



# INDUSTRIËLE WETENSCHAPPEN

## Spanningsregelaar voor stroomgroep

Leerling(en):

Janssens Thomas

Mentor

Hemeryck Pol

2003-2004

VTI Torhout Sint-Aloysius | Papebrugstraat 8a, 8820 Torhout  
Telefoon: 050 23 15 15 | Fax: 050 23 15 25  
E-mail: [vti@sint-rembert.be](mailto:vti@sint-rembert.be) | Site: <http://vtiweb.sint-rembert.be/>  
Site GIP'S 6IW: [www.gip6iw.be](http://www.gip6iw.be)

## Woord vooraf

Dit schooljaar was een druk jaar. De geïntegreerde proef nam heel wat tijd in beslag. Op sommige momenten kon ik al sneller doorwerken dan op andere. Al bij al was het een toffe aangelegenheid. De interesse was groot, mede door het feit dat het een zelfgekozen onderwerp is.

Ik kreeg te maken met meerdere obstakels gedurende het jaar. Onder meer het lange wachten op informatie van bedrijven vertraagde het hele proces. Ook examenperiodes remden de werkzaamheden af en legden ze zelfs meermaals stil. Toch kan ik zeggen dat ik tevreden ben over de geleverde inspanningen en de opgedane kennis.

Met enige trots kan ik u mijn Geïntegreerde Proef over stroomgroepen voorstellen.

Bij deze wens ik ook een woordje van dank te richten tot mijn ouders en mijn mentor, de heer Hemeryck, omdat zij mij gedurende het jaar door dik en dun gesteund hebben.

# Inhoudstafel

<b>Inleiding</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Stroomgroep</b> .....	<b>7</b>
1.1 Geschiedenis.....	7
1.2 Opbouw van een stroomgroep.....	8
1.2.1 Aandrijving.....	9
1.2.2 Generator.....	10
1.2.2.1 Magnetisme.....	10
1.2.2.2 Elektromagnetisme.....	13
1.2.2.3 Rechte geleider in een magnetisch veld.....	14
1.2.2.4 Principiële wisselstroomgenerator.....	15
1.2.2.5 Praktische wisselstroomgenerator.....	15
1.2.2.6 Driefasengeneratoren.....	16
1.2.2.7 Frequentie van de opgewekte spanning.....	16
1.2.2.8 Vermogen van een wisselstroomgenerator.....	17
1.2.3 Koeleenheid.....	20
1.2.4 Bedieningspaneel.....	20
1.2.5 Brandstoftank.....	21
1.3 Kostprijs van een stroomgroep.....	21
1.4 Informatiefiche van een stroomgroep.....	22
<b>2 Praktische realisatie</b> .....	<b>23</b>
2.1 Voorstelling.....	23
2.1.1 Voorgeschiedenis.....	23
2.1.2 Enkele foto's.....	23
2.1.2.1 Voorstelling stroomgroep.....	23
2.1.2.2 Aanpassingswerken (mechanisch - elektrisch).....	24
2.2 De gelijkstroomgenerator of dynamo.....	28
2.2.1 Principiële dynamo.....	28
2.2.2 Praktische dynamo.....	29
2.3 Kostprijsvergelijking.....	31
2.4 Bepalen van de klemmen.....	32

2.5	Bekrchtiging van het veld.....	34
2.6	Proceskarakteristieken.....	34
2.7	Verwerking meetresultaten.....	35
2.8	De spanningsregelaar .....	37
2.8.1	Oorzaak van de spanningsdaling.....	37
2.8.2	Verschil tussen sturing en regeling .....	38
2.8.3	Schakeling .....	39
2.8.3.1	Schema van de regelaar .....	39
2.8.3.2	De transistor .....	39
2.8.3.3	De operationele versterker.....	43
2.8.3.4	De vrijloopdiode.....	47
2.8.4	Uitleg.....	48
2.8.5	Bepalen van de componenten.....	48
2.8.6	Kostprijs van de schakeling.....	50
2.8.7	Assemblage van de schakeling.....	50
2.8.8	Testen van de schakeling.....	50
2.8.9	Evaluatie werking.....	51
<b>3</b>	<b>Besluit .....</b>	<b>52</b>
<b>4</b>	<b>Bijlagen.....</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>Bronnen .....</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>Graag bedank ik.....</b>	<b>55</b>

## Inleiding

Mijn geïntegreerde proef gaat over stroomgroepen. Ik vind dat een interessant onderwerp, daar het om een toestel gaat dat onmisbaar is geworden in onze maatschappij. Elk type van elektriciteitscentrale maakt gebruik van hetzelfde procédé: een motor, turbine, ... drijft een generator aan en die wekt op zijn beurt elektrische spanning op.

De geïntegreerde proef omvat twee grote delen. Eerst komt de theoretische bespreking van een stroomgroep. Daarin worden zowel de aandrijving als de generator onder de loep genomen. Het tweede deel is een praktische realisatie. Ik maak een spanningsregelaar voor een bestaande stroomgroep. Daarvoor moet ik eerst alle klemmen van de dynamo's (zie foto) opzoeken. Een hele klus ... Daarna worden metingen uitgevoerd op de stroomgroep om de proceskarakteristieken van de dynamo te bepalen. Dit gebeurt bij vollast en bij nullast. Pas dan kan ik van start gaan met de regelaar.

Het toestel moet de stroom door de veldwikkeling van de dynamo regelen zodat de opgewekte spanning bij stijgende of dalende belasting constant blijft. Het komt er dus op aan voortdurend de spanning te meten en de stroom door de veldwikkeling zo te regelen dat er geen spanningspieken of -vallen zijn.

Een rendementsbepaling wijst uit dat een stroomgroep niet echt rendabel is. Toch zijn er enkele belangrijke voordelen. Hij kan eender waar, eender wanneer gebruikt worden. (denk maar aan foorreizigers [figuur 1], bouwerven [figuur 2], festivals, ...)

Stroomgroepen bestaan al vanaf het einde van de 19<sup>de</sup> eeuw, maar bewijzen nog steeds hun diensten.



Figuur 1: stroomgroep op een kermis



Figuur 2: stroomgroep op een bouwwerf

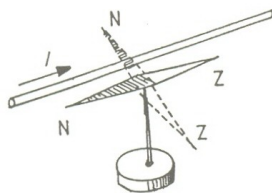
# 1 Stroomgroep

## 1.1 Geschiedenis

In 1820 leest Michael Faraday<sup>1</sup> het verslag van een proef die Hans Christian Oersted<sup>2</sup> uitgevoerd heeft. De proef bestaat erin een naald te magnetiseren door elektrische stroom door een draad te sturen [figuur 3]. Faraday raakt geïnteresseerd en denkt eraan een soortgelijke proef uit te voeren. Drie jaar later slaagt hij erin een stroomvoerende geleider voortdurend te laten ronddraaien in een bak met kwik door middel van een magnetisch veld. Faraday ziet onmiddellijk een nieuwe uitdaging. Hij dacht: “Als een stroomvoerende draad beweegt onder invloed van een magnetisch veld, moet een bewegende draad in een magnetisch veld een spanning opwekken.” Daarmee was de grondslag van de elektriciteitsproductie gelegd; deze keer niet op chemische wijze zoals de cel van Volta<sup>3</sup>, maar op een mechanische manier. Er zou dus een machine komen die stroom kan maken.

Pas in 1831 begon hij aan de realisatie van zijn ontwerp. Het leek goed te werken en een jaar later stond de eerste generator op een tentoonstelling in Parijs. Die bestond uit een hoefijzervormige magneet die men handmatig om een spoel moest draaien. Het toestel leverde echter kleine stroompjes op, dus was het eigenlijk zinloos. Gaandeweg werd de machine verbeterd en steeg het rendement. In 1857 kon een tweeduizend kilogram wegende generator een vermogen leveren om 15 lampen van 100 watt te doen branden. Tussen 1880 en 1890 slaagde men erin de machine alsmaar langer te laten draaien, zonder dat ze warm liep. Men stelde wel een nadeel vast. De stroom was anders dan die uit een volta-element: ze veranderde namelijk steeds van zin. Dat stuitte op heel wat tegenkating bij de bevolking omdat men meer vertrouwen had in gelijkstroom. Toch won de wisselstroom meer en meer aan belang. Men beseftte dat het eenvoudiger was een wisselspanning op te wekken met een generator dan gelijkspanning met een volta-element.

De eerste elektriciteitscentrale werd in 1881 gebouwd in Cookermouth (Engeland). De echte start kwam pas op 4 september 1882 in New York: Thomas Edison<sup>4</sup> liet er de eerste krachtcentrale bouwen. In België was Brussel de eerste stad die een centrale bezat. Later volgden Ninove, Gent en Antwerpen.



Figuur 3: proef van Oersted

<sup>1</sup> Michael Faraday, (1791-1867): Engels boekhouder die vaststelde dat er een spanning ontstaat over een geleider die een magnetisch veld snijdt.

<sup>2</sup> Hans Christian Oersted, (1777-1851): Deens natuurkundige die de magnetische werking van elektrische stroom ontdekte.

<sup>3</sup> Allessandro Volta, (1745-1827): Italiaans natuurkundige die als eerste een stroombron heeft gemaakt. De eenheid van spanning is naar hem genoemd.

<sup>4</sup> Thomas Alva Edison, (1874-1931): Amerikaans uitvinder. Vond o.m. de gloeilamp, de grammofoon, de telegraaf, ... uit

## 1.2 Opbouw van een stroomgroep

Een stroomgroep bestaat uit meerdere onderdelen. De twee belangrijkste zijn de motor en de generator. Deze worden aangevuld door een koeleenheid, een bedieningspaneel en een brandstoftank. [figuur 4]



Figuur 4: stroomgroep (open opstelling)



Figuur 5: stroomgroep met omkasting

Er bestaan meerdere uitvoeringen. De meest eenvoudige is een chassis met daarop de motor, de generator, de koeleenheid en het bedieningspaneel. Vaak wordt er een omkasting rond geplaatst [figuur 5]. Dit is hoofdzakelijk om de geluidshinder te beperken.

Dit is de meest voorkomende vorm van stroomgroep. Er zijn echter veel varianten. De grootte hangt hoofdzakelijk af van het vermogen dat de groep kan leveren. Er zijn kleine groepen met benzinemotor [figuur 6], soms als draagbaar model. [figuur 7] Zeer grote groepen worden vast op een aanhangwagen gemonteerd, [figuur 8] soms zelfs op een vrachtwagen. [figuur 9]



Figuur 6: kleine versie met benzinemotor



Figuur 7: draagbaar model



Figuur 8: mobiele stroomgroep (aanhangwagen)



Figuur 9: mobiele stroomgroep (vrachtwagen)

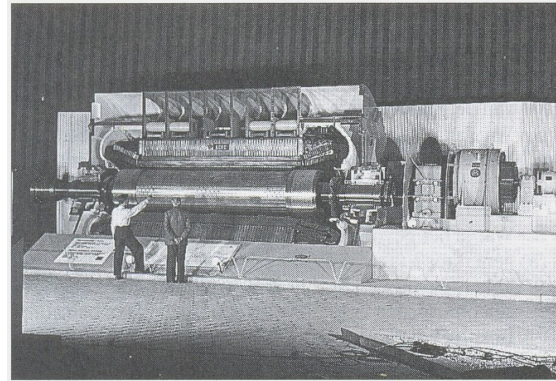
## 1.2.1 Aandrijving

De keuze van aandrijving is afhankelijk van twee factoren: de soort generator en het vermogen ervan.

### Soort generator

#### *Turbogenerator*

Een turbogenerator [figuur 10] is lang ten opzichte van de diameter. Er zijn weinig polen, maar door zijn grote lengte bereikt hij toch een grote opgewekte spanning. Meestal gebeurt de aandrijving door een stoomturbine, want die heeft een hoog toerental.

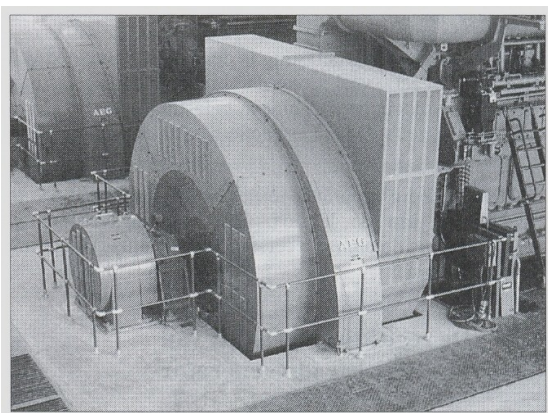


Figuur 10: turbogenerator

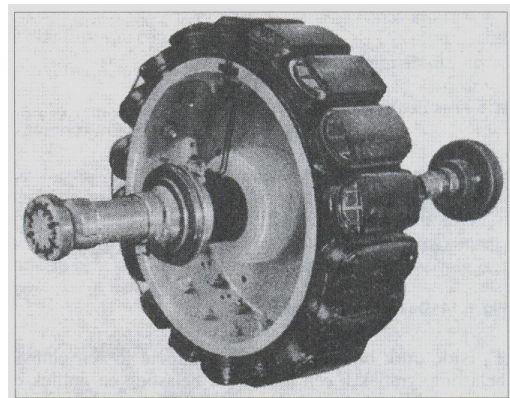
Een JET-centrale wordt gebruikt om grote, tijdelijke stroompieken op te vangen. De aandrijving is sneldraaiend (straalmotor), dus wordt een turbogenerator gebruikt. Het toerental van de straalmotor bedraagt ongeveer 7000 à 8000 toeren per minuut.

#### *Vliegwielgenerator*

Een vliegwielgenerator heeft een grote diameter en bezit veel polen. [figuur 11 & 12] Omdat het een traagdraaiende machine is, wordt hij meestal gebruikt in waterkrachtcentrales. De stuwkracht van het water kan geen groot toerental realiseren, maar heeft wel een groot vermogen. Door de grote massa van het vliegwiel blijft het toerental relatief stabiel, zelfs wanneer er een groot vermogen wordt geleverd.



Figuur 11: vliegwielgenerator



Figuur 12: vliegwielgenerator (rotor)

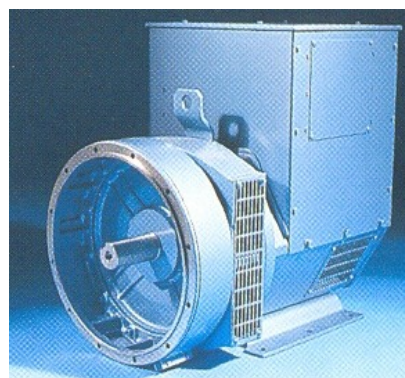


## Vermogen

De tweede factor die de aandrijving bepaalt, is het vermogen dat de generator kan leveren. Het is vanzelfsprekend dat een stroomgroep voor particulier gebruik een veel kleiner vermogen heeft dan een industriële toepassing. Benzinemotoren worden gebruikt bij generatoren tot ongeveer 6 kVA. Voor generatoren tot 1500 kVA wordt meestal een dieselmotor voorzien. Generatoren met een vermogen in orde van de Megawatts worden aangedreven door een stoomturbine (klassieke centrale, kerncentrale), vliegtuigmotor (JET centrale),...

### 1.2.2 Generator

De werking van een generator [figuur 13] steunt op magnetisme. Wat magnetisme is en hoe er spanning mee kan worden opgewekt, leg ik hieronder grondig uit.



Figuur 13: generator

#### 1.2.2.1 Magnetisme

Magnetisme is de eigenschap om andere stoffen aan te trekken. Een magneet is een voorwerp met een magnetisch veld er omheen en heeft bijgevolg deze eigenschap.

#### Soorten magneten

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen natuurlijke en kunstmatige magneten.

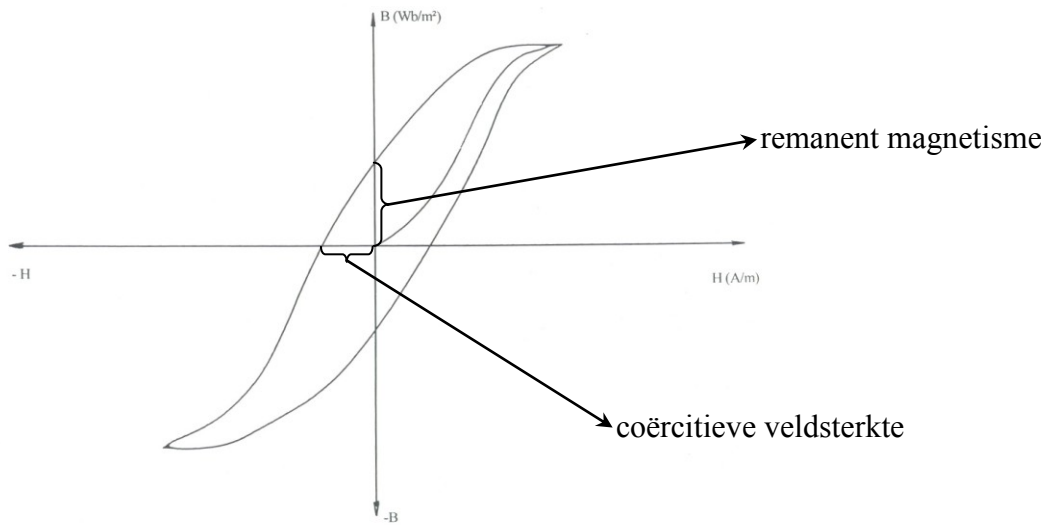
##### *Natuurlijke magneten*

Natuurlijke magneten zijn stoffen die uit zichzelf al magnetisch zijn. Een voorbeeld is magneetijzersteen ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), dat men in Klein-Azië vindt.

##### *Kunstmatige magneten*

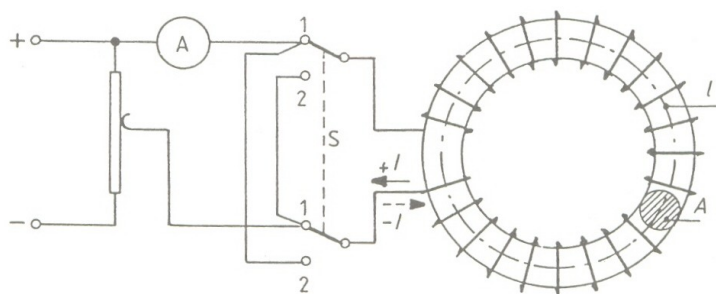
Bij kunstmatige magneten is het magnetisch veld kunstmatig aangebracht. Een stuk hard staal in een magnetisch veld zal magnetiseren. Als we het magnetisch veld opheffen, zal er een magnetische inductie aanwezig blijven (remanent magnetisme). Om een goede magneet te bekomen, moet het remanent magnetisme groot zijn. Men zal dus materialen zoeken en/of produceren die aan die eis voldoen. Fernico (Fe, Ni, Co), Tinocan, ... zijn staallegeringen waarvan de magnetische hardheid werd opgedreven. Ze werden dus geschikt gemaakt om aan het magnetisatieproces onderworpen te worden.

Het gehele magnetisatieproces kan worden gevolgd op een magnetisatiekromme of hysteresiscurve. [figuur 14] De grafiek is afhankelijk van het materiaal dat gemagnetiseerd wordt. De horizontale as stelt de veldsterkte voor (recht evenredig met de stroom door de spoel), de verticale as de inductie.



Figuur 14: hysteresiscurve

Het opnemen van een hysteresiscurve gaat als volgt: een metalen torus (ring) wordt omwonden met draad waarop een gelijkspanning wordt aangesloten. Met een potentiometer wordt de stroom door de wikkeling opgedreven [figuur 15]. Tegelijkertijd wordt de stroomsterkte gemeten en ook de inductie in de torus. Op het moment dat de torus volledig gemagnetiseerd is, wordt de stroomsterkte terug verminderd. Vanaf dan begint het demagnetiseren. We kunnen opmerken dat er een inductie blijft bestaan (remanent magnetisme) op het moment dat de veldsterkte terug nul is. We moeten zelfs terug een beetje magnetiseren (nadat we de stroomzin omkeerden met de wisselschakelaars) om het magnetisme volledig te elimineren. De daarvoor nodige veldsterkte wordt coërcitieve veldsterkte genoemd.



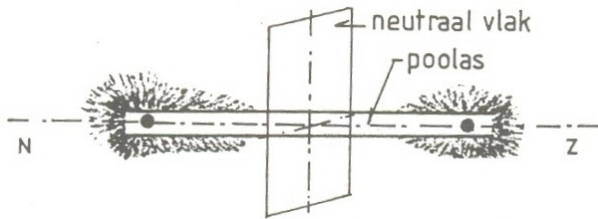
Figuur 15: schakeling hysteresiscurve

Kunstmatige magneten worden dus gemaakt uit materialen die een hysteresiscurve met een grote oppervlakte hebben, want een groot oppervlakte wijst op een groot remanent magnetisme.

## Algemene begrippen

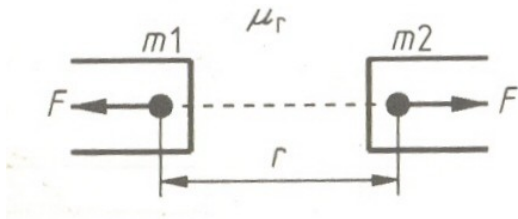
### *Polarisatie*

Een magneet heeft altijd een noord- en zuidpool. De poolas verbindt beide polen (fictief). Het vlak loodrecht op het midden van de poolas noemt men het neutrale vlak. Ter hoogte van het neutrale vlak is er geen krachtwerking. [figuur 16]



Figuur 16: voorstelling magneet

Gelijknamige polen stoten elkaar af, ongelijknamige polen trekken elkaar aan. De aantrekkingskracht is afhankelijk van de poolsterkte en de onderlinge afstand tussen beide polen (hoe verder, hoe minder aantrekkingskracht). [figuur 17]



Figuur 17: voorstelling aantrekkingskracht

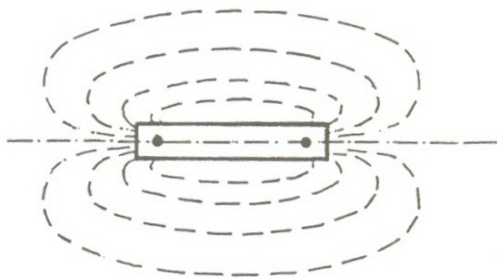
### *Poolsterkte*

De poolsterkte is de hoeveelheid magnetisme aanwezig aan een uiteinde van een magneet. Het wordt ook wel magnetische massa genoemd.

symbool:  $m$                       eenheid: Wb of Vs

### *Veldlijnen of krachtlijnen*

Veldlijnen zijn fictieve, gesloten lijnen die de krachtwerking van de magneet voorstellen. Ze lopen steeds van noord naar zuid buiten de magneet en van zuid naar noord binnenin de magneet. [figuur 18]



Figuur 18: veldlijnen

### *Veldsterkte*

De sterkte van het magnetisch veld, de veldsterkte, is afhankelijk van de hoeveelheid veldlijnen.

symbool: H                      eenheid: A/m

### *Inductie*

De inductie of magnetische fluxdichtheid is de hoeveelheid veldlijnen per oppervlakte-eenheid.

symbool: B                      eenheid: Wb/m<sup>2</sup>

### *Flux*

De flux is de hoeveelheid veldlijnen die uit de noordpool komen, zich door de lucht verplaatsen en terugkomen in de zuidpool.

symbool:  $\Phi$                       eenheid: Wb

### *Magnetische weerstand*

De magnetische weerstand is de mate waarin de veldlijnen zich meer of minder gemakkelijk verplaatsen door het materiaal en door de lucht, ook permeabiliteit ( $\mu$ ) genoemd. Daarin is  $\mu_0$  de absolute en  $\mu_r$  de relatieve permeabiliteitscoëfficiënt.

## **1.2.2.2 Elektromagnetisme**

Een magneet kan kunstmatig worden gecreëerd. Als we in een bekrachtigde spoel (gelijkstroom) een stuk zacht staal plaatsen, wordt een noord- en zuidpool gevormd. De polariteit van deze elektromagneet kunnen we bepalen met de rechterhandregel. Als de spanning over de spoel wegvalt, verdwijnt het magnetisme -op het remanent magnetisme na- volledig.

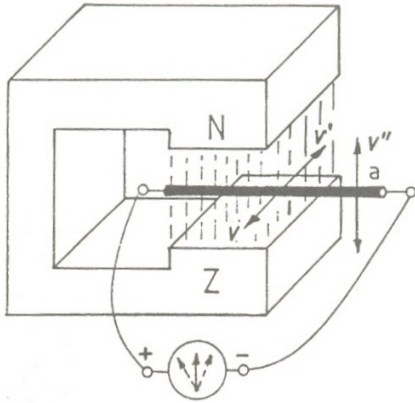
### *rechterhandregel (eerste toepassing)*

Wordt gebruikt om de polariteit van een elektromagneet te bepalen. Met de rechterhand nemen we de spoel vast zodanig dat de vingertoppen de stroomzin aanduiden. De gestrekte duim wijst nu de noordpool aan.

Toepassingen van elektromagnetisme vind je veelal terug bij luidsprekers, elektromotoren, maar ook een elektromagneet in zijn eenvoudigste vorm is niet zeldzaam. Denk maar aan de vele schrootverwerkende bedrijven waar elektromagneten gebruikt worden om oud ijzer op te tillen en te verplaatsen.

### 1.2.2.3 Rechte geleider in een magnetisch veld

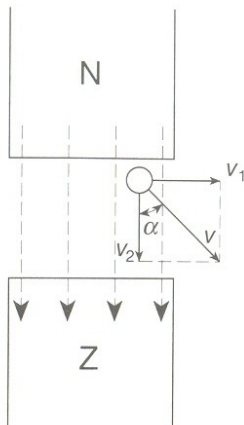
Over een geleider die beweegt in een magnetisch veld wordt een elektrische spanning opgewekt. [figuur 19]



Deze opstelling is gebaseerd op de proef van Oersted. De situatie is echter omgekeerd. Nu wordt een spanning opgewekt in een geleider die beweegt in een magnetisch veld, in plaats van het opwekken van een magnetisch veld met een stroomvoerende geleider.

Figuur 19: rechte geleider beweegt in magnetisch veld

De grootte van de opgewekte spanning wordt bepaald met volgende formule:  $E = B \cdot l \cdot v$   
 Er moet wel worden op gewezen dat de snelheid loodrecht op de richting van de veldlijnen moet staan. [figuur 20] We moeten dus rekening houden met de snelheidscomponent  $v_1$ .



Figuur 20: geleider in magnetisch veld

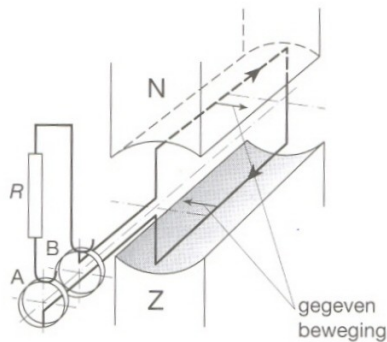
De veldlijnen moeten dus loodrecht ‘gesneden’ worden. De grootte van de opgewekte spanning is afhankelijk van de bewegingssnelheid, de inductie van het magnetisch veld en de lengte van de geleider.

#### *rechterhandregel (tweede toepassing)*

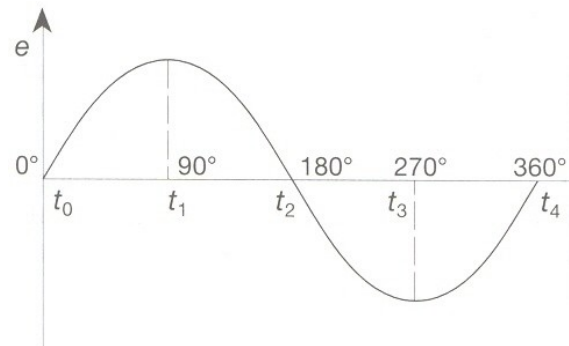
De polariteit van de opgewekte spanning wordt bepaald met de rechterhandregel. Plaats je rechterhand in het magnetisch veld zodat je de veldlijnen in de handpalm opvangt. De gestrekte duim geeft de bewegingszin aan. De vingertoppen duiden nu de stroomzin aan.

### 1.2.2.4 Principiële wisselstroomgenerator

Een wisselstroomgenerator of alternator in zijn eenvoudigste vorm bestaat uit een winding en twee magneetpolen [figuur 21]. De winding draait rond in het magnetisch veld. Zo wordt een spanning opgewekt. De winding bestaat uit twee rechte geleiders die in serie geschakeld zijn. De grootte van de spanning kan aldus berekend worden met de formule die geldt voor één geleider, maar dan maal twee. Aangezien er een ronddraaiende beweging is, verandert de grootte van de snelheid loodrecht op de veldlijnen voortdurend. De snelheid verloopt sinusoidaal. Dus zal ook de opgewekte spanning een sinusvorm aannemen. De spanning verandert tweemaal van polariteit per omwenteling, vandaar de naam wisselspanning. [figuur 22]



Figuur 21: winding in magnetisch veld



Figuur 22: opgewekte wisselspanning

De opgewekte spanning kan aldus berekend worden met volgende formule:

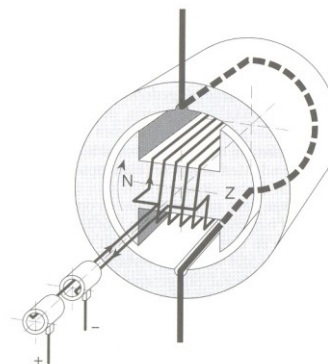
$$e = 2 \cdot B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha \quad (\text{met } \alpha = \text{de hoek tussen de richting van de veldlijnen en de winding})$$

### 1.2.2.5 Praktische wisselstroomgenerator

Een praktische generator bestaat uit twee delen: de rotor en de stator. De rotor is het draaiende gedeelte, de stator het stilstaande. Afhankelijk van wat de functie is van de rotor en de stator kunnen twee soorten generatoren onderscheiden worden.

#### *Binnenpoolmachine*

Bij een binnenpoolmachine [figuur 23] wordt de spanning opgewekt in het stilstaande deel van de generator. Het magnetisch veld bevindt zich op de rotor. De spanning wordt afgenomen via vaste klemmen. De veldbekrachtiging gebeurt via twee koolstofborstels die op sleepringen rusten. Elke sleepring is op zijn beurt verbonden met een uiteinde van de bekrachtigingsspoel. Op de sleepringen wordt een gelijkspanning aangesloten.



Figuur 23: binnenpoolmachine

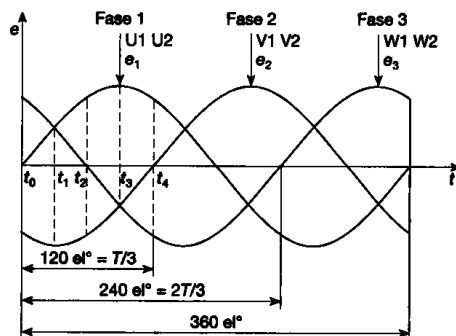
### Buitenpoolmachine

Bij een buitenpoolmachine liggen de polen die het magnetisch veld opwekken, in de stator. De rotor bestaat uit een groot aantal windingen waarvan de uiteinden verbonden zijn met sleepringen. Op de sleepringen rusten twee koolstofborstels, waarlangs de opgewekte spanning kan worden afgenomen. De veldbekrachtiging wordt vast verbonden.

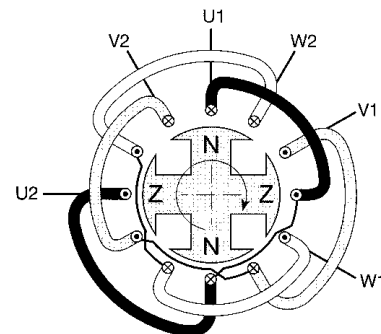
Deze laatste opstelling wordt in mindere mate gebruikt, want het is eenvoudiger een 'grote stroom'-voerende geleider vast te schakelen dan met koolstofborstels. Door het magnetisch veld daarentegen vloeit slechts een kleine stroom en die kan wel via borstels en sleepringen overgebracht worden.

### 1.2.2.6 Driefasengeneratoren

Tot nu toe werd er nog niet gesproken over driefasengeneratoren. Zoals de naam al doet vermoeden, wordt er een driefasenspanning mee gegenereerd. Principieel is de opbouw bijna dezelfde als van een gewone generator (monofasig). Enkel de stator (of rotor) ziet er iets anders uit. Er liggen nu drie windingen in, elk 120 graden verschoven ten opzichte van elkaar [figuur 25]. Als we een grafiek [figuur 24] bekijken, zien we dat de drie opgewekte spanningen ook 120 graden verschoven zijn. De grafiek toont ook aan dat de drie spanningen op een ander moment de maximum en minimumwaarde bereiken.



Figuur 24: opgewekte spanning bij driefasengenerator



Figuur 25: wikkelingen 120° verschoven (in dit geval een binnenpoolmachine)

Bijna alle stroomgroepen genereren een driefasenspanning, behalve de kleine groepen met benzinemotor. Die leveren een monofasige spanning<sup>1</sup>.

### 1.2.2.7 Frequentie van de opgewekte spanning

Bij wisselstroomgeneratoren zijn enkele grootheden zeer belangrijk:

- de spanning
- het vermogen (de stroom)
- de frequentie

<sup>1</sup> monofasige spanning = spanning die men uit het gewone stopcontact kan aftakken. Dit vereist slechts twee aansluitdraden; de fase (of lijn) en de nulgeleider.

De frequentie geeft aan hoeveel maal per seconde de spanning de sinusvorm doorloopt. Ze is afhankelijk van het toerental en het aantal polenparen. Het aantal polenparen is het aantal polen gedeeld door twee.

$$f = \frac{n}{p} \quad \text{met } n \text{ de rotatiefrequentie in toeren per seconde en } p \text{ het aantal polenparen}$$

voorbeeld: Een vierpolige generator wordt aangedreven op 3000 toeren per minuut. De frequentie zal in dit geval gelijk zijn aan

$$\begin{aligned} f &= \frac{n}{p} \\ &= \frac{50/\text{sec}}{2} \\ &= 25 \text{ Hz} \end{aligned}$$

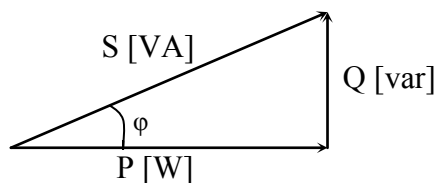
In de praktijk wordt een netfrequentie van 50 Hz gehanteerd. In Amerika bedraagt ze 60 Hz. Aangezien het aantal polenparen vast bepaald is door de constructie van de generator, is de frequentie enkel afhankelijk van het toerental van de generator.

Elektriciteitsmaatschappijen hebben contractueel vastgelegd dat de netfrequentie 50 Hz bedraagt met een tolerantie van 1 miljoenste. Dit om onder meer de werking van telsystemen, klokken, ... niet te verstoren.

### 1.2.2.8 Vermogen van een wisselstroomgenerator

Als we een capacatieve of een inductieve last aansluiten op een wisselspanning, dan treden er verschijnselen op die een faseverschuiving teweegbrengen. Dat wil zeggen dat de spanning over en de stroom door de belasting niet in fase zijn. Bij inductieve belasting ijlt de stroom na op de spanning. Bij capacatieve belasting ijlt de stroom voor op de spanning. De spanning bereikt dus zijn maximumwaarde op een ander ogenblik dan de stroom. De frequentie daarentegen blijft ongewijzigd.

Ook op gebied van vermogen en arbeid is er sprake van een faseverschuiving. Als we een vermogendriehoek tekenen zien we duidelijk hoe de grootte van de faseverschuivingshoek de grootte van de verschillende soorten vermogens beïnvloedt.



De eerste soort vermogen is het actief vermogen (P). Dat is het vermogen dat gedissipeerd wordt in de zuiver resistieve<sup>1</sup> componenten van de kring. Het wordt uitgedrukt in Watt [W].

<sup>1</sup> resistief = enkel en alleen Ohmse weerstanden



De tweede soort vermogen is het reactief vermogen (Q). Dat is het vermogen dat gebruikt wordt in de zuiver capacatieve of inductieve belastingscomponenten van de kring. De eenheid is var. Dat staat voor Volt Ampère reactief.

Het schijnbaar vermogen (S) is het vermogen dat door de geleiders getransporteerd wordt naar de verbruikers. De grootte ervan wordt bepaald door de vectoriële som van het actief en het reactief vermogen. De eenheid is Voltampère [VA]

Daar de vermogensdriehoek rechthoekig is, kunnen we de formule van Pythagoras toepassen.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ [VA]}$$

*Voorbeeld toegepast op een stroomgroep*

Stel: op een stroomgroep staat vermeld: 100 kVA. Dat betekent dat het maximum **schijnbaar vermogen** 100 kVA is.

Als je nu een zuiver Ohmse belasting zou aansluiten, dan is er geen faseverschuiving en ook geen reactief vermogen. Het schijnbaar vermogen is dus gelijk aan het actief vermogen. Je kunt dus een belasting aansluiten van 100 kW maximum.

Als je echter een capacatieve of inductieve last aansluit, moet je rekening houden met de faseverschuivingshoek om het maximaal vermogen te berekenen.

## Arbeidsfactor

Het begrip arbeidsfactor geeft aan hoe het actief vermogen zich verhoudt tot het schijnbaar vermogen. Als we dit uitschrijven, komen we tot de vaststelling dat dit de cosinus is van de ingesloten hoek, die tevens de faseverschuivingshoek is.

$$\text{arbeidsfactor} = \frac{P}{S}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Met een eenvoudig rekenvoorbeeld kunnen we aantonen dat de arbeidsfactor invloed heeft op de kostprijs van een elektrische installatie.

Stel: een belasting heeft een totale vermogenswaarde van 100 kW. We sluiten deze belasting aan op een wisselspanning van 230 V.

*Geval 1: de arbeidsfactor bedraagt 0,8*

$$\begin{aligned} \text{actief vermogen} &= 100 \text{ kW} \\ \text{schijnbaar vermogen} &= \frac{\text{actief vermogen}}{\text{arbeidsfactor}} \\ &= \frac{100 \text{ kW}}{0,8} \\ &= 125 \text{ kVA} \end{aligned}$$

De stroom door de geleiders kunnen we hieruit bepalen:

$$\begin{aligned} I &= \frac{S}{U} \\ &= \frac{125 \text{ kVA}}{230 \text{ V}} \\ &= 543,48 \text{ A} \end{aligned}$$

*Geval 2: de arbeidsfactor is slechts 0,5*

$$\begin{aligned} \text{actief vermogen} &= 100 \text{ kW} \\ \text{schijnbaar vermogen} &= \frac{\text{actief}}{\text{arbeidsfactor}} = \frac{100 \text{ kW}}{0,5} = 200 \text{ kVA} \end{aligned}$$

De stroom door de geleiders kunnen we hieruit bepalen:

$$\begin{aligned} I &= \frac{S}{U} \\ &= \frac{200 \text{ kVA}}{230 \text{ V}} \\ &= 869,57 \text{ A} \end{aligned}$$

Hieruit kunnen we besluiten dat de stroom door de geleiders in het tweede geval veel groter is dan in het eerste geval. Het tweede geval zal dus dikkere geleiders vereisen, wat een kostprijsstijging betekent. Dat is ook de reden waarom elektriciteitsmaatschappijen eisen dat de arbeidsfactor een minimum van 0,8 bedraagt.

Het is mogelijk de arbeidsfactor te verbeteren. Men mag veronderstellen dat er in een installatie meer zuivere zelfinducties zijn dan zuivere capaciteiten. Het totale reactief vermogen zal dus van inductieve aard zijn. De grootte van deze vermogenscomponent kan men in dit geval verkleinen door capaciteiten parallel aan te sluiten over de zelfinducties.

*Een voorbeeld uit de praktijk*

Als er een grote werkplaats verlicht wordt met TL-verlichting, dan is dat een grote inductieve last, want elke armatuur heeft een smoorspoel (ballast). Door een condensator erover te plaatsen, wordt de inductantie gecompenseerd door een capacitantie. Vandaar ook de naam compensatiecondensatoren.

Veel voorkomende inductieve lasten zijn: elektromotoren, transformatoren, smoorspoelen,...

**1.2.3 Koeleenheid**

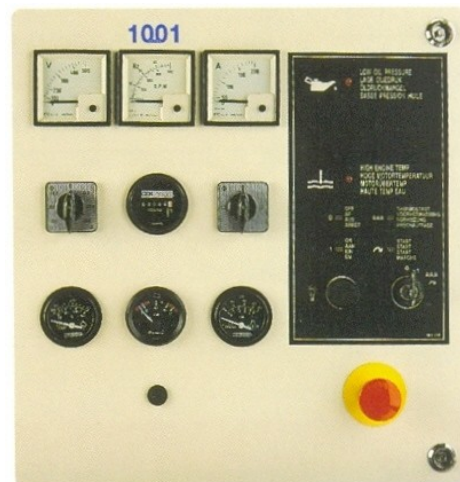
De koeleenheid [figuur 26] heeft een belangrijke taak: de temperatuur van de draaiende motor binnen de perken houden. Een waterpomp stuurt water doorheen het motorblok, waarna het hete water wordt afgekoeld in een radiator. Bij de radiator staat een ventilator die koude lucht tussen de koelvinnen blaast. Veelal wordt de afgevoerde warmte nuttig aangewend. Er kan immers een bedrijfshal mee verwarmd worden.



Figuur 26: koeleenheid (radiator)

**1.2.4 Bedieningspaneel**

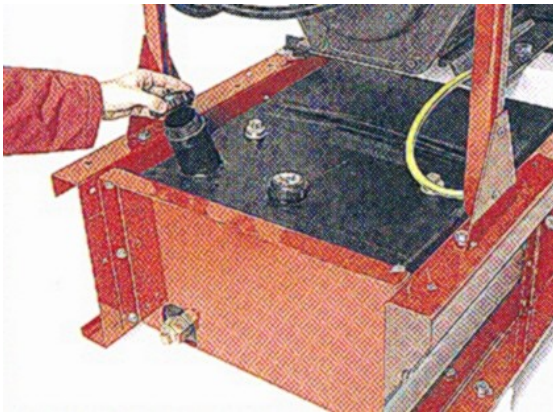
Het bedieningspaneel [figuur 27] dient om de stroomgroep op te starten en om verschillende grootheden te meten en weer te geven. Op het bedieningspaneel bevinden zich meerdere meetinstrumenten. Je kunt er o.a. spanning, stroomsterkte, temperatuur, frequentie, tankinhoud, oliedruk, aantal bedrijfsuren, ... op aflezen. De aan/uit knop (sleutelcontact) en noodstop mogen natuurlijk ook niet ontbreken.



Figuur 27: bedieningspaneel

### 1.2.5 Brandstoftank

Indien er een verbrandingsmotor gebruikt wordt, moet er een brandstoftank [figuur 28] voorzien worden. Bij kleine benzinegroepen hangt de voorraadtank bij de motor. Bij grotere groepen met dieselmotor geldt hetzelfde, maar soms plaatst men een afzonderlijke tank om een grotere hoeveelheid te kunnen opslaan, of uit veiligheidsoverwegingen. Uiteraard voldoen de tanks aan de strengste milieunormen. Een dubbelwandige tank dus, om lekkages te vermijden.



Figuur 28: brandstoftank

## 1.3 Kostprijs van een stroomgroep

Omwille van verschillende redenen plaatst men een stroomgroep. Soms omdat er geen zware aansluiting mogelijk is van de elektriciteitsmaatschappij. In dat geval wordt een stroomgroep geplaatst in plaats van een cabine. Dan is het mogelijk dat de kostprijs van een stroomgroep lager is dan die van een cabine. De plaatsing van een cabine is immers een zeer kostelijke operatie. Denk maar aan de vele graafwerken, boringen, de cabine zelf, kabels, betonnen palen, werkuren, ...

Een schema verduidelijkt wat economisch verantwoord is.

model (vermogen)	aankoopprijs <sup>1</sup>	huurprijs <sup>1</sup>	plaatsing cabine
60 kVA	€ 10.500	€ 550 / maand	} Voor de plaatsing van een cabine werd een algemene prijs gegeven
80 kVA	€ 12.250	€ 625 / maand	
100 kVA	€ 13.200	€ 750 / maand	

Voor de kostprijs van de plaatsing van een cabine, werd de WVEM gecontacteerd. Zij hebben mij een gemiddelde prijs toegestuurd voor een installatie van 160 kVA. De kostprijs is afhankelijk van vele factoren (vermogen, afstand tot het net, ...).

De prijs van de cabine zelf bedraagt € 31970. De aansluiting op het middelspanningsnet bedraagt € 9766. Samen wordt dit € 41736.

<sup>1</sup> De prijzen van de stroomgroepen zijn afkomstig van Dutry Power uit Roeselare (03/05/04).

Gezien de opgegeven vermogens niet gelijk zijn, is het niet mogelijk een degelijke prijsvergelijking te maken. Ik vermoed dat een stroomgroep gedurende enkele jaren de goedkoopste oplossing is. Op langere termijn echter wordt de cabine dan weer goedkoper want een stroomgroep vereist op regelmatige basis een onderhoudsbeurt. En daarbij komt nog dat de stroomgroep tijdens een revisie niet meer operationeel is, en tijdelijk moet vervangen worden door een andere.

## **1.4 Informatiefiche van een stroomgroep**

Een informatiefiche van een stroomgroep bevat alle technische gegevens. Zowel de mechanische (motor, koeling), elektrische (generator) als economische aspecten (verbruik van de motor) komen hier aan bod.

In bijlage is een informatiefiche bijgevoegd. Het is een vertaling van Engelse brochure. Zowel de vertaalde versie als het origineel werden bijgevoegd.

De prijs wordt slechts meegegeven als er specifiek naar gevraagd wordt. De hoofdreden hiervan is dat er een grote concurrentieslag is in die sector. Sommige bedrijven liggen dus op de loer om de prijzen van andere firma's in handen te krijgen om zo hun eigen prijzen te bepalen.

*Zie bijlage 1: 'informatiefiche stroomgroep'*

## 2 Praktische realisatie

### 2.1 Voorstelling

#### 2.1.1 Voorgeschiedenis

De stroomgroep in kwestie heeft reeds gewerkt als noodgroep in een houtzagerij (Leirman te Gistel). In geval van stroomtekort werd hij ingeschakeld. Ook als er slechts een klein verbruik was, werd de groep aangelegd, want toen lagen de twee grote stroomgroepen stil.

We kochten de machine aan in 1998. Bij aankoop was het bijhorende schakelbord en de uitlaat reeds afgevoerd als oud ijzer. De koelinstallatie was nog intact, maar de elektrische motor die de ventilator aandrijft, was defect.

De stroomgroep bestaat uit een Volvo dieselmotor, zescilinder. Twee dynamo's, een tussenschakelkast, drijfriemen, koelinstallatie met radiator en ventilator. Dit alles staat stevig verankerd op een chassis gemaakt uit IPE - balken.

Gegevens van de Volvo motor heb ik niet. Er hangt geen kenplaatje aan de motor. Enkel gietnummers konden uitsluitsel geven welk type motor het betreft. Daarvoor heb ik Volvo gecontacteerd, maar de motor is reeds te oud, zodat geen enkele van die nummers nog in een bestand voorkomen

Meer informatie over de vorige eigenaar:

*Zie bijlage 2: 'Historiek van Houtzagerij Leirman'*

#### 2.1.2 Enkele foto's

##### 2.1.2.1 Voorstelling stroomgroep



Figuur 29: stroomgroep



Figuur 30: Volvo motor



Figuur 31: dynamo



Figuur 32: dynamo's

### 2.1.2.2 Aanpassingswerken (mechanisch - elektrisch)

#### Mechanisch

De mechanische aanpassingswerken werden uitgevoerd tijdens de kerstvakantie. Ze omvatten het verplaatsen van de stroomgroep, het geschikt maken van een uitlaat en de montage ervan, het plaatsen van de radiator en het aanleggen van de waterbuizen.

Het verplaatsen van de stroomgroep had heel wat voeten in de aarde, wetende dat het geheel ongeveer 3 ton weegt. We tilden de stroomgroep op met twee hydraulische kriks om er dan metalen rollen onder te leggen. Met behulp van balken konden we het geheel voortduwen tot op de gewenste positie. Daar werden de rollen verwijderd en houten balken onder het chassis gelegd.

De originele uitlaat die altijd bij de stroomgroep behoorde, ontbrak bij aankoop. We hebben een afgedankte IVECO vrachtwagenuitlaat aangepast, zodat deze op de motor paste. Met aluminium rookkanalen hebben we de uitlaatbuis verlengd om zo tot buiten te komen. De gehele lengte van de uitlaat bedraagt ongeveer 8 meter en heeft een diameter van 9 cm.

De radiator was reeds bestaande. Enkel de motor voor de ventilator diende vervangen te worden. Uiteraard moesten ook de toevoer- en afvoerbuis aangepast worden. Het op maat brengen van de buizen deden we zelf, maar voor het laswerk konden we de hulp inroepen van een persoon die meer ervaring had. Na de montage kon de radiator opgevuld worden met koelwater.



Figuur 33: uitlaat



Figuur 34: montage uitlaat



Figuur 35: op maat brengen buizen



Figuur 36: lassen van de buizen



Figuur 37: montage buizen



Figuur 38: radiator



## Elektrisch

Tijdens de krokusvakantie werden elektrische aanpassingswerken uitgevoerd. Deze werken omvatten het bekabelen van de stroomgroep, het plaatsen van een schakelkast en het plaatsen van een hoofdschakelaar.

De kabels die de opgewekte spanning tot in de schakelkast brengen (XVB 4 x 25 mm<sup>2</sup>), zijn restanten van uitgevoerde elektriciteitswerken. Aangezien ze een maximum stroomsterkte van 200 A moeten kunnen vervoeren, is een doorsnede van 50 mm<sup>2</sup> geschikt. Daarvoor werden de geleiders 2 aan 2 verbonden. Er werden klemmen op aangebracht om de verbindingen op een veilige manier te kunnen maken. Daarvoor deden wij beroep op een speciale tang om de klemmen vast te zetten. De plaatselijke WVEM<sup>1</sup> vestiging heeft zo 'n tang in hun bezit en wij konden ze lenen. In de schakelkast worden de twee dynamo's in serie geplaatst. Het is een metalen kast waarin een pertinax<sup>2</sup> plaat is aangebracht. Daarop staan de klemmen om de meszekeringen te bevestigen. Vanaf de schakelkast vertrekken kabels (XVB 4 x 10 mm<sup>2</sup>) naar de hoofdschakelaar. Ook hier worden de geleiders 2 aan 2 samen verbonden. Vertrekkende van die laatste lopen er kabels naar de belasting.

Voor de werken werden volgende materialen gebruikt:

- kabel XVB 4 x 25 mm<sup>2</sup>
- bijpassende klemmen
- kabel XVB 4 x 10 mm<sup>2</sup>
- meszekeringen
- Voltmeter (0 - 50 V)
- Ampèremeter (0 - 400 A)
- metalen kast, afmetingen: 600 mm breed, 700 mm hoog, 200 mm diep.
- pertinax<sup>2</sup> plaat
- vierpolige hoofdschakelaar Merlin Gerin (125 A)
- kast Spelsberg 1 rij (18 modules)

Het is uiteraard belangrijk dat de juiste kabel (aantal geleiders, doorsnede van de geleiders) gebruikt wordt. Daarvoor ging ik ten rade bij verscheidene kabelproducenten. Zij stuurden mij een tabel waarmee het eenvoudig is om te bepalen wat de meest geschikte kabel is.

De tabel is onderverdeelt volgens de soort kabel, afhankelijk van hun specifieke eigenschappen.

***Zie ook bijlage 3: 'Tabel kabels en draad'***

---

<sup>1</sup> WVEM = West-Vlaamse ElektriciteitsMaatschappij

<sup>2</sup> pertinax = isolerende kunststof die men gebruikt als basisplaat in elektrische kasten.



Figuur 39: schakelkast



Figuur 40: klemmen en kabels



Figuur 41: hoofdschakelaar (Merlin Gerin)

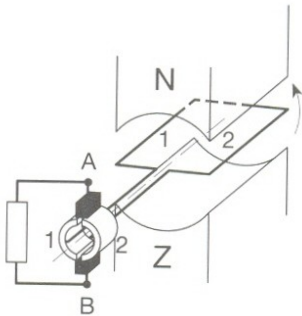


Figuur 42: Volt- en Ampèremeter (close-up)

## 2.2 De gelijkstroomgenerator of dynamo.

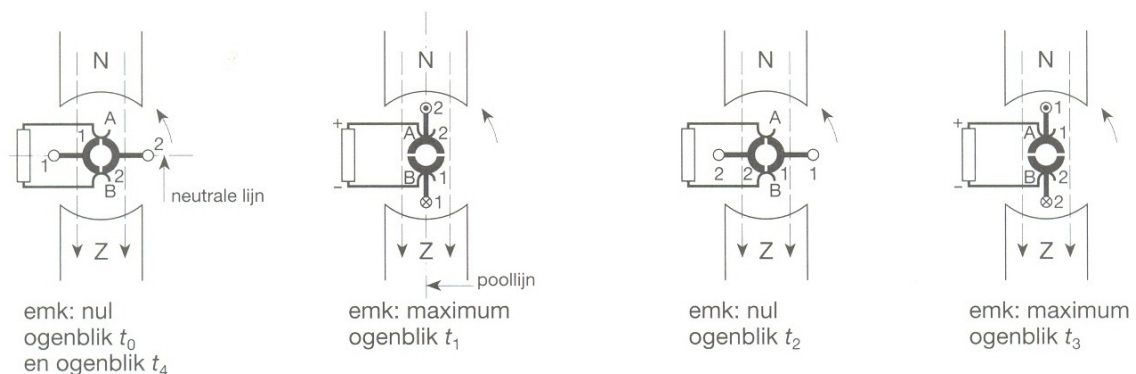
### 2.2.1 Principiële dynamo

Een principiële dynamo bestaat uit een winding die draait in een homogeen magnetisch veld. [figuur 43].



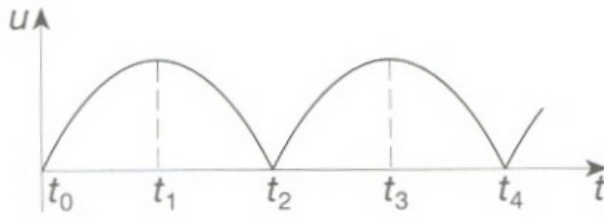
Figuur 43: principiële dynamo

De uiteinden van de winding worden elk vast verbonden aan een hardkoperen halve ring. De halve ringen vormen de opgewekte wisselspanning om tot gelijkspanning. Met de bijhorende figuur [figuur 44] is dit eenvoudig uit te leggen. Korte tijd na ogenblik  $t_0$  is de spoel de neutrale lijn gepasseerd. Vanaf dat moment wordt een spanning opgewekt. De stroom zal in geleider 1 in het blad vloeien, in geleider 2 zal hij uit het blad komen. Borstel A is dus positief en borstel B negatief. Op ogenblik  $t_1$  bereikt de spanning haar maximale waarde, want de snelheidsvector die loodrecht op de richting van de veldlijnen staat, is maximaal. Na ogenblik  $t_2$  wordt het contact tussen borstel A en lamel 2 verbroken en wordt een contact gemaakt tussen borstel A en lamel 1. Borstel B ondergaat dezelfde procedure. Het contact met lamel 1 wordt gemaakt, het contact met lamel 2 wordt verbroken. Ogenblik  $t_3$  toont dat de stroomzin van de stroom door de verbruiker dezelfde is als in ogenblik  $t_1$ . Globaal gezien blijft de polariteit dus gelijk.



Figuur 44: gelijkrichting

De gegenereerde spanning neemt geen sinusvorm aan, want hij is gelijkgericht door de halve ringen. We noemen het dus een gelijkspanning. Het is geen constante, maar een pulserende spanning. [figuur 45] De pulsatie kan verminderd worden door meerdere windingen in het magnetisch veld te laten draaien.



Figuur 45: pulserende gelijkspanning

## 2.2.2 Praktische dynamo

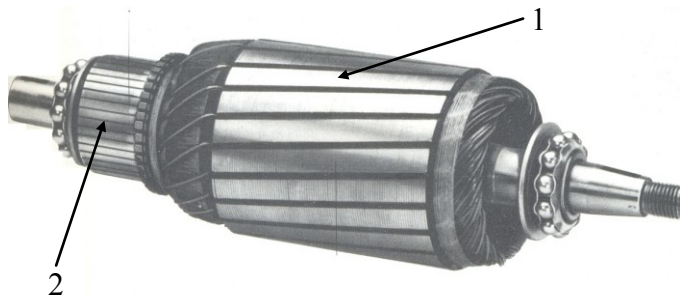
Net zoals bij de generator bestaat een praktische dynamo uit een rotor en een stator. Deze worden op zich uit verschillende onderdelen gemaakt.

### Rotor

De rotor [figuur 46] bestaat uit een collector of commutator en een anker.

Het anker (1) is een cilindervormige, gelammelleerde magnetische kern, waarin de windingen liggen. Hierin wordt dus de spanning gegenereerd.

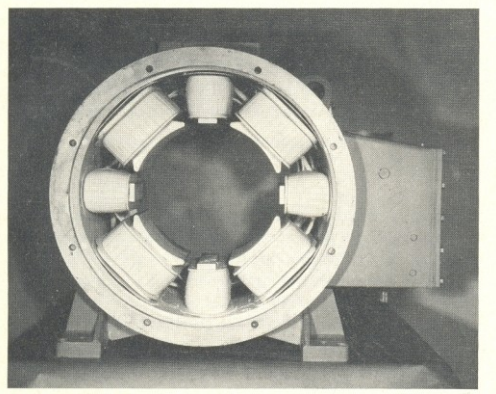
De collector (2) bestaat uit hardkoperen lamellen. Elke winding uit het anker is verbonden met zo'n lamel. De werking van de collector is gelijk aan die van de halve ringen bij de principiële dynamo.



Figuur 46: dynamo (rotor)

### Stator

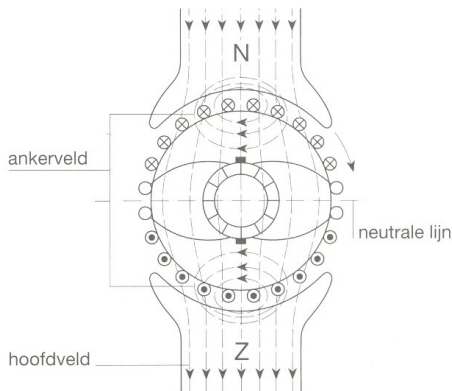
De stator of polenhuis is een gietijzeren frame met aan de binnenkant de polen. Elke pool bestaat uit een poolkern met een magneetspoel er rond. Door de magneetspoelen of bekrachtigingswikkelingen vloeit een gelijkstroom, de veldstroom genoemd. Zo ontstaat een magnetisch veld. De stator kan meerdere polenparen bezitten en meestal zijn er ook kleine hulppolen bijgevoegd. Het doel van de hulppolen wordt hieronder uitgelegd. [figuur 47]



Figuur 47: dynamo (stator)

*Doel van de hulppolen*

Als een generator een EMK opwekt en belast is, vloeit er een stroom door de ankerwikkelingen. Dit brengt een ankerreactie met zich mee. De ankerreactie omvat het verschijnsel dat een stroomvoerende geleider een magnetisch veld genereert. Daardoor worden de veldlijnen aan de ene kant gehinderd en aan de andere kant versterkt [figuur 48]. Dit brengt een verschuiving van de neutrale lijn teweeg, waaruit volgt dat de borstels op het verkeerde moment de contacten wisselen. Als de omschakeling te vroeg of te laat gebeurt zal de EMK niet de maximale waarde bereiken. De borstels moeten dus over een bepaalde hoek verdraaid worden zodat ze terug op de neutrale lijn liggen.



Figuur 48: ankerreactie

## 2.3 Kostprijsvergelijking

Daar een stroomgroep de taak van het elektriciteitsnet overneemt, is het raadzaam een ruwe schatting te maken op gebied van kostprijs. Daarvoor dient het rendement van het geheel berekend te worden.

- Het rendement van de dieselmotor bedraagt 42 %
- Het rendement van de in serie geschakelde gelijkstroomgeneratoren bedraagt 90 %.

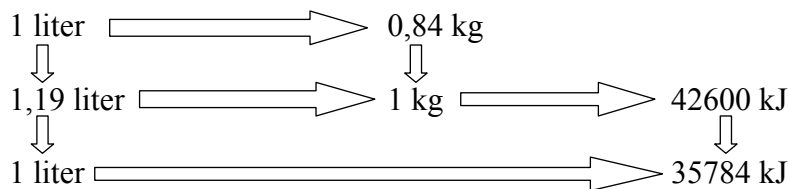
Het totale rendement wordt aldus:  $42 \% \cdot 90 \% = 37,8 \%$

Het lage rendement is te wijten aan de mechanische verliezen (wrijving), thermische verliezen (warmteverlies via uitlaatgassen, warmteverlies via koelwater) en de elektrische verliezen (ijzerverlies, koperverlies, koperverlies)

Een rendement van 37,8 % betekent: om 2 eenheden elektrische energie te verkrijgen moet men iets meer dan 5 eenheden energie toevoeren in de motor (brandstof).

Via brandstoffenhandelaars kom ik aan volgende gegevens van rode diesel  
 calorische waarde = 42600 kJ/kg  
 soortelijke massa = 0,84 kg/l  
 prijs = € 0,26/l (BTW exclusief)

Met een eenvoudige omrekening kunnen we bepalen wat de energiewaarde van een liter diesel is.



De verhouding tussen 1 kWh en 1 kJ is 3600

De energetische waarde van 1 liter diesel bedraagt dus 9,94 kWh

Voor één liter brandstof geldt:

€ 0,26  $\longrightarrow$  9,94 kWh

€ 0,0262  $\longrightarrow$  1 kWh

Om 1 kWh elektrische energie op te wekken moeten we

$$\frac{1}{0,378} = 2,65 \text{ kWh toevoeren in de motor via de brandstof.}$$

De kostprijs per kWh elektrisch vermogen is dus  $2,65 \text{ kWh} \cdot € 0,0262/\text{kWh} = € 0,0694/\text{kWh}$   
 Met de BTW (21 %) inbegrepen wordt dit  $1,21 \cdot € 0,0694 = € 0,084/\text{kWh}$  (elektrisch)

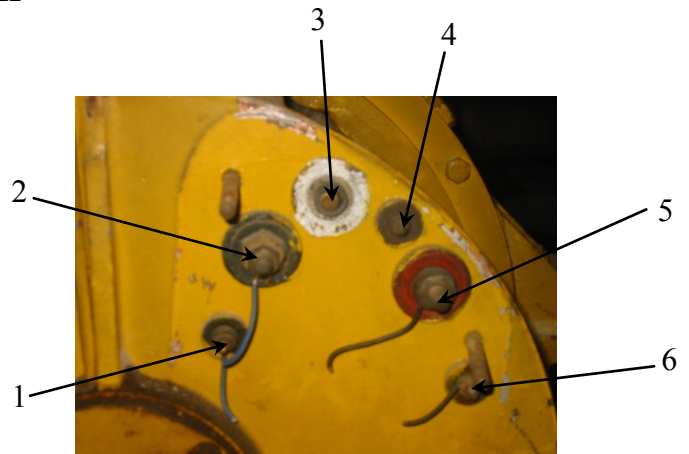
Dit is echter een zeer theoretische berekening, het rendement van motor en dynamo werden niet proefondervindelijk bepaald, mogelijks liggen deze lager.

Vergeleken met de prijs van de elektriciteitsmaatschappij (Luminus, prijzen zonder Kyoto- en energiebijdrage), ligt de kostprijs van de 'stroomgroep elektriciteit' tussen de prijs van het dagtarief en het nachttarief. Want dagtarief = € 0,128220/kWh en de prijs voor het nachtverbruik = € 0,063341/kWh. De prijs voor zuiver nachttarief<sup>1</sup> is € 0,049990/kWh

## 2.4 Bepalen van de klemmen



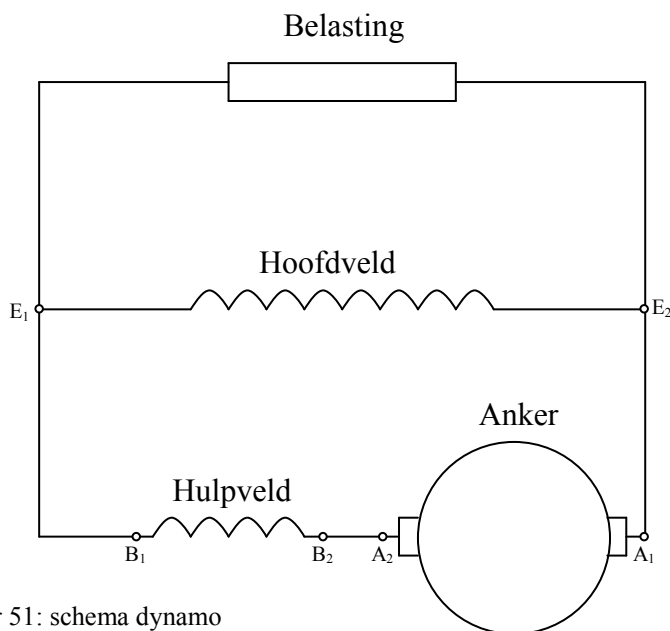
Figuur 49: klemmen



Figuur 50: klemmen

### Soort generator

Na het uitmeten van de klemmen van de dynamo's + een grondige blik binnenin komt volgend schema tot stand [figuur 51].



Figuur 51: schema dynamo

<sup>1</sup> zuiver nachttarief = speciaal tarief voor grote verbruiken 's nachts zoals elektrische verwarming, boilers. Dit vereist wel de plaatsing van een aparte tellerkast.

Daaruit kunnen we leren dat de dynamo een shuntgenerator is, want de veldwikkeling staat parallel geschakeld.

De dynamo heeft vier hoofdpolen en vier hulppolen.

## Ohmmeting

Er werden ohmmetingen uitgevoerd op beide dynamo's en dat leverde de volgende resultaten op:

dynamo 1

meting tussen klem	resultaat
1 & 4	32 Ω
1 & 6	44,0 Ω
4 & 6	11,7 Ω
2 & 5	0,2 Ω
2 & 3	0,1 Ω
3 & 5	0,2 Ω

dynamo 2

meting tussen klem	resultaat
1 & 4	32 Ω
1 & 6	44,7 Ω
4 & 6	11,9 Ω
2 & 5	0,2 Ω
2 & 3	0,1 Ω
3 & 5	0,2 Ω

De ohmmeting tussen de klemmen van het anker is niet echt betrouwbaar. De weerstand is immers afhankelijk van de positie van de collector ten opzichte van de borstels. Het meettoestel heeft een minimumbereik van 200 Ω en is dus niet echt geschikt om een weerstand met een 1000 maal kleinere waarde te meten.

Hieruit kunnen we het volgende besluiten:

Klem 1 wordt samen met klem 6 gebruikt om de volledige veldwikkeling te voeden.

Klem 1 wordt samen met klem 4 gebruikt om een gedeelte (75 %) van de veldwikkeling te voeden.

Tussen klem 2 en klem 5 wordt de opgewekte spanning gegenereerd, en worden de hulppolen gebruikt.

Tussen klem 2 en klem 3 wordt de opgewekte spanning gegenereerd, en worden de hulppolen niet gebruikt.

## Opmerking

Op de dynamo's hangt een moeilijk leesbaar kenplaatje waarop volgende gegevens vermeld staan:



Erregung: 12 V/0,8 A (erregung wijst op het veld)  
 95 V      200 A  
 19 kW  
 1500 - 1750 / min

Proefondervindelijk kon ik vaststellen dat deze gegevens niet correct zijn. Als we het veld bekrachtigen met een externe bron van 12 V (autobatterij), bekomen we een spanning die een veel kleinere waarde heeft dan het kenplaatje vermeldt. Als we de klemmen zo aansluiten zodat er zelfbekrachtiging (uitleg: zie volgende pagina) is, bekomen we een spanning van 125 V. Het toerental heeft een constante waarde van 1350 toeren per minuut.

Een mogelijke redenering is; dat de dynamo's dateren uit oorlogstijd (jaren '40) en dat ze gebruikt werden om militaire apparatuur te voeden. Na de oorlogsjaren werden de dynamo's achtergelaten, men heeft ze gereviseerd (herwikkeld) en opnieuw gebruikt, maar dan in industriële toepassingen zoals de Houtzagerij Leirman, waar de stroomgroep vandaan komt.

Ik kan dus niet met zekerheid zeggen wat het vermogen van de installatie is.

## 2.5 Bekrachtiging van het veld

De dynamo's waarvan sprake is, zijn zelfbekrachtigend. Dat wil zeggen dat de veldwikkeling gevoed wordt met de opgewekte spanning van het anker.

Theoretisch gezien is het echter niet vanzelfsprekend dat deze methode kan werken. Als een dynamo draait en het veld is niet bekrachtigd, dan kan hij geen spanning opwekken. Dus zou zelfbekrachtiging uitgesloten zijn, aangezien het veld bekrachtigd wordt door de opgewekte spanning.

Maar in de praktijk is de situatie anders. De spoelen die het magnetisch veld opwekken, bezitten steeds een kleine hoeveelheid restmagnetisme (remanent magnetisme) en daarmee wordt een kleine spanning opgewekt. Deze spanning staat over de klemmen van de veldwikkeling, dus zal er een kleine stroom door het veld vloeien. Deze stroom zorgt voor een stijging van het magnetisch veld, wat een toename van de EMK teweegbrengt. Als een soort sneeuwbaaleffect bouwt de spanning zich op. Het verschijnsel loopt totdat de magneten verzadigd zijn (volledig gemagnetiseerd dus).

## 2.6 Proceskarakteristieken

Voor het optekenen van de proceskarakteristieken diende de stroomgroep zowel belast als onbelast te draaien. Aangezien de definitieve belasting nog niet aanwezig was, hebben we een vervangende opstelling [figuur 52] gerealiseerd. Het is een voorlopige belasting bestaande uit twee elektrische kookfornuizen en twee elektrische kookplaten. Het geheel heeft een vermogen van ongeveer 20 kW. Met behulp van een schakelkastenverzameling [figuur 53] is het mogelijk de belastingseenheden apart in- en uit te schakelen.



Figuur 52: voorlopige belasting



Figuur 53: schakelkastenverzameling

Voor de metingen werd de XY-schrijver<sup>1</sup> van school gebruikt. Het toestel werd aangekoppeld aan de klemmen in de schakelkast. De karakteristieken konden slechts opgenomen van één dynamo, want de totale spanning (in serie geplaatste dynamo's) is te groot. Eerst werd een grafiek gemaakt van de spanning bij nullast. Daarna werd geleidelijk aan belasting aangelegd en was de spanningsdaling merkbaar. Telkens werd de stroom (DC Ampèremetertang), de spanning en het toerental van de dynamo's (mechanische toerenteller) gemeten.

*Zie bijlage 4: 'Verslag meting Paul Hemeryck'*

*Zie bijlage 5: 'Proceskarakteristieken'*

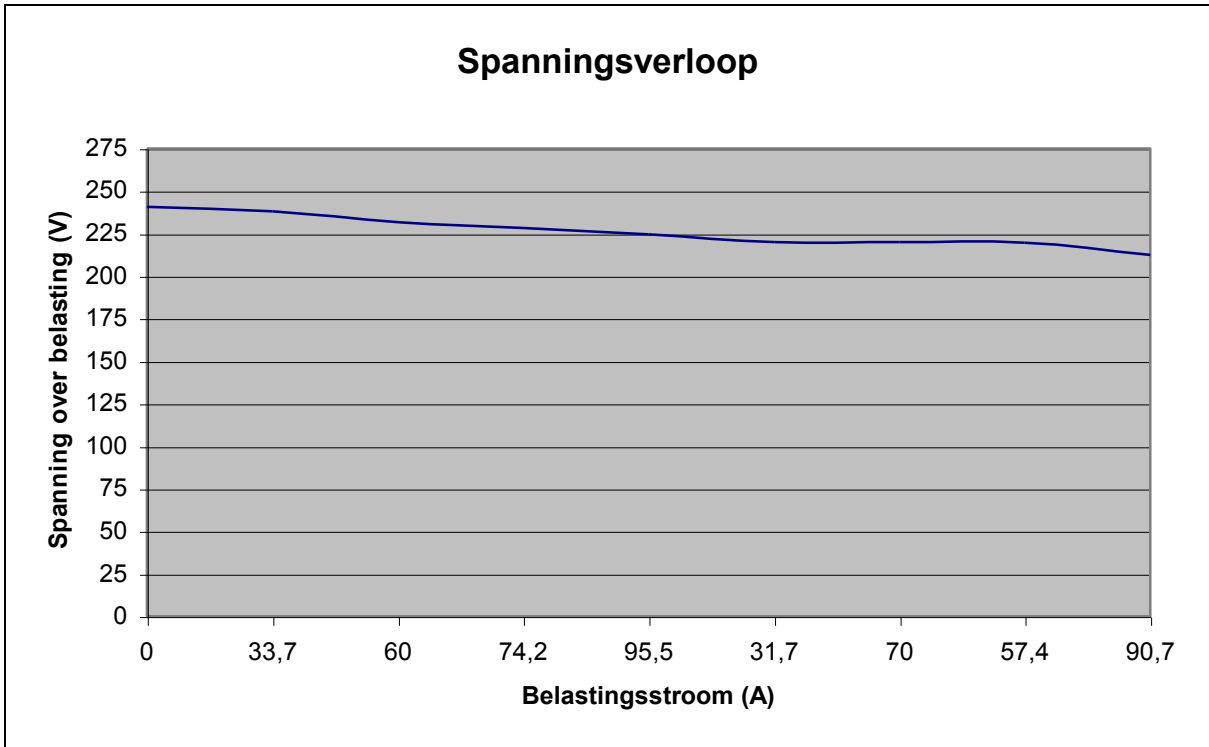
## 2.7 Verwerking meetresultaten

De meetresultaten in tabelvorm:

BELAST				
toerental dynamo	Spanning over de belasting		Stroom doorheen de belasting	
	minimum	maximum	minimum	maximum
1350/min	220 V	238 V	31,7 A	33,7 A
1350/min	219,6 V	231,8 V	57,4 A	60,0 A
1350/min	220,0 V	228,1 V	70,0 A	74,2 A
1350/min	212,6 V	224,5 V	90,7 A	95,5 A
ONBELAST				
1350/min	240,6 V		0 A	

Met de volgende grafiek kunnen we de spanningsdaling bij stijgende belastingsstroom duidelijk zien.

<sup>1</sup> XY-schrijver = toestel waarmee men door middel van een beweegbare stift grafieken kan optekenen, maar waaraan enkel elektrische grootheden (spanning, stroom) kunnen aangesloten worden. Het is dus bijvoorbeeld niet mogelijk hiermee rechtstreeks een trekdiagram op te tekenen.



De spanningsdaling heeft een waarde van ongeveer 28 V. Zowel belast als onbelast draait de motor met 1150 toeren per minuut. De dynamo's draaien met 1350 toeren per minuut.

Met deze gegevens kan men onder meer de transmissieverhouding tussen de riemschijven berekenen.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

$$\frac{1150/\text{min}}{1350/\text{min}} = 0,85$$

## 2.8 De spanningsregelaar

### 2.8.1 Oorzaak van de spanningsdaling

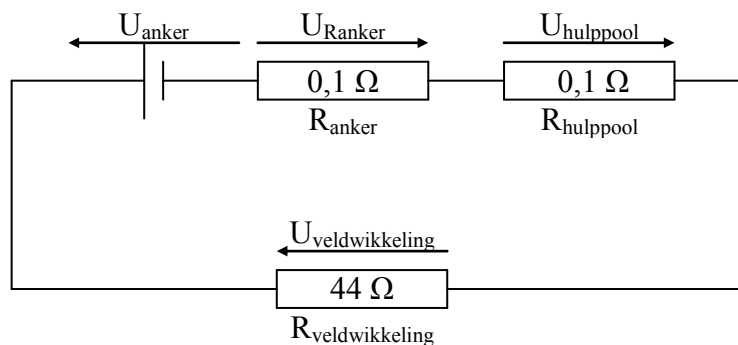
De spanningsregelaar waarvan sprake is, dient om de stroom door de veldwikkeling van de dynamo's te regelen zodat de opgewekte spanning constant blijft.

Proefnemingen hebben aangetoond dat de spanning daalt bij stijgende belasting.

Er zijn twee oorzaken van deze spanningsdaling:

- Er is een spanningsval over de inwendige weerstand van het anker (= weerstand van de wikkelingen, collector en koolstofborstels)
- Als de spanning over de belasting daalt, daalt ook de spanning over het veld. Dit heeft als gevolg dat het magnetisch veld verzwakt en dat de opgewekte spanning dus daalt, wat op zich terug een spanningsdaling over het veld betekent. De hele cyclus wordt opnieuw doorlopen.

*Geval 1: geen belasting*



Figuur 54: schema zonder belasting

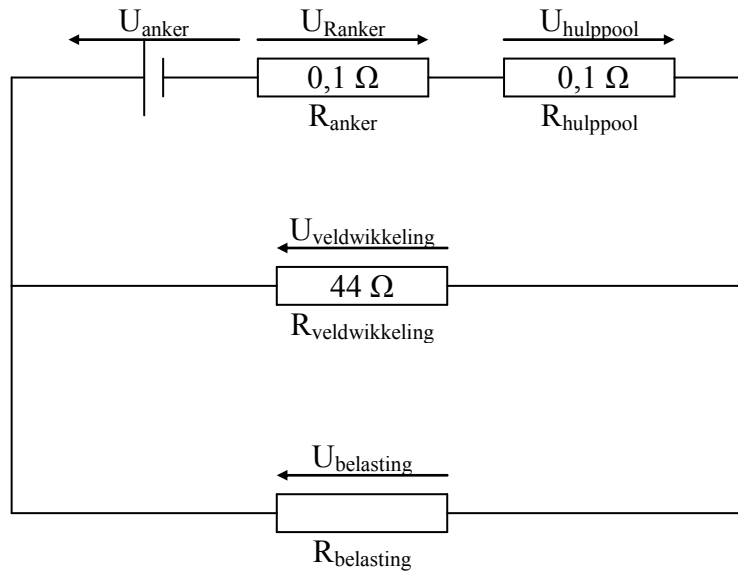
Met een berekening bepalen we de spanningsval over de inwendige weerstand van het anker en de hulppool. Volgens de stroomwet geldt in een serieketen: de stroom door alle in serie geschakelde weerstanden is gelijk. Met dit gegeven kunnen we aan de slag. Deze stroom (de bekrachtigingsstroom) is namelijk bekend en bedraagt 2,85 A.

$$\begin{aligned}
 U_{\text{Ranker}} &= I \cdot (R_{\text{Ranker}} + R_{\text{hulppool}}) \\
 &= 2,85 \text{ A} \cdot (0,1\Omega + 0,1\Omega) \\
 &= 0,774 \text{ V}
 \end{aligned}$$

De spanningsval bedraagt dus 0,744 V.

De waarde van de spanning over de klemmen van 1 dynamo bedraagt dus  $125 \text{ V} - 0,774 \text{ V} = 124,226 \text{ V}$ . De spanning over de belasting bedraagt dan  $2 \cdot 124,226 = 248,45 \text{ V}$

Geval 2: wel belasting (belastingsstroom 90 A)



Figuur 55: schema met belasting

Terug wensen we de spanningsval over de inwendige weerstand en de hulppool te kennen. Maar in geval van belasting is er een gemengde schakeling. De stroom door de inwendige weerstand en de hulppool is nu de som van de bekrachtigingsstroom en de belastingsstroom. Het wordt dus:

$$\begin{aligned} I_{\text{Ranker}} &= I_{\text{veld}} + I_{\text{last}} \\ &= 2,85 \text{ A} + 90 \text{ A} \\ &= 92,85 \text{ A} \end{aligned}$$

Hieruit kunnen we terug de spanningsval berekenen.

$$\begin{aligned} U &= I \cdot R_{\text{Ranker}} \\ &= 92,85 \text{ A} \cdot 0,2 \Omega \\ &= 18,57 \text{ V} \end{aligned}$$

De spanningsval bedraagt dus 18,57 V

Hieruit volgt dat de klemspanning over één dynamo  $125 - 18,57 \text{ V} = 106,43 \text{ V}$  bedraagt. De spanning over de belasting bedraagt dus  $2 \cdot 106,43 \text{ V} = 212,86 \text{ V}$

## 2.8.2 *Verschil tussen sturing en regeling*

Sturing houdt geen rekening met uitwendige factoren die de gestuurde grootte beïnvloeden. ‘open circuit’

Voorbeeld: Een motor wordt gestuurd met een potentiometer. Als de potentiometer op stand 3 staat, draait de motor met 1000 toeren per minuut. Als hij op stand 5 staat, draait hij met 750 toeren per minuut.

Als de motor belast wordt, zal het toerental dalen, doch de potentiometer duidt nog steeds de vermelding 5 = 750 toeren per minuut aan.

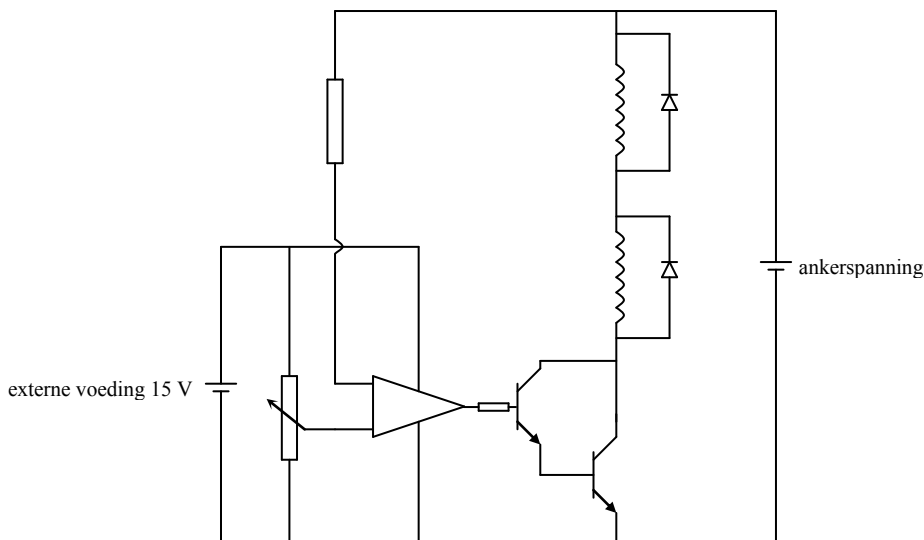
Bij een geregeld systeem is er een terugkoppeling. Dat wil zeggen dat de fysische grootte gemeten wordt en terug naar de ingang wordt gekoppeld.  
'gesloten circuit'

Voorbeeld: Een oven moet verwarmd worden tot 200°C. Via een draaiknop wordt de weerstand gestuurd. Als hij op stand 2 staat, warmt de oven tot 200°C. Als we nu de deur openen, daalt de temperatuur. Maar er is een thermostaat aanwezig die aangeeft hoe groot de temperatuur is in de oven. Via een terugkoppeling weet de regelininstallatie dat de temperatuur daalt. De regelaar moet dus meer stroom door de weerstand laten vloeien om de temperatuur weer op pijl te krijgen.

Een geregeld systeem houdt dus wel rekening met de uitwendige factoren.

## 2.8.3 Schakeling van de regelaar

### 2.8.3.1 Schema



Figuur 56: schema spanningsregelaar

### 2.8.3.2 De transistor

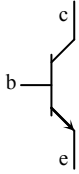
#### Opbouw

Een transistor bestaat uit drie lagen van halfgeleidermateriaal. Deze drie worden verbonden door middel van twee juncties. Het middelste laagje is steeds dunner dan de twee andere, en is vervaardigd uit verontreinigd materiaal. De twee buitenste kristallen zijn gemaakt van sterk verontreinigd materiaal. Aan de juncties ontstaat een sperlaag.

## Soorten transistoren

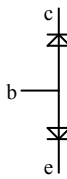
- NPN transistor

symbool



Figuur 57: NPN transistor

Denkbeeldig is een NPN transistor dus opgebouwd als volgt:

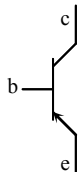


Figuur 58: NPN denkbeeldig voorgesteld

Uitleg: het zijn net twee dioden die via de anodes verbonden zijn met elkaar, met een extra aftakking die de basis vormt. De ene kathode is de collector, de andere is de emitter. In werkelijkheid is dit echter geen transistor.

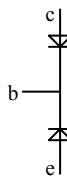
- PNP transistor

symbool



Figuur 59: PNP transistor

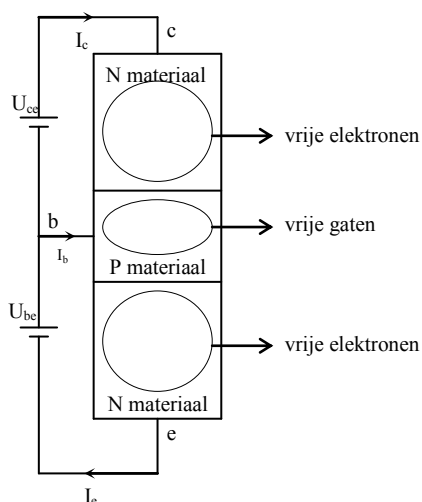
Denkbeeldig is een PNP transistor dus opgebouwd als volgt:



Figuur 60: PNP denkbeeldig voorgesteld

Uitleg: het zijn net twee diodes die via de kathodes aan elkaar zijn verbonden, samen met nog een extra aftakking (de basis). De ene anode is de collector, de andere de emitter. In werkelijkheid is dit echter geen transistor.

## Werking van een transistor



Figuur 61: werking transistor (NPN)

Aan de hand van bovenstaande figuur [figuur 61] leg ik de werking van een transistor uit. Het is een NPN transistor, maar voor een PNP transistor is de uitleg gelijklopend.

Als we de spanning  $U_{be}$  aansluiten, dan worden de vrije elektronen uit het onderste N materiaal onder invloed van de elektronen uit de bron afgestoten. De vrije elektronen worden dus eigenlijk naar het P materiaal geduwd. Daardoor verkleint de sperlaag tussen de twee laagjes, en vloeit de stroom  $I_b$  door de onderste twee laagjes.

Als we nu ook de spanning  $U_{cb}$  aanleggen, dan worden de vrije elektronen uit het bovenste laagje aangetrokken. Er zal nu een stroom  $I_c$  vloeien, dwars door de drie laagjes heen. Slechts een klein percentage van de elektronen zal zich via de basis terug naar de bron begeven. De stroom  $I_c$  is dus veel groter dan de stroom  $I_b$ . De stroom  $I_e$  is de som van  $I_b$  en  $I_c$ .

## Transistor in geleiding

Een transistor kan als schakelaar en als versterker gebruikt worden. Om een transistor in geleiding te krijgen moet er een spanning van ongeveer 0,6 V (siliciumtransistor) of 0,3 V (germaniumdiode) tussen de basis en de emitter staan.

De versterkingsfactor is de verhouding tussen de collectorstroom en de basisstroom. De aanduiding  $h_{FE}$  betekent: gelijkstroomversterkingsfactor (met  $h = h$ -factor,  $F = forward$ ,  $E = Gemeenschappelijke Emitter Schakeling$ )

voorbeeld: Een transistor heeft een versterkingsfactor van 10. De basisstroom bedraagt 15 mA. De stroom door de collector zal dus 150 mA bedragen.

## Testschakeling

- Algemene uitleg

De testschakeling is een gemeenschappelijke emitter schakeling (GES). Die schakeling wordt ook het meest gebruikt. In de schakeling is een lamp opgenomen, zodat de versterkende eigenschap van de transistor ook visueel waarneembaar is. De gehele schakeling is op een



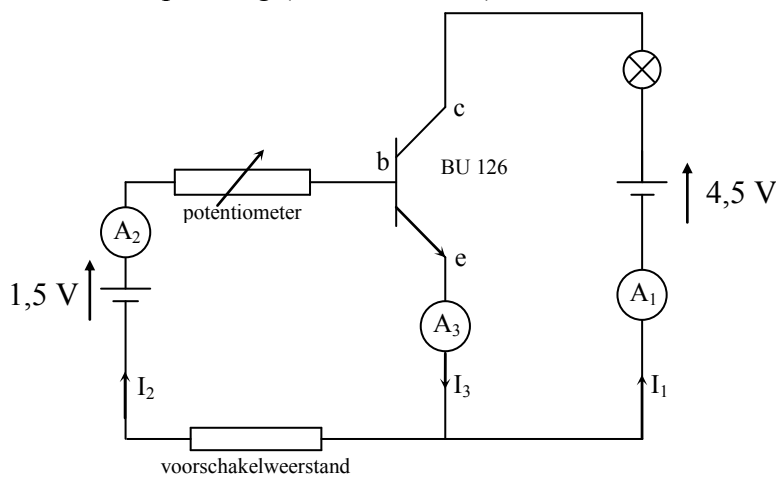
plankje bevestigd. Enkel de voorschakelweerstand en de potentiometer worden afzonderlijk verbonden. De spanningsbronnen worden met kroonsteentjes verbonden.

noot: de transistor (BU 126) is een vermogentransistor. Normaalgezien moet hij op een koelvin gemonteerd worden. Maar in mijn geval staat er een spanning van 4,5 V over de collector en daardoor vloeit slechts een kleine stroom door de transistor en ontwikkeld hij maar een klein vermogen. Dat wil zeggen dat hij slechts een geringe warmte afgeeft, en hij zeker niet kan verbranden.

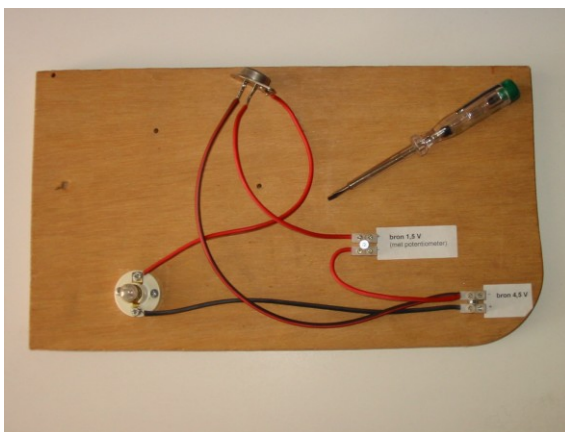
- Databoekgegevens van de gebruikte transistor (BU 126)

***Zie bijlage 6: 'datablad transistor BU 126'***

- Meetopstelling (schema en foto)



Figuur 62: schema testschakeling



Figuur 63: foto testschakeling

• Meetresultaten

Voorschakel weerstand	Potentiometer (Ω)	$U_{lamp}$ (V)	$U_{BE}$ (V)	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	Licht	
211 Ω	0	3,60	0,67	39,1	3,3	42,5		
	158	1,70	0,66	25,5	1,9	26		
258 Ω	0	3,40	0,68	38,1	2,7	38,2		
	158	1,33	0,66	22,4	1,7	23,2		
385 Ω	0	1,57	0,66	24,7	1,9	25,2		nauwelijks merkbaar
	158	0,76	0,65	16,7	1,3	17,6		
986 Ω	0	0,14	0,64	8,3	0,7	9	geen	
	158	0,10	0,63	6,9	0,6	7,6		
3,2 kΩ	0	21,7	0,611	1,902	0,243	2,13		
	158	20,4	0,601	1,790	0,232	2,05		
34,9 kΩ	0	0	0,52	0	0,025	0,093		
	158	0	0,51	0	0,024	0,093		

$I_1$  = stroom gemeten tussen de bron (4,5 V) en de lamp = stroom door de lamp = stroom tussen de lamp en de collector.

$I_2$  = stroom gemeten tussen de bron (1,5 V) en de basis van de transistor.

$I_3$  = stroom gemeten tussen de emitter van de transistor en de bron (4,5 V)

• Verwerking van de meetresultaten

- We kunnen checken of de versterkingsfactor wel correct is. Dit kan met de

formule: 
$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

Als we meerdere malen resultaten invullen uit de tabel, merken we echter dat de  $h_{fe}$  waarde geen 15 bedraagt, maar varieert van 11 tot 13. Dit is echter geen uitzondering, want er is een grote tolerantie op de  $h_{fe}$  waarde van een transistor. De ‘spreiding’ genoemd.

- Verder kunnen we de emitterstroom even nakijken. Die zou moeten gelijk zijn aan de som van de basisstroom en de collectorstroom.

$$I_e = I_b + I_c$$

Ook hier vullen we meerdere waarden in. Deze waarden blijken wel te kloppen in alle gevallen, mits een geringe fout. (nauwkeurigheid van een meettoestel, inwendige weerstand meetsnoeren,...)

### 2.8.3.3 De operationele versterker

#### Theoretische uiteenzetting

Een operationele versterker heeft twee ingangen en één uitgang. De min- ingang is de inverterende ingang, de plus- ingang de niet-inverterende ingang. Aan de uitgang kan men een spanning meten die een grootte heeft van

$$U_{uit} = A_0 (U_2 - U_1)$$

hierin is  $A_0$  de versterkingsfactor

Een operationele versterker zit steeds verwerkt in een IC (geïntegreerde circuit). De schakeling van een opamp is zeer ingewikkeld. Het is een aaneenschakeling van vele transistoren. Aan het IC zitten meer aansluitpinnen dan de opamp bezit. Een bijhorend datablad kan meer informatie geven over de inwendige schakelingen en de aansluitpinnen.

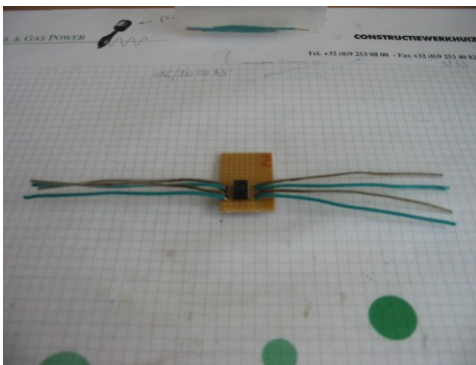
## Databoekgegevens van de IC

**Zie bijlage 7: 'datablad IC 741'**

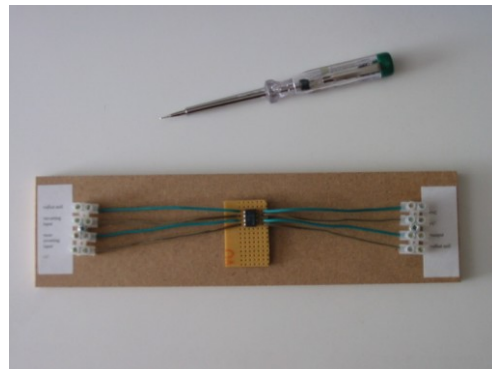
## Testschakelingen

### *Algemene uitleg*

De IC werd op een printplaat gesoldeerd [figuur 64], samen met acht aansluitdraden. Vervolgens werd dit geheel vastgezet op een plankje van MDF. Om de aansluitingen op een eenvoudige manier tot stand te kunnen brengen werden kroonsteentjes gemonteerd. Dit ook om te voorkomen dat de gesoldeerde draden los zouden komen. [figuur 65]



Figuur 64: IC op printplaat gesoldeerd



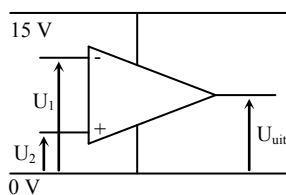
Figuur 65: testschakeling op plankje

### *Schakeling 1: comperator*

- Uitleg

Een comperator vergelijkt de ingangsspanning ( $U_2$ ) met de referentiespanning ( $U_1$ ). De uitgangsspanning is gelijk aan de voedingsspanning als de ingangsspanning groter is dan de referentiespanning. De uitgangsspanning wordt nul als de ingangsspanning kleiner is dan of gelijk aan de referentiespanning.

- Meetopstelling (schema)



- Meetresultaten

Geval 1

$U_1 = 1,48 \text{ V}$   
 $U_2 = 4,43 \text{ V}$   
 $U_{\text{uit}} = 14,38 \text{ V}$

Geval 2

$U_1 = 4,43 \text{ V}$   
 $U_2 = 1,48 \text{ V}$   
 $U_{\text{uit}} = 1,36 \text{ V}$

- Verwerking van de meetresultaten

In geval 1 is de uitgangsspanning 14,38 V. Theoretisch gezien had dit 15 V moeten zijn, maar er ontstaat steeds een spanningsval over het IC, waardoor de uitgangsspanning iets lager ligt dan de verwachte waarde.

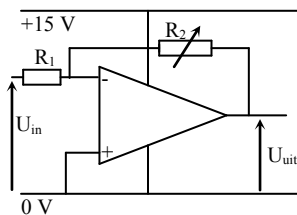
In geval 2 had de spanning 0 V moeten zijn, maar dat is niet zo. De verklaring hiervan weet ik niet.

*Schakeling 2: inverterende versterker*

- Uitleg

Een inverterende versterker versterkt het ingangssignaal en inverteert het.

- Meetopstelling (schema)



- Meetresultaten

Geval 1

$U_{\text{in}} = 1,48 \text{ V}$   
 $R = 0 \Omega$   
 $U_{\text{uit}} = 1,51 \text{ V}$

Geval 2

$U_{\text{in}} = 1,48 \text{ V}$   
 $R = 4,2 \text{ k}\Omega$   
 $U_{\text{uit}} = 14,12 \text{ V}$

- Verwerking van de meetresultaten

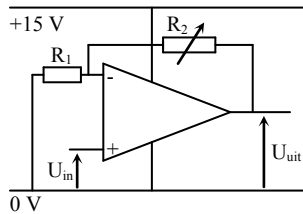
Naarmate de weerstand (potentiometer) toeneemt, wordt de uitgangsspanning meer versterkt.

*Schakeling 3: niet-inverterende versterker*

- Uitleg

Een niet-inverterende versterker versterkt het ingangssignaal.

- Meetopstelling (schema)



- Meetresultaten

Geval 1

$U_{in} = 1,48 \text{ V}$   
 $R = 0 \Omega$   
 $U_{uit} = 13,1 \text{ mV}$

Geval 2

$U_{in} = 1,48 \text{ V}$   
 $R = 4,2 \text{ k}\Omega$   
 $U_{uit} = 14,11 \text{ V}$

- Verwerking van de meetresultaten

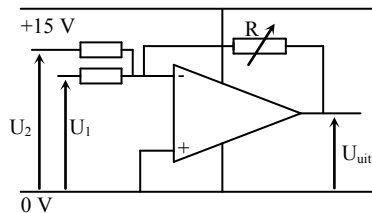
Naarmate de weerstand (potentiometer) toeneemt, wordt de uitgangsspanning meer versterkt.

*Schakeling 4: somversterker*

- Uitleg

Een somversterker telt de twee ingangsspanningen op en versterkt ze. Het uitgangssignaal is ook geïnverteerd.

- Meetopstelling (schema)



- Verwerking van de meetresultaten

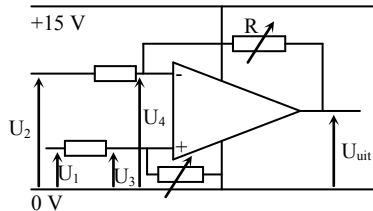
Dit is in principe gelijkaardig aan de inverterende versterker. Enkel de spanningen worden opgeteld.

*Schakeling 5: verschilversterker*

- Uitleg

Een verschilversterker inverteert ééningangssignaal en telt het dan op met het andereingangssignaal.

- Meetopstelling (schema)



- Meetresultaten

$$U_1 = 1,46 \text{ V}$$

$$U_2 = 4,32 \text{ V}$$

$$U_3 = 1,34 \text{ V}$$

$$U_4 = 1,93 \text{ V}$$

$$U_{\text{uit}} = 1,92 \text{ V (beide potentiometers maximaal)}$$

$$U_{\text{uit}} = 2,00 \text{ V (beide potentiometers minimaal)}$$

- Verwerking van de meetresultaten

Naarmate de weerstand toeneemt, wordt de uitgangsspanning meer versterkt.

Opmerking: Zowel voor de proefopstelling van de transistor als van de opamp werden er weerstanden gebruikt. Om minder tijd te verliezen is het aangeraden niet telkens de waarde van een weerstand te meten. Het is immers mogelijk de waarde te bepalen via de gekleurde ringen die meestal op de weerstand gedrukt staan. Daarvoor wordt een tabel gebruikt waarmee de betekenis van elke ring duidelijk wordt. De werkwijze staat er ook bij vermeld, samen met een illustrerende voorbeeld.

**Zie bijlage 8: 'tabel kleurcode'**

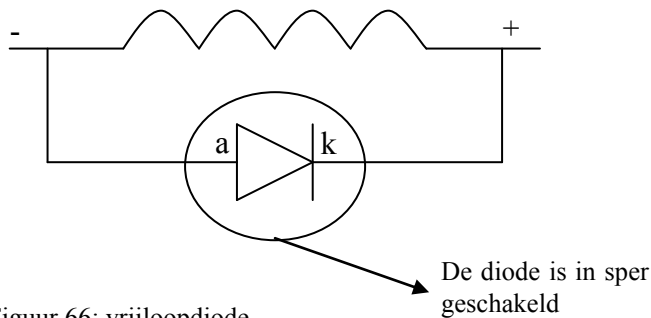
### 2.8.3.4 De vrijloopdiode

Een vrijloopdiode is een diode die parallel op een inductieve last wordt geplaatst. [figuur 66] Het doel van een vrijloopdiode is: vonkvorming vermijden bij het uitschakelen van de inductieve last.

Als je een inductieve last die op spanning staat, onderbreekt, ontstaat er een grote vonkvorming. Dit komt door het hoge zelfinductief karakter van de last. Met zelfinductie wordt bedoeld dat een inductieve last altijd zijn ontstaansoorzaak tegenwerkt. Als je een spoel op spanning brengt, zal de spoel dit tegenwerken. Als je een spoel onderbreekt, werkt hij dit tegen door een spanning op te wekken tegengesteld aan de aangesloten spanning. Vandaar de

vonkvorming. Als er echter een diode over de spoel staat, wordt deze grote stroom afgeleid en terug naar de spoel gestuurd. De vrijlooptdiode moet wel in sper geschakeld zijn, want anders wordt de spoel overbrugd.

In het geval van de spanningsregelaar wordt de stroom door de veldwikkeling geregeld door een transistor. Als de spanning over de basis plots zou wegvallen, wordt de transistor als een open schakelaar beschouwt. Aangezien de kring onderbroken wordt en de veldwikkeling inductief is, zal er dus een grote zelfinductiespanning ontstaan die vonkvorming tot gevolg heeft. Moest er geen diode aanwezig zijn, zou de transistor dus beschadigd raken.



Figuur 66: vrijlooptdiode

## 2.8.4 Uitleg

De versterker wordt gebruikt om de gemeten spanning te vergelijken met een referentiespanning. Wanneer de gemeten spanning daalt, komt aan de uitgang van de versterker een grotere spanning te staan. Die spanning stuurt een transistor aan (in feite twee transistoren in Darlington geschakeld). De transistor zal bij een stijgende basisspanning een grotere stroom door de veldwikkeling laten vloeien. Het omgekeerde gebeurt wanneer de gemeten spanning groter is dan de referentiespanning. We moeten een afzonderlijke voeding voorzien. Dit om een constante referentiespanning te garanderen, en om de IC te voeden. We installeren een voeding van 15 V (voedingsspanning IC). De gemiddelde gemeten spanning moet uiteraard ook een grootte van ongeveer 15 V hebben, want als hij een waarde van 22 V heeft, zou de transistor voortdurend de maximale stroom door de veldwikkeling sturen. Met een potentiometer realiseren we een spanningsdeling, zodat de spanning 15 V bedraagt.

## 2.8.5 Bepalen van de componenten

- Vrijlooptdiodes

Over de twee veldwikkelingen wordt telkens een vrijlooptdiode geplaatst, ter bescherming van de elektronische schakelingen van de spanningsregelaar.

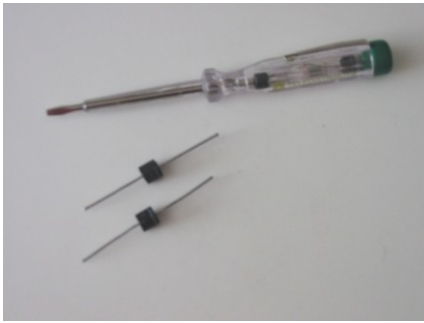
De sperspanning over de diode bedraagt ongeveer 125 V

De doorlaatstroom is gelijk aan de bekrachtigingsstroom en is dus 2,85 A

Na raadpleging van een catalogus, bleek de volgende diode het meest geschikt:

Twee diodes van 125 V, 6 A kostprijs € 0,50 per stuk. [figuur 67]

***Zie bijlage 9: 'datablad diode P600d'***



Figuur 67: diodes (P600d)

- Transistoren

Omdat ik reeds heel wat transistoren bezat van het type BU 126 [figuur 68], werden deze gebruikt. De  $h_{FE}$  waarde van één transistor bedraagt 15. Door twee transistoren in Darlington<sup>1</sup> te schakelen, mag men echter de twee  $h_{FE}$  waarden vermenigvuldigen. De totale waarde wordt dus  $15 \cdot 15 = 225$ .

***Zie bijlage 6: 'datablad transistor BU 126'***



Figuur 68: transistoren (BU 126)

- Operationele versterker

Eigenlijk kon deze titel gerust IC<sup>2</sup> zijn, want een operationele versterker kun je niet los kopen, het zit altijd verwerkt in een IC.

Ik maak gebruik van een LM 741 IC. Dat is een IC die in het algemeen het meest gebruikt wordt, voor allerlei toepassingen

***Zie bijlage 7: 'datablad IC 741'***

<sup>1</sup> Darlington-schakeling = schakeling met twee transistoren waarbij de basis van de tweede transistor gekoppeld is aan de emitter van de eerste transistor, en de waarbij de collectoren van beiden aan elkaar verbonden zijn.

<sup>2</sup> IC = integrated circuit = geïntegreerde schakeling, behuizing waarin meerdere schakelingen verwerkt zijn (in minuscule formaat)



## 2.8.6 *Kostprijs van de schakeling*

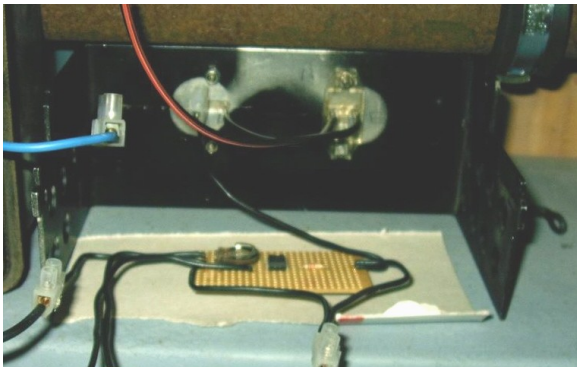
Omschrijving	aantal	kostprijs (€)	lijntotaal (€)
printplaat	1	1,00	1,00
diode	2	0,50	1,00
IC	1	0,40	0,40
montageset transistor	2	0,40	0,80
<b>totaal</b>	<b>6</b>		<b>3,20</b>

## 2.8.7 *Assemblage van de schakeling*

Het IC werd op een printplaat gesoldeerd.

De transistoren werden op een koelvin gemonteerd. Daarvoor werd telkens gebruik gemaakt van een montageset. De montageset bevat een mica plaatje, nylon buisjes, boutjes en moertjes en een aansluitklem. De nylon buisjes en het mica plaatje dienen om de collector volledig te isoleren en zo kortsluiting te voorkomen. Met de aansluitklem is het eenvoudiger om de verbinding met de collector (behuizing) te maken.

De vrijlooptiodes worden verbonden (in sper geschakeld) aan de klemmen van de veldwikkelingen.



Figuur 69: geassembleerde schakeling

## 2.8.8 *Testen van de schakeling*

Op woensdag 2 juni 2004 werd de schakeling uitgetest. Eerst werd gecontroleerd bij nullast, daarna bij vollast. De late uitvoering van het experiment heeft te maken met mechanische panne van de waterpomp. De rollagers van de pomp waren niet meer voldoende gesmeerd, waardoor ze vastliepen. Na verwijdering van de riemen kon de pomp open om dan de kapotte lagers te verwijderen. Het duurde een tijdje vooraleer de nieuwe lagers binnen waren. Na de montage ervan, kon de laatste proefneming van start gaan. Het experiment steunde hoofdzakelijk op veronderstellingen, omdat ik niet zeker was over de werking van de schakeling, en ook niet erg veel kennis heb van elektronische schakelingen. Na een eerste test bleek de schakeling niet te werken. De veldwikkelingen werden met de maximale stroom gestuurd, want de transistoren waren volledig gesloten. Er was dus een te grote basisstroom. Door een extra voorschakelweerstand tussen de uitgang van de IC en de basis te plaatsen,

werd de stroom beperkt. Er werd ook een extra weerstand aangebracht in serie met de potentiometer, dit om nauwkeuriger te kunnen afregelen. Na meerdere aanpassingen bleek de schakeling en zijn werking meer en meer aan mijn verwachtingen te voldoen. Enkel één probleem stelde zich nog: de regelaar werkte tot een spanning van 180 V. Bij hogere spanning liet hij het afweten en varieerde de spanning opnieuw. Mogelijks moet de gemeten spanning in een bepaald gebied rond de referentiespanning liggen, en werkt de schakeling niet als de spanning dit gebied verlaat.

### ***2.8.9 Evaluatie werking***

Na meerdere proefnemingen bleek de schakeling uitstekend te werken, echter niet bij de gewenste spanning van 220 V, maar bij een spanning van 180 V. Mogelijks moet de schakeling nog aangepast of verfijnd worden, zodat de werking ook bij 220 V goed is.

Ik ben dus gedeeltelijk in mijn opzet geslaagd. De spanning blijft constant, zowel bij toenemende als bij dalende belasting. Zelfs de schommelingen die veroorzaakt worden door het niet-constante toerental van de motor zijn weggewerkt.

### 3 Besluit

Het maken van een geïntegreerde proef was voor mij een zeer verrijkende opdracht. Ik heb veel dingen bijgeleerd. Zowel theoretische als praktische kennis, maar ook andere zaken zoals het leggen van contacten met bedrijven, het opzoeken van informatie, ...

Ook mijn computerkennis is geëvolueerd. Het vele werk aan de tekst, het invoegen van figuren, ...neemt veel tijd in beslag, maar gedurende het jaar liep alles almaar vlotter zodat het een dagdagelijkse gewoonte geworden is om teksten, verslagen te maken op een gestructureerde manier, net alsof het allemaal GIP's zijn.

Het was een jaar om niet te vergeten. Met vallen en opstaan bepaalde deadlines (zowel door school als door mezelf opgelegd) halen, om daarna tevreden te kunnen terugkijken op de voorbije maanden.

De theoretische bespreking van een stroomgroep speelde zich vooral af op het bureau, waar meerdere brochures, handboeken uitgepluisd werden op zoek naar bruikbare gegevens. Uiteraard kon ik gebruik maken van de kennis die ik gedurende vier jaar op het VTI heb opgedaan. Vandaar ook dat van geen enkele tekst een kladversie is gemaakt. Alles kon rechtstreeks vanuit mijn gedachten overvloeien op het scherm. Enkel voor de bruikbare figuren en afbeeldingen heb ik de handboeken elektriciteit van de laatste twee jaar IW geraadpleegd. Verder kon ik geregeld beroep doen op mijn mentor, Paul Hemeryck. Ook mijn vader heeft mij met raad en daad bijgestaan. Waarvoor oprechte dank.

In het praktische gedeelte kon ik me goed uitleven. Mijn interesse voor motoren, elektriciteit,... is groot, en daardoor was het tweede deel van mijn GIP het meest aantrekkelijke voor mij. De aanpassingswerken tijdens de kerst- en krokusvakantie, de proefnemingen,... waren een echte uitlaatklep voor mij. Met veel enthousiasme kon ik vertrekken naar de loods waar de stroomgroep opgesteld staat.

Ook de voldoening was groot op het moment dat de schakeling naar behoren werkte.

## 4 Bijlagen

1. Informatiefiche van een stroomgroep
2. Historiek van houtzagerij Leirman
3. Tabellen kabels en draad
4. Verslag meting Paul Hemeryck
5. Proceskarakteristieken
6. Datablad transistor BU 126
7. Datablad IC 741
8. Tabel kleurcode
9. Datablad diode P600d
10. Logboek
11. Adreslijst van de geraadpleegde personen, bedrijven, instellingen, ...
12. Inkomende communicatie
13. Uitgaande communicatie
14. Verslag bezoek aan Constructiewerkhuizen Van Wingen
15. Verslag bezoek aan Dutry Power
16. Overzicht van de gebruikte meettoestellen

## 5 Bronnen

MAESEN, I., CLAERHOUT, L., Serie elektrotechniek, elektriciteit deel 3, tweede druk, Wolters Plantyn, Deurne, 2001, 227 pagina's.

STANDAERT, K., VAN DER BORGHT, F., Elektriciteit 1b, vierde druk, Standaard Uitgeverij, Antwerpen, 2000, 147 pagina's.

STANDAERT, K., VAN DER BORGHT, F., Elektriciteit 2, eerste druk, Standaard Uitgeverij, Antwerpen, 2000, 275 pagina's.

VAN DER MIJN, A., Stroom, de geschiedenis van een blijvend wonder, Meijer Pers, Amsterdam, 1978.

PARKER, S., Ooggetuigen elektriciteit, Standaard Uitgeverij, Antwerpen, 1993.

BOSCH, R., Technische leergang dynamo's, Delta Press BV, Amerongen, 1984, 48 pagina's

WIT, P. A., VAN DER KREEK, J., Leerboek der elektrotechniek, gelijkstroommachines, zesde druk, Nijgh & Van Ditmar, Rotterdam, 1968, 139 pagina's

MAESEN, I., PEETERS, R., VRANKEN, E., Basiselektronica, Wolters Plantyn, Deurne, 2001, 230 pagina's

Brochures van volgende bedrijven:

- Euromat
- Mic
- Matermaco
- Electrabel
- Constructiewerkhuizen E. Van Wingen
- Dutry Power
- Bultelys

## 6 Graag bedank ik

Hemeryck Paul, voor zijn medewerking aan de metingen,  
het geven van advies,  
het bijsturen van de geïntegreerde proef

Janssens Dominique, voor het ter beschikking stellen van de stroomgroep,  
het geven van advies,  
de hulp bij de praktische realisatie

Elektro Janssens, voor het ter beschikking stellen van materiaal en gereedschappen

Deprez Sabine, voor het taalkundig advies

Debecker Romain (Matermaco), voor zijn professionele medewerking

Matermaco,  
Constructiewerkhuizen Van Wingen,  
Tresco,  
Dutry Power,  
Mic,  
Euromat,  
Electrabel,  
Loosbergh,  
Bultelys, voor het verstrekken van informatie i.v.m. stroomgroepen

Debruyne Gerard, voor het verstrekken van informatie over dynamo's

Tresco - Caterpillar,  
Derma Trucks,  
Renaud scheepsdiesel, voor het verstrekken van informatie i.v.m. dieselmotoren

Erik Smith (Leroy Somer) voor het verstrekken van informatie over spanningsregelaars

Leirman Jacques, voor het mededelen van technische informatie over de stroomgroep

Simpelaere Jozef, voor het ter beschikking stellen van de meetapparatuur

Dutry Power,  
Van Wingen constructiewerkhuizen, voor de bedrijfsbezoeken

Anseeuw Valerie, voor het verwerken en versturen van het digitaal fotomateriaal

WVEM Gistel, voor het ter beschikking stellen van gereedschap

Lingier Eric, voor het laswerk aan de uitlaat en waterbuizen