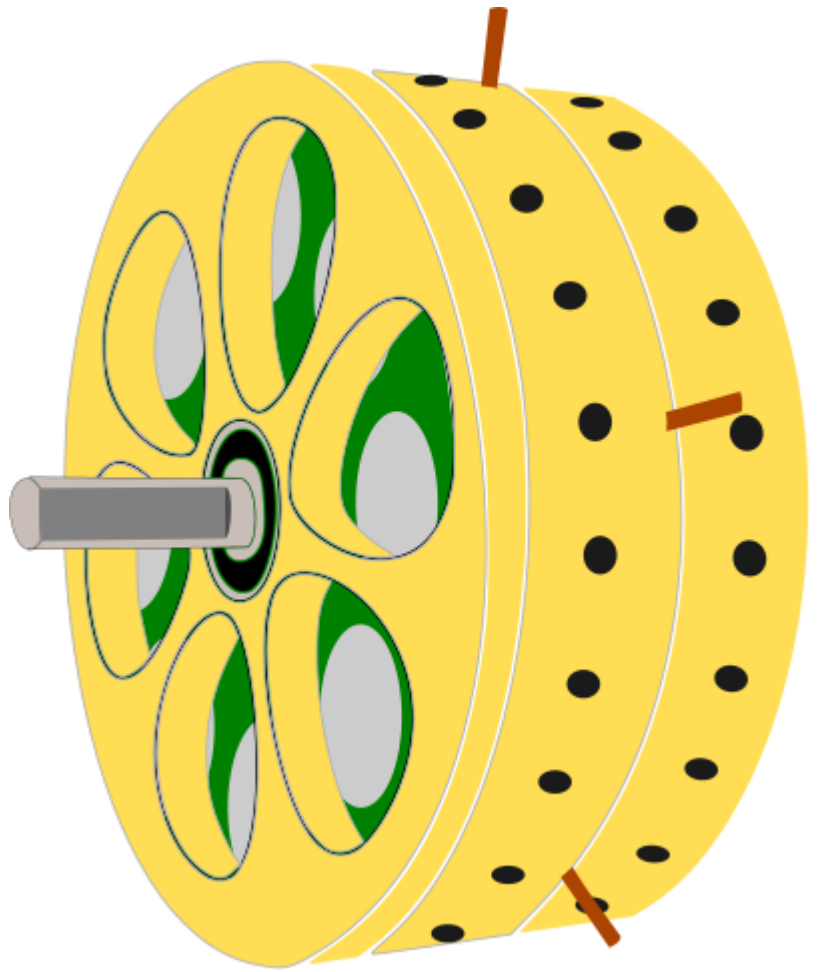


Experiment 0: Zet een motor in elkaar

De motor in dit ontwerp maakt gebruik van zes spoelen die op hun plaats blijven. Door de stroom door de spoelen te veranderen kunnen deze op afstand een schijf met 8 magneten laten draaien. Aan beide kanten van de schijf met spoelen (de stator) bevindt zich zo'n schijf met magneten (de rotor).

Je kunt dit ontwerp aanpassen. Alle ontwerpbestanden zijn te bewerken in FreeCAD. De onderdelen zijn zo gemaakt dat ze meerdere keren in elkaar passen. Je zou met dezelfde onderdelen ook een motor met twee statoren en drie rotoren kunnen maken.



Wat je nodig hebt:

- Een 3d printer met voldoende filament.
- Een rvs staaf met diameter 8mm (minimaal 12 cm lang)
- Drie kogellagers van 8x22x7 mm (binnendiameter x buitendiameter x dikte).
- 16 schijfmagneten met een diameter van 20 mm en een dikte van 8 mm
- koperdraad met een diameter van 0,2 mm(liefst niet dikker!)
- Metalen buisjes met een diameter van 0,4 mm (te koop bij de modelbouwwinkel)

optioneel:

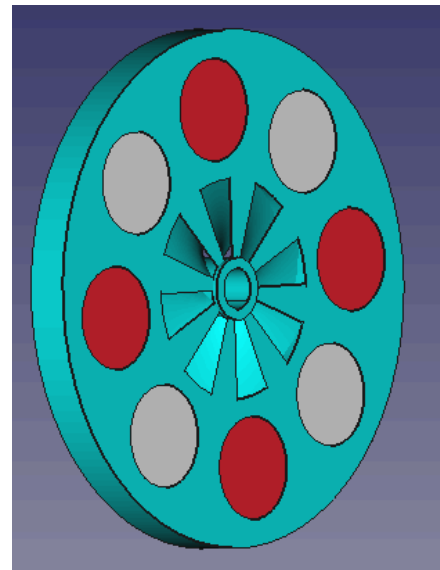
- Dupont sockets met 3 pins en kabeltjes er aan.
- Hall sensoren (Honeywell SS411A bipolar)

De rotoren: magneten plakken

Het huidige ontwerp maakt gebruik van schijfmagneten met een diameter van 20 mm en een dikte van 8 mm. Per rotor heb je daar 8 van nodig. Je kunt ze zo in de rotor klikken, maar plak ze nog wel even vast met epoxy, zodat ze niet uit de motor geslingerd worden.

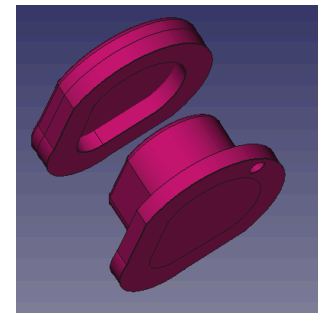
Klik eerst de magneten met de ene pool naar de bovenkant in de stator en lijm ze vast. Doe daarna de magneten met de andere pool naar boven in de andere openingen in de rotor.

De as zit vast aan de rotoren en blijft op zijn plaats dankzij kogellagers. Dit zijn lagers van 8x22x7 mm (binnendiameter x buitendiameter x dikte). Niet geheel toevallig dezelfde maat als de lagers in een fidget spinner. Voor de as pakken we een stang met een diameter van 8 mm. Lijm de rotoren ook goed vast op de as met epoxy.



De stator: spoelen wikkelen

Het vaste gedeelte van de motor, de stator, bevat zes spoelen. Deze moet je zelf wikkelen om een wikkeltjes dat je ook kunt uitprinten. Er gaat ongeveer 36m koperdraad met een diameter van 0,2 mm op een spoel. Het is handig als je dat gebruikt voor meerdere, parallelle draden. Je kunt bijvoorbeeld 6 draden van 6m naast elkaar om het klosje wikkelen, maar ook 12 draden van 3m of 9 draden van 4m. Hiermee kun je de weerstand van de spoelen aanpassen, zodat het vermogen van de motor ook verandert. Hoe lager de weerstand, hoe hoger het vermogen.



1. Span de draden

Zet ergens twee stangetjes op de gewenste afstand van elkaar en span daar het koperdraad tussen. Als je negen keer heen en weer gelopen bent tussen twee paaltjes op 4 m afstand, heb je negen draden van 4 m.

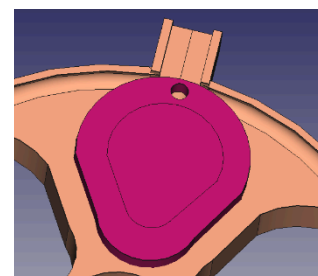
2. Wikkel de draden op het klosje

Het klosje is zo ontworpen dat hij precies in de gaten van de stator past. Wikkel eerst een stukje vershoudfolie om het klosje. Steek aan één uiteinde de draden door het gaatje in het klosje en wikkel de rest er omheen. Een beetje hobbylijm tussen de draden zorgt dat de spoel strak op zijn plaats blijft.

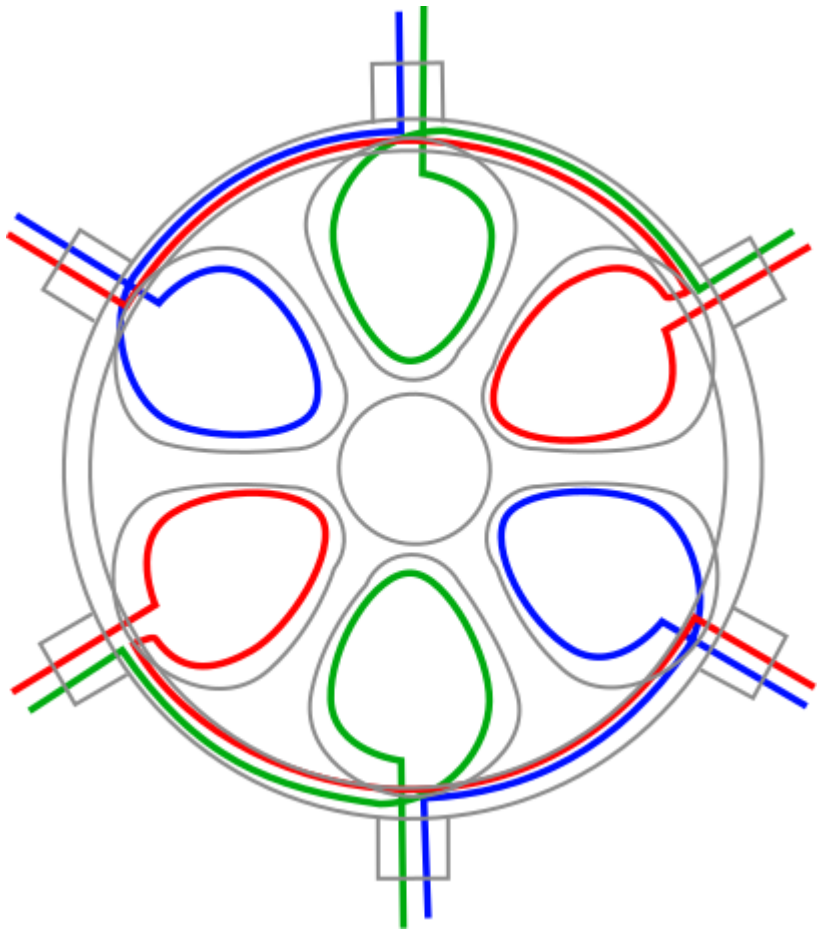
3. Druk het klosje met draad en al in de stator

Laat de lijm drogen en haal daarna het klosje weg, terwijl de spoel achterblijft. Wikkel de volgende spoel. Als je twee klosjes uitprint werk je sneller. Ze het klosje vast met een lijmtang.

Let er op dat de wikkelrichting voor alle spoelen dezelfde is. Heb je het klosje verkeerd om gewikkeld, dan moet je het andersom in de stator drukken.



4. Verbind de uiteinden van de spoelen met de juiste ingangen
Per drietal spoelen gaat de uitgang van de ene spoel samen met de ingang van de volgende spoel in het kanaal naar buiten (zie plaatje). De uitgang van de derde spoel gaat op de ingang van de eerste spoel.



5. Soldeer de spoelen aan de ingangen.

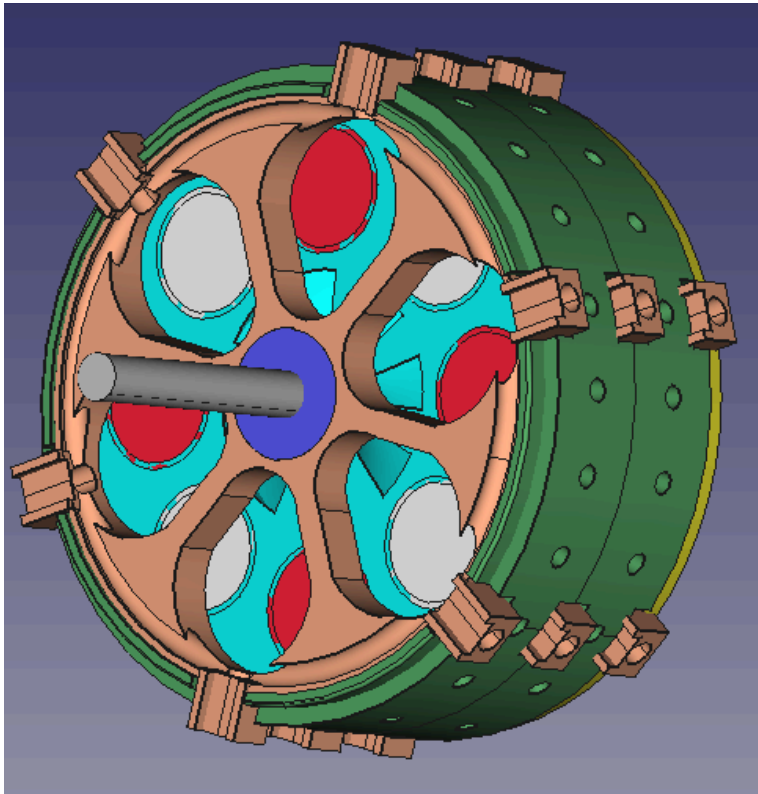
Verwijder de laklaag van het koperdraad met een aansteker of een fijn schuurpapiertje. Steek het koperdraad in een fijn metalen buisje dat in de uitgang past en vul dat buisje met soldeertin. Pas op dat het buisje niet zo heet wordt dat de rotor smelt. Het beste werkt het om met een kleine gasaansteker het uiteinde van de buis te verhitten, net zo lang totdat je er een draad soldeertin in kunt laten smelten.

Bonus: 6. Hall sensoren.

Boven de uitsparing voor de metalen buisjes waar de ingang van de spoelen zit, bevindt zich een rechthoekig gat. Daar past precies een JST-socket met drie verbindingen in. Hier kun je Hall-sensoren in klikken (type *SS411A*), zodat je de motor op een intelligente controller zou kunnen aansluiten. Lijm ze wel even vast als je dat doet.

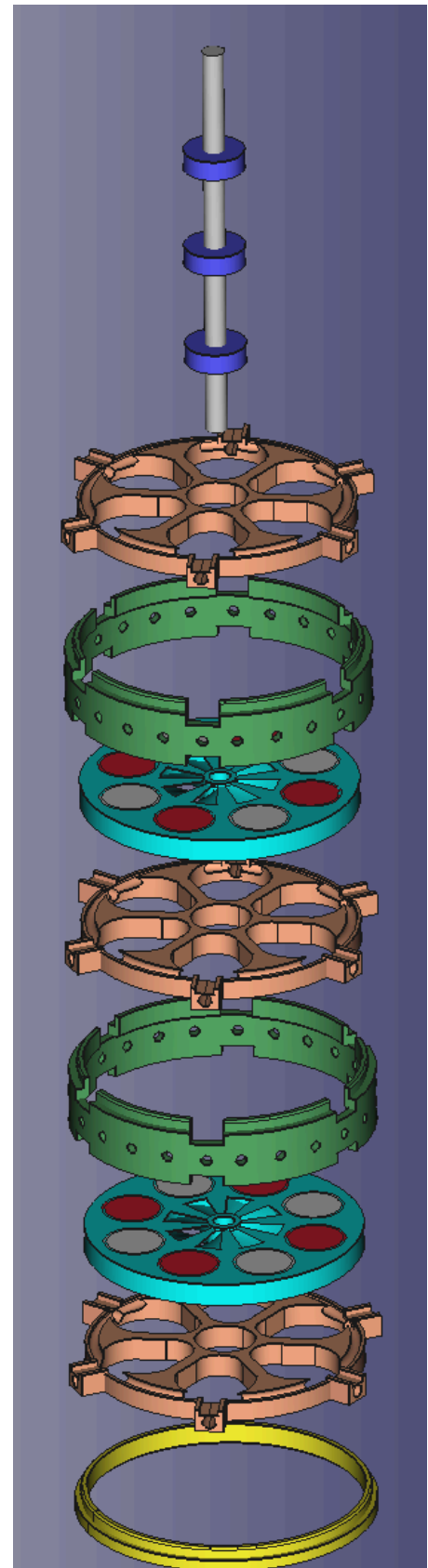
...En alles in elkaar klikken

De motor bestaat uit vier verschillende onderdelen: het rotordeel, het statordeel, de ring voor de behuizing en een eindring. Klik dit alles in elkaar zoals in het plaatje hieronder. Dit ontwerp gebruikt het statordeel ook als afsluiting.



Verdieping

Als je deze motor in elkaar hebt gezet weet je precies waar zo'n motor uit bestaat. Je bent nu in staat om zelf ook een motor te ontwerpen. Deze motor is ontworpen in FreeCAD, maar in Sketchup of Tinkercad kan het ook.

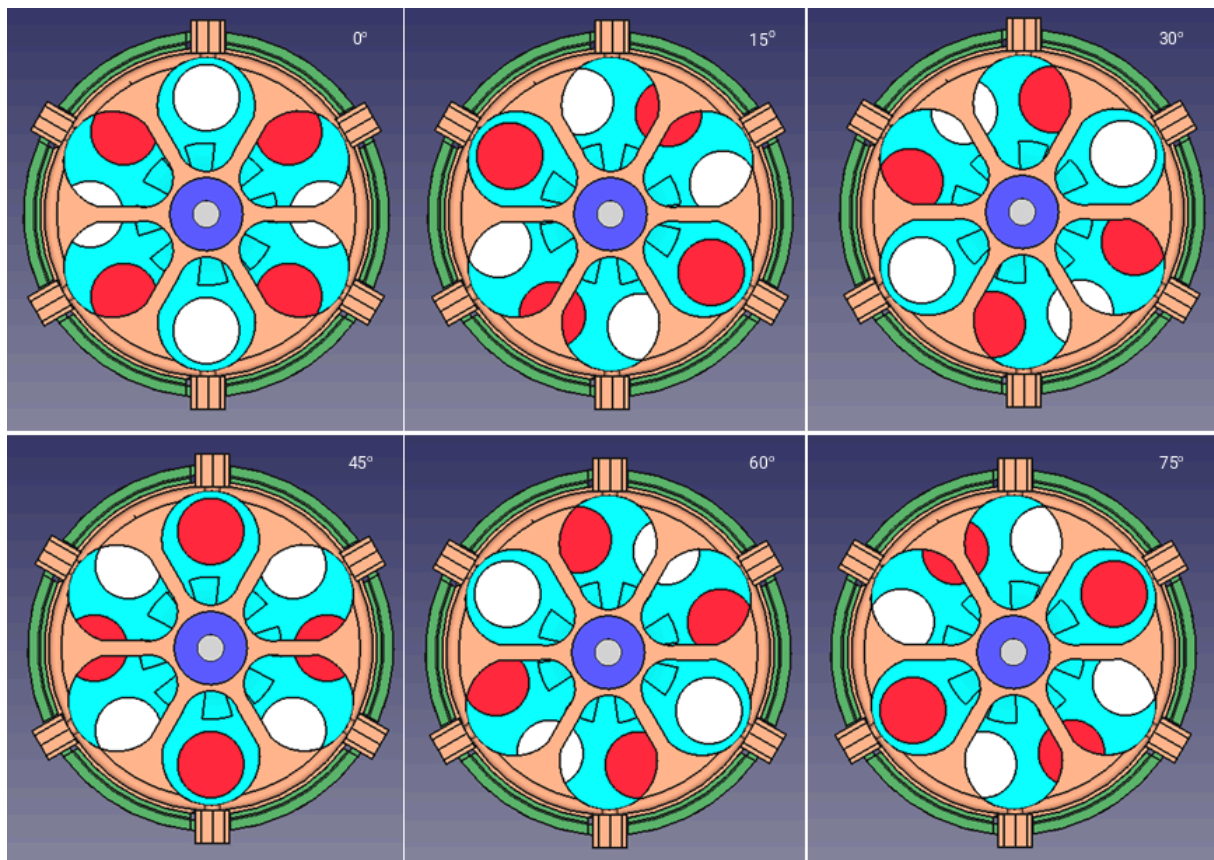


Experiment 1: Een wisselspanning opwekken...

Inleiding

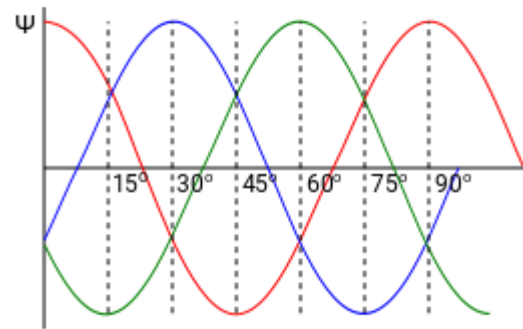
De motor die je net hebt gebouwd werkt op wisselstroom. Je stuurt deze motor niet alleen aan door er een stroom doorheen te sturen, maar deze stroom heeft ook een bepaalde frequentie. En ook als je aan de as van de motor draait, levert dat een wisselspanning op. Dan gebruik je de motor eigenlijk als generator.

In de figuur hieronder is de rotor telkens een stap van 15° tegen de klok in gedraaid.

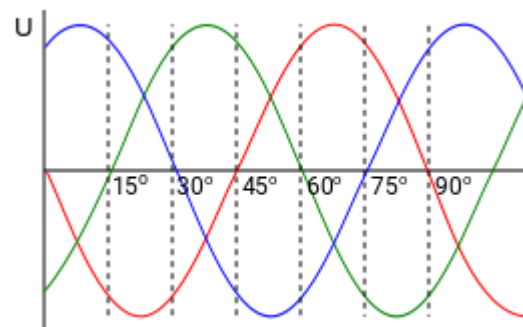


In elk paneel zijn er altijd twee openingen tegenover elkaar die precies een noordpool of een zuidpool van een magneet vangen. Als we na deze zes stappen van 15° nog een paneel zouden maken zou dat er precies hetzelfde uitzien als het eerste paneel.

We kunnen dit ook uitzetten in een grafiek. Hierbij zetten we de magnetische flux (Ψ) op de verticale as en de rotatie op de horizontale as. We kunnen hier zien dat een periode 90° duurt.



Omdat verandering in magnetische flux een spanning veroorzaakt kunnen we nu ook een spanningsgrafiek maken. Dit is de helling van de fluxgrafiek.

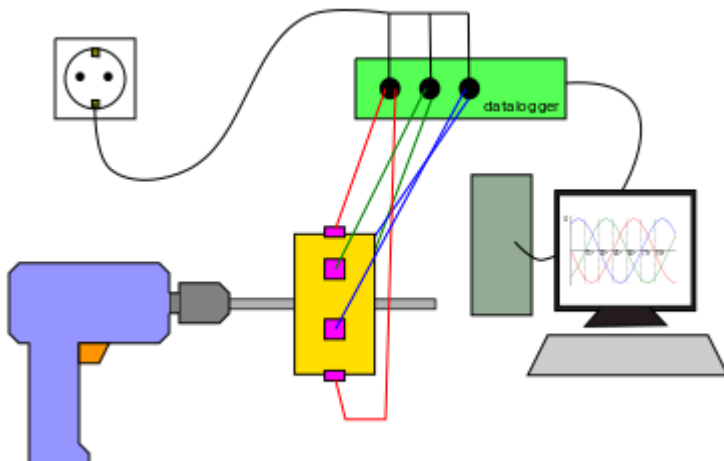


Maar dat is de theorie. In dit experiment zet je een externe motor op de as om te kijken of er ook echt zo'n mooie wisselspanning uit komt.

Methode

Drijf de generator aan met een externe motor (een boormachine of schroefbol is prima). Kijk of je met een datalogger (Coach, Pasco, Arduino, Vernier) of een oscilloscoop een wisselspanning zichtbaar kunt maken. Meet de spanning op de spoelen ten opzichte van de aarde (die pinnetjes aan de zijkant van een stopcontact).

Meet bij verschillende snelheden. Noteer het toerental van de motor, de frequentie van het signaal en de amplitude van de spanning in de tabel op de volgende pagina.



Resultaten

Toerental in omwentelingen per seconde	Frequentie van de spanning in Hz	Amplitude van de spanning in Volt

Maak grafieken waarin je de frequentie en de amplitude van de wisselspanning neerzet als functie van het toerental.



Conclusie

Kloppen je waarnemingen met de theorie? Kun je verschillen verklaren?

--

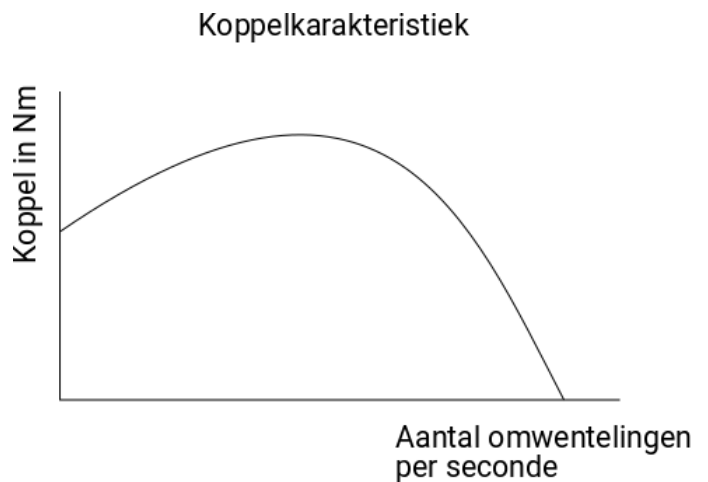
Experiment 2: Koppelkarakteristiek

De specificaties van een motor kun je laten zien in een koppelkarakteristiek. Dit is een grafiek waarin de kracht die de motor levert uitgezet is tegen de snelheid waarmee de motor draait. Omdat de kracht van de motor ook afhangt van de afstand tot het draaipunt drukken we die kracht uit in Nm. Dan noemen we het geen kracht, maar koppel (symbool τ). Omdat de snelheid ook afhangt van de afstand tot het draaipunt meten we het toerental (symbool ω).

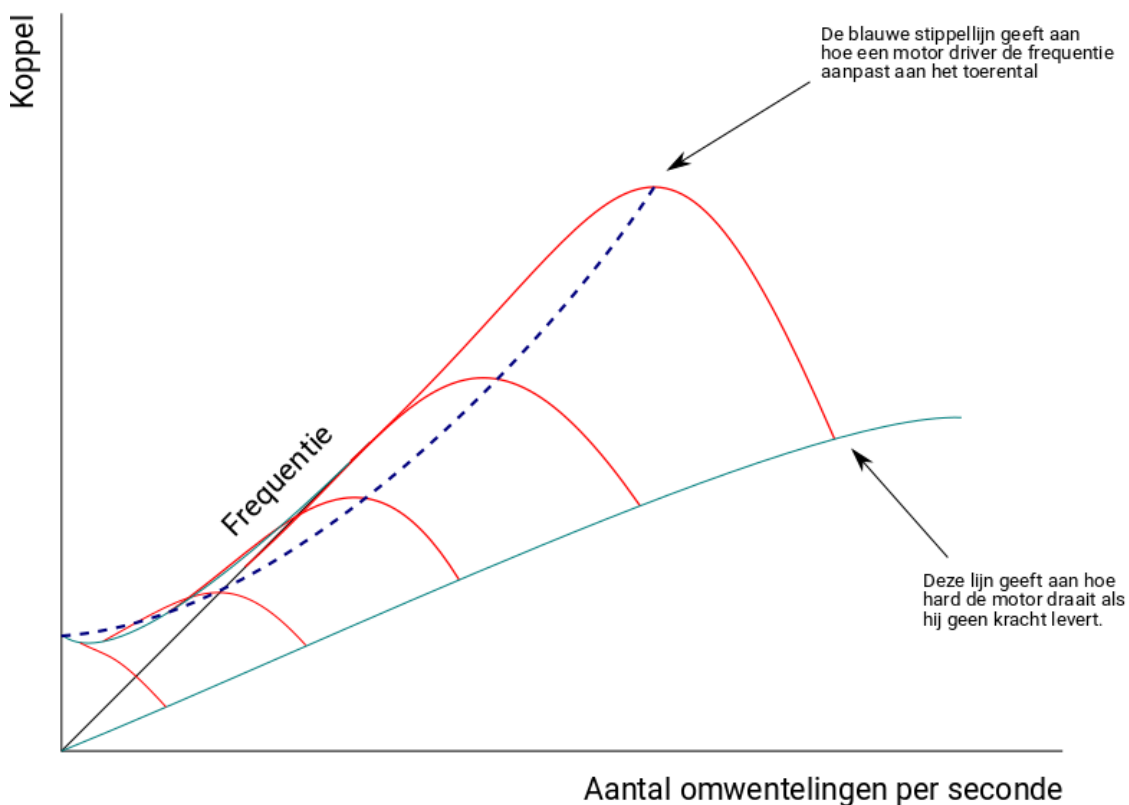
Moderne elektrische voertuigen hebben elektromotoren die bij verschillende spanningen en frequenties kunnen draaien. Voor elke spanning en frequentie is er een optimum combinatie van kracht en snelheid. Dit optimum vind je als een top in een koppelkarakteristiek.

De software in voertuigen past de frequentie waarmee de motor wordt aangestuurd zo aan dat hij altijd het maximale koppel levert.

In dit practicum maak je zelf een koppelkarakteristiek bij een vaste frequentie en spanning. Als je klasgenoten een andere frequentie pakken zouden we als klas een driedimensionale grafiek kunnen maken.



Driedimensionale grafiek van verschillende koppelkarakteristieken bij verschillende frequenties



Methode

Noteer de spanning (in V) waarmee je de motor aanstuurt?	
--	--

Noteer in de boxjes hiernaast de frequentie en de spanning waarmee je de motor gaat aansturen.
Meet daarna eerst het toerental van de onbelaste motor.

Hoe meet je toerental?

Noteer de frequentie (in Hz) waarmee je de motor aanstuurt.	
---	--

Het toerental bepaal je met een stroboscoop. Maak een stukje tape aan de as van de motor en zoek hoogst mogelijke frequentie waarbij het stukje tape lijkt stil te staan. Als je te hoog zit zie je twee stukjes tape stilstaan. Dan heb je waarschijnlijk het toerental op de stroboscoop twee keer te hoog ingesteld.

Je hebt zojuist de snelheid van de motor bij een belasting van 0 Nm gemeten. Kun je alvast invullen bij de resultaten. Nu de rest nog.

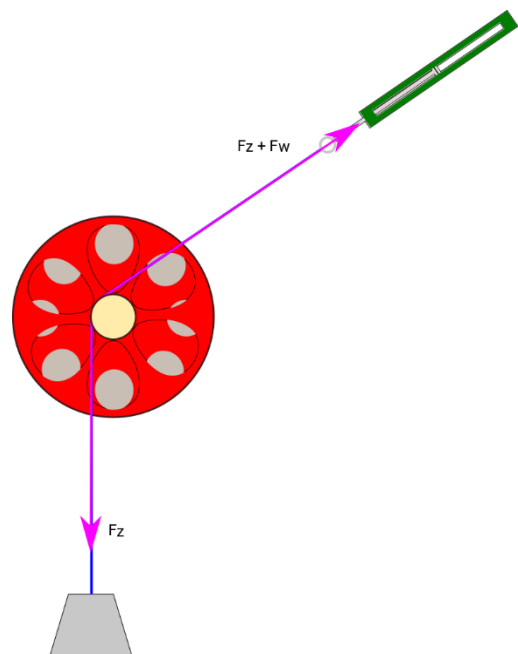
Hoe meet je koppel?

Hoeveel kracht levert zo'n motor nou? Dat hangt er vanaf hoe hard je hem afremt. Als je de motor harder afremt kost het meer kracht om te draaien.

De meest eenvoudige rem is een gewichtje aan een kabel dat je over de as hangt. Om het koppel goed uit te kunnen rekenen maken we een klosje om de as waarvan we de straal precies weten.

Als het kabeltje gewoon loodrecht omlaag hangt, is de enige kracht die aan het kabeltje trekt het gewicht van de massa die er aan hangt. Als je het kabeltje over het klosje hangt komt daar nog de wrijvingskracht op de motor bij. Zo kun je met een krachtmeter meten hoeveel kracht een motor levert. Vermenigvuldig dat met de straal van het klosje en je weet het koppel.

Noteer de straal van het klosje om de as van de motor.	
--	--



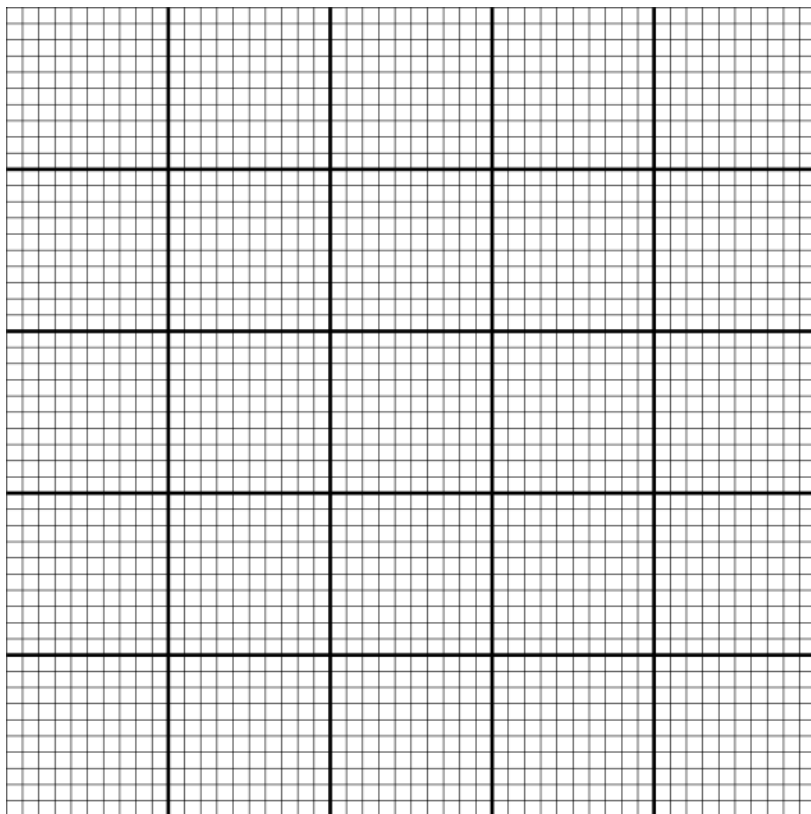
Noteer het gewicht dat aan het kabeltje hangt	
--	--

Neem je resultaten op in de tabel bij resultaten.

Resultaten

Toerental per seconde	Gemeten wrijvingskracht	Berekend Koppel ($\tau = F_w \times r$)

Maak een grafiek van je meetgegevens. Met een titel en een as-indeling en zo. Jeweetwel.



Conclusie

Probeer in te schatten waar volgens jou het optimum koppel zit. Bij welk toerental is dat? Geef dat aan in de grafiek.

Verdieping

Probeer uit meerdere koppelkarakteristieken te achterhalen hoe een slimme controller zijn frequentie moet aanpassen aan de hoeksnelheid om altijd het maximale koppel te genereren.