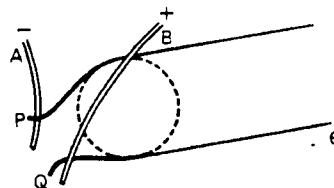
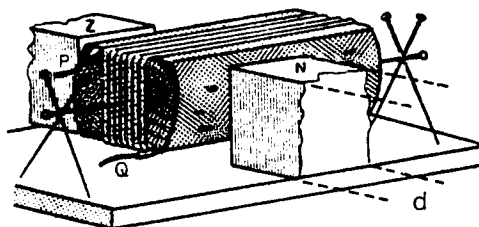
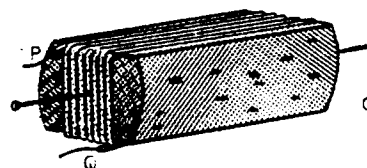
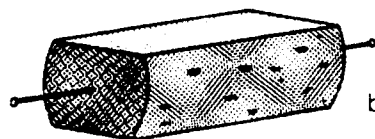
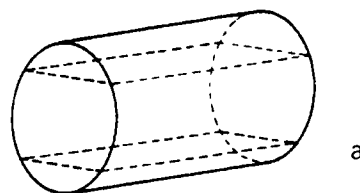


Aantekeningen voor de leerkracht

Elektrische Machines

Een lessenserie waarin de leerlingen

- kennismaken met elektro-magnetisme, voornamelijk toegepast in motoren en generatoren in huis-, tuin- en keukensituaties.
- onderzoek opzetten en uitvoeren ter bepaling van de karakteristieken van elektrische machines.
- hun onafhankelijkheid in het omgaan met elektro-technische apparatuur kunnen vergroten.



Experimentele uitgave voor de vierde klas HAVO



© 1984 Rijksuniversiteit Utrecht

Deze AVOL maakt deel uit van experimenteel lesmateriaal.
Overname of referentie uitsluitend na toestemming van de medewerkers van het PLON, Lab. Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA Utrecht, tel. 030-532717.

Voorwoord	3
Plaats en karakter van het thema	4
1. De plaats van het thema in de cursus	4
2. Achtergrond en verantwoording van de themakeuze	4
3. Ervaring met het thema "Elektrische Machines"	5
4. Globale opzet	6
Leerstof, vaardigheden, beginsituatie	8
Lessenplan	10
Opmerkingen per hoofdstuk	11
1. Oriëntatie	11
2. Motor en generator	13
3. Praktische variaties	19
4. Van meten tot begrijpen	23
5. Machine-heel-kunde	29
6. Optimaliseren naar keuze	31
5+6. Heelkunde naast optimaliseren	33
Literatuur	34
Bijlagen	35
D.1. Samenvatting thema "Elektrische Machines"	35
D.2. "Elektrische Machines" in het EPEP	38
D.3. Diagnostische toets bij hoofdstuk 1	40
D.4. Ideeën voor proefwerkvragen	43
D.5. Overzicht machines bij hoofdstuk 3	49
D.6. Aanvulling op kadertekst serie- en parallelmotor	52
D.7. Praktische toets/ keuze onderzoeken	54
D.8. Soldeer handleiding	56
I.1. Afwijkende motoren	62
Apparatuurgids	69
1. Benodigdheden per proef of onderzoek	70
2. Meetresultaten van enkele proeven	75
3. Bouwbeschrijvingen	82

Het thema "Elektrische Machines" is het vijfde thema in de experimentele natuurkundekursus van het PLON voor 4 en 5 HAVO. Het thema "Elektrische Machines" is herschreven op grond van enkele jaren ervaring met een voorgaande versie.

Deze AVOL is in de eerste plaats geschreven voor docenten die met het thema "Elektrische Machines" werken. Hij bevat daartoe suggesties voor een lessenplan, voor experimenten en andere werkvormen. Ook de achtergronden van het thema komen ter sprake.

Praktijkervaringen met het werken met deze versie van "Elektrische Machines" in de klas zijn er op dit moment nog niet. We hopen deze ervaringen in een volgende versie van deze AVOL te kunnen verwerken. Opmerkingen en aanvullingen over zowel het thema als deze AVOL zouden wij daarom zeer op prijs stellen.

Het PLON team
Lab. Vaste Stof
Rijksuniversiteit Utrecht
Postbus 80.008
3508 TA Utrecht

December 1983.

PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA

1. DE PLAATS VAN HET THEMA IN DE KURSUS

De PLON cursus voor 4 en 5 HAVO bestaat uit een tiental thema's. "Elektrische Machines" is het vijfde thema voor 4 HAVO. In het tweede halfjaar in 4 HAVO ligt het aksent op techniek en toepassing. "Elektrische Machines" is daarvan mogelijk het meest uitgesproken voorbeeld.

PLON thema's 4 HAVO:

- Vergelijken
- Weersveranderingen
- Muziek
- Verkeer
- Elektrische Machines
- Energie en Kwaliteit

PLON thema's 5 HAVO:

- Materie
- Lichtbronnen
- Ioniserende Straling
- Elektronika
- Examen Doen

2. ACHTERGROND EN VERANTWOORDING VAN DE THEMAKEUZE

In verschillende situaties in de huiselijke omgeving hebben leerlingen te maken met lichte elektromotoren en dynamo's. Zowel voor een oordeelkundig gebruik, een weloverwogen aankoop als het kunnen vaststellen van de oorzaak van veel voorkomende storingen is kennis van de fysische principes en van de vorm en funktie van de belangrijkste onderdelen van deze apparaten van belang. Daartoe wordt ingegaan op de relaties tussen de opbouw van de machines en de voor gebruikers belangrijke karakteristieken.

Het thema is theoretisch vrij lastig door de moeilijk te doorgronden elektro-magnetische grootheden en verschijnselen. Daarnaast is het uitgesproken technisch van karakter en doet een beroep op handvaardigheid en inventiviteit. Affektief gezien begeef je je met dit thema op glad ijs. Een gebied waarop veel mensen zich bewust afhankelijk opstellen....'ik ben nu eenmaal niet technisch'. Bovendien is het in onze wegwerpmaatschappij niet in de mode een 'technofiel' te zijn¹⁾. Juist in het affektieve domein poogt "Elektrische Machines" grenzen te verleggen.

Het thema is opgebouwd rond vier vragen:

- op welke fysische principes berusten motoren en generatoren;
- in welke vormen zijn deze principes toegepast;
- wat zijn de eigenschappen van de diverse machines als geheel;
- welk nut heeft deze kennis voor het dagelijks leven.

1) Zie literatuurlijst (1)

PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA

Tenslotte nodigde de grootschaligheid uit tot het binnenhalen van de energieproblematiek. Op zich géén slecht onderwerp, maar kennis van elektro-magnetisme heeft daarin nauwelijks een functie.

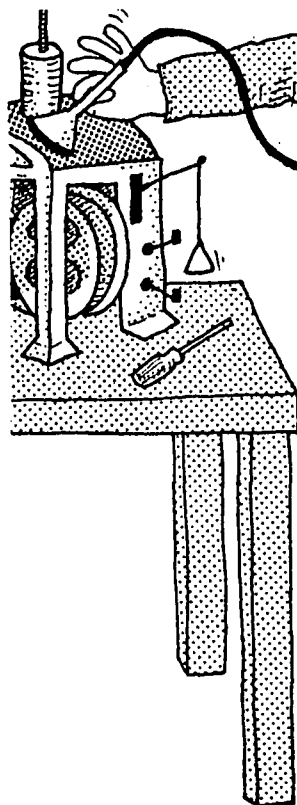
De kritiek van de leerlingen (zie lit. 2), kort samengevat, luidde: te onoverzichtelijk, te langdradig, te moeilijk, te weinig oefenmogelijkheden. Ook bleken meisjes veel negatiever in hun beoordeling dan jongens. Tenslotte gaf het thema weinig mogelijkheden voor differentiaties naar eigen belangstellingen.

Daar staan een aantal positieve geluiden tegenover. Het zelf maken van een motor viel goed in de smaak. Het doen van proeven werd ook positief gewaardeerd, behalve in de gevallen dat de proefbeschrijvingen te onduidelijk waren.

De ni
in hu
hoofd
len g
vang
sulta
versi
stroo

4. GLOBAAL

Mensen kijken heel vreemd
als ze op mijn kamer een
motor uit elkaar zien liggen.
Dat komt meer voor dan
dat ik met een
breiwerkje
 bezig ben.



Het thema is opgebouwd rond vier vragen. Deze komen afzonderlijk terug in de hoofdstukken. Deze vier vragen zijn:

- op welke *fysische principes* berusten motoren en generatoren;
- in welke vormen zijn deze principes *toegepast*;
- wat zijn de *eigenschappen van de diverse machines* als geheel;
- welk *nut* heeft deze kennis in het *dagelijkse leven*.

Hoofdstuksgewijs ziet het themaboek er globaal als volgt uit (zie ook de samenvatting in bijlage D1):
Hoofdstuk 1: bevat een oriëntatie op de inhoud van het thema. Wat bedoelen we met elektrische machines. Waar kom je ze tegen. Wat zij de themavragen. Bovendien wordt aangegeven welke kennis bekend wordt verondersteld. Voornamelijk de eigenschappen van permanente magneten en een eerste begin van de elektriciteitsleer (wet van Ohm, elektrisch vermogen en het gebruik van volt- en ampèremeters).

PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA

Deze vier vragen maken het mogelijk een zinvolle invulling te geven aan een aantal algemene doelen van het onderwijs in de bovenbouw van het HAVO:

1. *Persoonlijke vorming*. Daarbij valt te denken aan:

- beter in staat zijn elektrische apparaten onderling te vergelijken als steun bij aanschaf;
- verstandiger met elektrische machines omgaan zowel uit het oogpunt van veiligheid als van levensduur;
- meer zelfvertrouwen en zelfstandigheid verwerven in het omgaan met techniek in het algemeen en storingen in het bijzonder.

2. *Kennismaken met wetenschap en toepassingen daarvan*.

- met methoden om karakteristieken van machines te meten en grafisch vast te leggen;
- met het werk van systeemontwerpers;
- met een reparatiehandleiding storingen in elektrische apparaten opsporen.

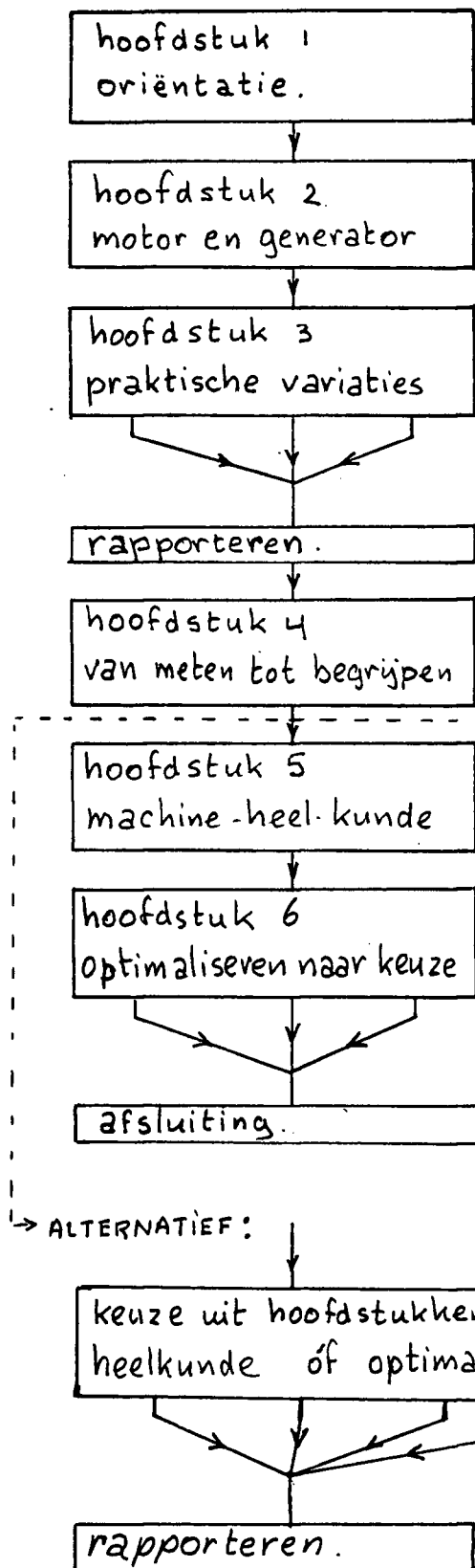
3. *Voorbereiding op verdere studie*:

- leren werken met belangrijke begrippen uit de leer van het elektromagnetisme;
- ervaren van eigen interesses en mogelijkheden in creatief, psychomotorisch en theoretisch opzicht, met name in de keuzedelen.

3. ERVARING MET HET THEMA "ELEKTRISCHE MACHINES"

"Elektrische Machines" is, in eerste versie, enkele jaren in proefscholen gebruikt. In deze versie was de hoofdrol weggelegd voor grootschalige opwekking, distributie en gebruik van elektrische energie. In dat kader was de transformator gelijkwaardig aan motor en generator. Deze drie werden parallel bestudeerd en de informatie werd via rapportages uitgewisseld. Deze te veel omvattende harde uitwisseling kwam niet goed uit de verf. In de klas werd al gauw de transformator apart genomen. In verband met het grootschalig gebruik lag het ook voor de hand dieper in te gaan op wisselstroom, inclusief faseverschuiving van stroom ten opzichte van spanning, en variaties op motoren uit te breiden naar draaistroom.

PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA



Hoofdstuk 2: na de eigenschappen van de stroomspoel komen de principes (lorentzkracht en inductiespanning) en de technische toepassing in commutatormotor en fietsdynamo na elkaar aan de orde. Zowel van motor als van dynamo kan een eenvoudig zelfbouwmodel worden gemaakt.

Hoofdstuk 3: van verschillende variaties van motoren en generatoren worden de karakteristieke eigenschappen bepaald (opgenomen en geleverd vermogen, rendement, koppel, respektievelijk geleverde spanning bij variabel toerental). Ook wordt bekeken onder welke omstandigheden schade aan de machine dreigt en wat de meest kwetsbare onderdelen zijn. Opmerkelijke variant is de inductiemotor, welke met modelproeven wordt ingeleid. De gemeten karakteristieken worden aan elkaar gerapporteerd opdat ieder een overzicht krijgt en konklusies kan trekken over gebruiksmogelijkheden van de diverse machines.

Hoofdstuk 4: het generatoreffekt van motoren én het motoreffekt in generatoren komen naar voren als overeenkomsten tussen de vele varianten. Het verschil in eigenschappen tussen seriemotor en parallelmotor wordt verklaard. Tenslotte worden de eigenschappen van transformatoren bestudeerd en wordt beschreven waar deze in elektrische apparaten toegepast worden.

Hoofdstuk 5: verstandig omgaan met elektrische apparaten (gebruik van handleidingen) en het opsporen en verhelpen van defekten vormen de inhoud van dit hoofdstuk.

Hoofdstuk 6: keuzehoofdstuk rond de vaardigheid 'optimaliseren'. Uitwerking is mogelijk in de richting van verstandig koopgedrag, van machine-ontwerp of van meer theoretische problemen.

LEERSTOF, VAARDIGHEDEN, BEGINSITUATIE

1. Leerstof

In het Experimenteel PLON Examen Programma (E.P.E.P.) is de leerstof beschreven die in dit thema aan de orde komt. In bijlage D2 van deze AVOL is het gebied "Elektrische Machines" opgenomen.

Nieuw in vergelijking met de reguliere lijst zijn vooral de volgende onderwerpen:

- de commutatormotor wordt diepgaander behandeld, uitmondend in de bepaling van het lorentzmoment op een stroomvoerende spoel en de bepaling van opgenomen en geleverd vermogen bij diverse toerentallen;
- het effect van de schakelwijze van stator- en rotorspoelen op het vermogen dat motoren opnemen als functie van hun toerental;
- inductiemotor en synchroommotor en hun specifieke gebruiksmogelijkheden;
- de praktische uitvoering van dynamo's;
- generatoren met regelbare veldsterkte en hun gebruik in auto's en windgeneratoren;
- kwantitatieve beschrijving van de 'energiehuishouding' in motoren;
- inductie-effect bij motor en motoreffect bij generator;
- effectieve spanning en stroomsterkte bij wisselstroom als waargenomen verschijnsel (geen theoretische afleiding);
- de opbouw van elektrische installaties in huizen, inclusief veiligheidsvoorzieningen en het gebruik van transformatoren voor regelsystemen en elektronische apparatuur;
- de samenstelling van het volledige elektrische systeem in huishoudelijke apparaten.

Aan de hand van de ervaringen met dit tweede versie thema hopen we te zijner tijd voorstellen te kunnen doen voor een definitief examenprogramma.

Tegenover de hiervoor aangegeven uitbreiding moet een beperking staan. Vervallen zijn in onze opzet:

- magnetisch veld van een rechte stroomdraad;
- werking van stromen in evenwijdige rechte draden op elkaar;
- draaispoelmeter en ombouw naar volt- of ampèremeter;
- weekijzermeter;
- transport van elektrische energie alleen kwalitatief.

Evenals bij "Weersveranderingen" en "Muziek" wijzen we er met nadruk op dat de aangeleerde begrippen en wetmatigheden moeten functioneren *binnen* de gekozen kontekst van motoren en generatoren en dat er op *deze plaats* in de cursus en bij *deze moeilijkheidsgraad* van bedoelde begrippen en wetmatigheden niet moet worden gestreefd naar generalisatie naar andere konteksten.

2. Vaardigheden

Met betrekking tot het doen van experimenten ligt de nadruk erop dat de leerlingen:

- op grond van inzicht in eigen capaciteiten een keuze kunnen maken uit een aantal onderzoeken met verschillend karakter en moeilijkheidsgraad;
- langs experimentele of theoretische weg het operationele bereik van een elektrische machine bepalen;

LEERSTOF, VAARDIGHEDEN, BEGINSITUATIE

- met behulp van richtexperimenten geschikte meetmethoden kiezen voor het bepalen van machine-eigenschappen;
- een veelheid aan gemeten grootheden verwerken in een drietal diagrammen (de machinekarakteristieken);
- creativiteit en handigheid benutten in het ontwerpen en bouwen van machinemodellen en overbrengingen;
- een duidelijke werkvraag kunnen opstellen voor een optimaliseringsprobleem;
- met behulp van experimenten komen tot een grafische oplossing van een optimaliseringsprobleem;
- met behulp van een herstelhandleiding defekten in elektrische apparaten op kunnen sporen en, zo mogelijk, verhelpen;
- een gebruikershandleiding bij een elektrische apparaat kunnen analyseren op voor veiligheid en levensduur erin voorkomende hoofdpunten; deze hoofdpunten kunnen aksentueren in een betere handleiding of andere aanwijzingen.

NB: Voor de afsluiting van de keuzeperiode (H6 en evt. H5) is geen werkvorm vastgelegd. De leraar kan hier, afhankelijk van het voorgaande programma, een meest toepasselijke methode kiezen.

3. Beginsituatie

We zijn er van uitgegaan dat de basisbegrippen die in het eerste hoofdstuk aan bod komen niet geheel nieuw zijn voor de leerlingen. Het kan zijn dat in de onderbouw HAVO of op de MAVO sommige begrippen niet zijn behandeld. Vandaar in het eerste hoofdstuk een oriëntatie op de begrippen magnetisme, magnetiseren, magnetisch veld, magnetische influentie, lading, spanning, stroomsterkte, gebruik van V- en A-meters, de wet van Ohm, elektrisch vermogen en energie.

Verder nemen we aan dat de leerlingen vertrouwd zijn met:

- het gebruik van een veerunster voor krachtmeting;
- het gebruik van een stroboskooplamp;
- het gebruik van een oscilloskoop;
- het begrip serieschakeling en parallelschakeling (geen formulevaardigheid);
- arbeid en (mechanisch) vermogen;
- rendement;
- het kunnen volgen van een gesloten proefinstructie;
- resultaten van metingen in een diagram kunnen weergeven;
- een lineair verband tussen twee gemeten grootheden kunnen herkennen;
- het verband tussen massa en zwaartekracht op aarde.

LESSENPLAN

Bij het samenstellen van het thema heeft ons een bepaalde lessenverdeling voor ogen gestaan. Bij het schrijven van deze AVOL is de haalbaarheid van onze ideeën nog niet getoetst. Onze lessenverdeling ziet er als volgt uit:

		lesuren:
Hoofdstuk 1	Oriëntatie	1
Hoofdstuk 2	Motor en generator	6
Hoofdstuk 3	Praktische variaties	5
Hoofdstuk 4	Van meten tot begrijpen	5
Hoofdstuk 5	Machine-heel-kunde	2
Hoofdstuk 6	Optimaliseren naar keuze	4
Toets		<u>1</u>
		24

De natuurkundige theorie van dit thema is gekoncentreerd in de hoofdstukken 2, 3 en 4. In het algemeen wordt dit deel door leerlingen moeilijk gevonden. Door de beschikbare tijd efficiënt te gebruiken, waarvoor nadere suggesties in het vervolg van deze AVOL, menen wij dat deze hoofdstukken bevredigend behandeld kunnen worden. Alleen in dat geval is het mogelijk een thematische kleur aan "Elektrische Machines" te geven.

H1. ORIËNTATIE

<i>Uitwerking lessenplan</i>		
lesnr.	onderdeel	tijdsduur in minuten
1	oriëntatie op themavragen/thema-opzet	20
	oriëntatie op basisbegrippen/meetapparaten	25

NB: Zie paragraaf 1.2 voor een mogelijke beperking van de inhoud.

Bedoeling

- Verduidelijken wat wordt bedoeld met 'elektrische machines' en waar je ze tegenkomt.
- Oriënteren op de vraag wat het voor zin heeft je te verdiepen in de werking van motoren, generatoren en transformatoren.
- Oriënteren op de opbouw van het thema en de manier van werken.
- Oriënteren op basisbegrippen en vaardigheden (magnetisme, magnetisch veld, lading, spanning, stroomsterkte, weerstand, gebruik van volt- en ampère-meters, elektrisch vermogen).

Leerlingactiviteiten

- Luisteren naar de leerkracht, lezen en praten over de centrale themavragen.
- Met behulp van een diagnostische zelftest nagaan of de verwachte voorkennis paraat is.
- Voor zover nodig, zelfstudie, teneinde de voorkennis op peil te brengen.

Didaktische aanwijzingen

- 1.1. Als aandachtstrekker zou je een defekt apparaat kunnen presenteren. Te denken valt aan een scheerapparaat of een koffiemolen die wel broemt maar niet draait of een fiets waarvan de verlichting deels niet werkt. De vraag is: 'wat doe je dan?'. Een korte mondelinge equête zou duidelijk kunnen maken welke leerlingen geïnteresseerd zijn in techniek, in doe-het-zelf werk en welke daar juist afkerig tegenover staan. Vermoedelijk zijn deze gevoelens niet onveranderlijk. Inzicht in deze lijkt ons gewenst om zo goed mogelijk te kunnen adviseren bij de keuzemomenten in de hoofdstukken 3, 5 en 6. Enkele opdrachten aldaar zijn voor knutselaars een flinke uitdaging en voor beginners mogelijk teveel van het goede.
- 1.2. "Grootschalige machines" vormen in feite een aparte, tweederangs kontekst binnen het thema. Tweederangs gezien de aandacht die het krijgt (§ 3.5; § 4.4 opg. 4; § 6.3 en § 6.6 en later in de thema's "Energie en Kwaliteit" en "Ioniserende Straling"). Tweederangs ook vanuit het oogmerk aan te sluiten bij de leefwereld van de leerlingen. Deze kontekst komt vaag voor in het EPEP (het experimentele examen programma): alleen een kwalitatieve behandeling van transport van elektrische energie. Bij het overwegen hoeveel aandacht je aan deze kontekst wilt besteden zou je kunnen denken aan:
 - de beschikbare tijd;
 - de nabijheid en mogelijkheid van een excursie naar een elektriciteitscentrale, een transformator- of een generatorfabriek;
 - de wens 'transfer' te oefenen (= toepassen van de in het thema opgedane kennis in een andere kontekst).
 - ruimere keuzemogelijkheid in hoofdstuk 6.
 Eventueel kun je de grootschalige variant achterwege laten.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

Evenals de voorgaande paragraaf kan "Elektrische Machines in het groot" voornamelijk als leestekst worden gezien. Wel is het zinvol te benadrukken dat het in dit thema beslist niet gaat om vergelijking van energiebronnen voor elektriciteitsopwekking.

- 1.3. De opzet van het thema is vrij summier aangegeven. Dit lijkt ons het moment om je eigen planning te introduceren. Met name in hoofdstuk 1 (diagnose en bijwerken van voorkennis) en in de hoofdstukken 5 en 6 is zowel inhoudelijk als wat betreft werkvorm aanvulling noodzakelijk. Ook kunnen beoordelingsmomenten naar eigen inzicht worden ingebouwd.
- 1.4. Een *diagnose* van de voorkennis van de leerlingen is gewenst. De meeste basisbegrippen komen in voorgaande 4 HAVO thema's niet aan de orde. Het inschatten van de paraatheid van kennis en vaardigheden uit voorgaande leerjaren is voor ons een moeilijke zaak. De diagnose kan tenminste op twee manieren worden aangepakt: klassikaal en individueel. Voor beide manieren van werken is een diagnostische toets opgenomen in bijlage D3. Klassikaal bijspijkeren met demonstratie van het zichtbaar maken van een magnetisch veld en/of een praktikum stroom- en spanningsmeting is de aangewezen weg als de toets over het geheel slecht wordt gemaakt. In andere gevallen en indien de leerlingen voldoende zelfstandigheid hebben ontwikkeld kan de diagnostische toets ook als zelftest worden uitgedeeld. Dan zal elke leerling zijn eigen tekortkomingen bij moeten spijkeren. Aanwijzingen daarvoor zijn bij de toetsvragen opgegeven.

Deze paragraaf bevat tenslotte twee *kaderteksten* over het modeldenken rond respectievelijk magnetisme en elektrische stromen. Deze kaderteksten zijn fakultatief. Wij menen dat voor een aantal leerlingen een puur fenomenologische behandeling onbevredigend blijft. Zij willen begrijpen hoe de vork in de steel zit; hoe je magnetiseren met een modelbegrip kunt toelichten; waarom stroomrichting en elektronenverplaatsing tegengesteld zijn. Ook vraag 1, aan het eind van de paragraaf, zou je fakultatief kunnen noemen. Wij zijn benieuwd of en in welke mate deze fakultatieve gedeelten gewaardeerd worden.

Antwoorden op de oefenactiviteiten:

1. De magnetische noordpool zou, natuurkundig gezien, zuidpool moeten heten.
2. Aan de randen overheerst het aardmagnetisch veld.
5. $R = \frac{V}{I} = \frac{2,75}{0,018} = 153\Omega$ of $1,5 \cdot 10^2 \Omega$
6. Bij parallelschakeling 6V/2W en 6V/1W (eventueel 2 gelijke van 6V)
Bij serieschakeling 4V/2W en 2V/1W (eventueel 2 gelijke van 3V)
7. $I = 125A$; $t \leq 24$ minuten.

H2. MOTOR EN GENERATOR

<i>Uitwerking lessenplan</i>		
lesnr.	onderdeel	tijdsduur (min.)
-	hw: lees inleiding, doe vraag 1 - voorstel	-
1	experimenten aan spoel (§ 2.1)	35
	bespreking elektro-magneet	10
	hw: bestudeer § 2.1	-
2	zelf elektromotor maken	15
	open commutator motor bekijken	15
	bespreking 'koppel'	10
	demonstratie richting lorentzkracht	5
	hw: lange termijn: betere elektromotor maken	-
	korte termijn: § 2.2 en 2.3 bestuderen	-
3	praktikum lorentzkracht meten	30
	klassegesprek - opstellen lorentzkracht formule	15
	hw: § 2.3 koppelberekening doen en § 2.6 vragen 1 en 2 maken	-
4	zelf generator maken	15
	vergelijken met open dynamo	5
	demonstreren: 'inductie effect' + 'motor als generator'	10
	bespreking voorgaand huiswerk	15
	hw: § 2.4 doorlezen, proeven § 2.5 voorbereiden	-
5	demonstreren: § 2.5 proef 1 + 2 (invloed A en B)	10
	praktikum: V_{ind} hangt af van ...	35
	hw: konklusie formuleren	-
6	klassegesprek V_{ind} , wet van Lenz, invloed I_{ind}	20
	§ 2.5 vraag 5 en § 2.6 vraag 3 maken	15
	demonstratie 'betere elektromotoren'	10

Bedoeling

- bestuderen van natuurkundige verschijnselen waarop de werking van elektromotoren en generatoren berust.
- Het zelf bouwen van een draaispoelmotor en een dynamo om thuis te raken in de opbouw van een elektrische machine.
- Bestuderen van een draaispoelmotor en een fietsdynamo.
- Een basis leggen voor het parallelle groepswork in het volgende hoofdstuk.

Leerlingactiviteiten

- Overzicht krijgen van de afzonderlijke werkvragen die bij de drie natuurkundige verschijnselen (magnetisch veld van een spoel; lorentzkracht en inductie) gesteld kunnen worden.
- De resultaten van demonstraties verwerken.
- Een deelonderzoek rond één werkvraag uitvoeren, uit de resultaten een konklusie trekken en die kort (eventueel ondersteund door een grafiek) rapporteren.
- Zelf een motor/dynamo bouwen en vergelijken met een overeenkomstig industrieel produkt.
- Bestuderen van de samenvattende teksten en opgaven maken.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

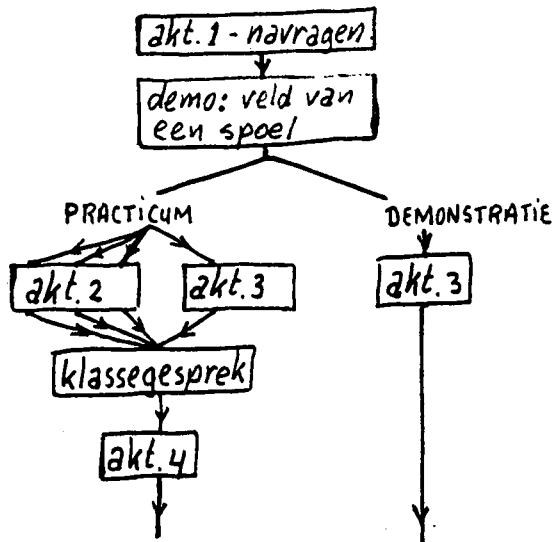
Didaktische aanwijzingen

2.1. (1 les) Aktiviteit 1: Navragen welke onderzoeksmethoden zijn bedacht. Vervolgens een voorbereide (eventueel andere) methode demonstreren. Ingenieuze variaties kunnen mogelijk later nog eens worden vertoond.

De activiteiten 2 en 3 omvatten vrijwel dezelfde werkvragen (3 ook de invloed van een weekijzeren kern). De hall-sonde werkt sneller en is meer geschikt voor demonstratie.

Aktiviteit 4: alleen zinvol als zowel 2 als 3 zijn uitgevoerd, bijvoorbeeld in praktikumvorm. In dat geval kan het werk in vier parallelonderzoeken worden opgedeeld.

AANPAK § 2.1:



Aktiviteit 2 bestaat uit 3 deelonderzoeken die elk vermoedelijk evenveel tijd vragen als de hele aktiviteit 3.

Zie de apparatuurgids voor resultaten van deze proeven. Meetresultaten op de hartlijn van de spoel zijn in akt. 2 en 3 niet werkelijk verschillend. De plaats van de pool van de staaftmagneet is echter moeilijk te definiëren.

Opmerking richtingsregel: Nederlandse natuurkundeboeken werken in vrijwel gelijke mate met kurketrekkerregel en met rechtervuistregel. De rechtervuist lijkt ons eenvoudiger in het gebruik.

2.2. (½ les) Zelfbouwen van een motor kan snel als alle onderdelen voorhanden zijn. Het echt laten snorren van de zelfbouwmotor is veel moeilijker. Einddoel is dat de leerling het optreden van een koppel heeft waargenomen. Breek het zelfbouwen tijdig af.

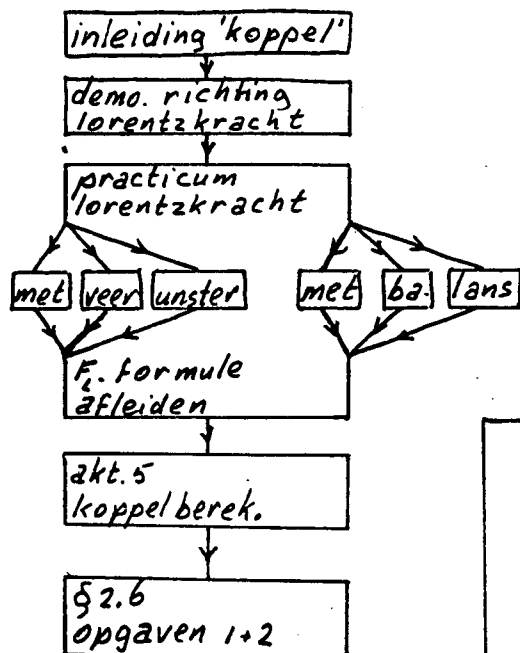
Aktiviteit 2, de uitdaging, zou buiten lestijd uitgevoerd moeten worden. Ons inziens alleen voor liefhebbers. Als je aktiviteit 2 als huiswerk verplicht stelt, zul je ook voldoende geïsoleerd koperdraad en magneten ter beschikking moeten stellen.

Echte motor: Dit moet een commutatormotor zijn om vergelijking met het zelfbouwmodel mogelijk te maken. Een gedemonteerde motor en een fietsdynamo kan tijdens het thema vast worden tentoongesteld. Dan kun je ook de onderdelen van labels voorzien.

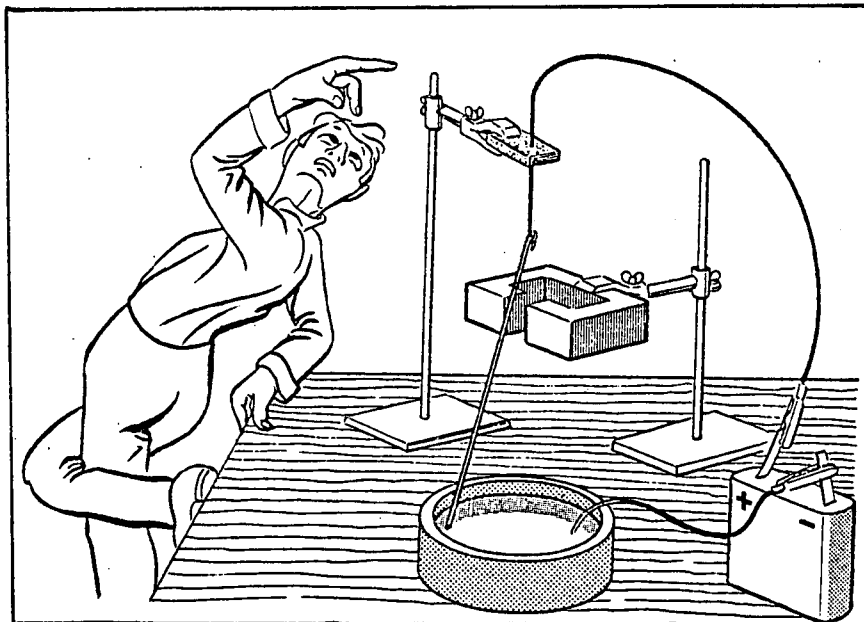
2.3. (1½ les) De inleiding over het *koppel* en het gebruik van de momentenwet verdient klassikale begeleiding. In hoofdstuk 3 wordt het werken met de momentenwet bekend verondersteld.

Richting van de Lorentzkracht leent zich voor demonstratie.

aanpak § 2.3



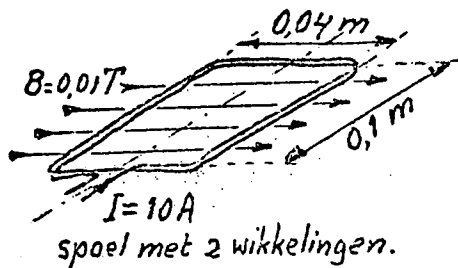
Richtingsregel: Nederlandse natuurkundeboeken zijn op dit punt verwarrend veelvormig (rechterhand-, linkerhand- en kleinste hoekregel). Ook hier is onze keus op de eenvoud gevallen van een rechterhandregel: vingers voor veldlijnen; duim voor stroom; waarna de hand in de richting van de stroom duwt. Een standaardafpraak, mits eenvoudig, lijkt ons wenselijk!



It's easy really!

Grootte van de Lorentzkracht: de nieuw ontwikkelde methode met een veerbalans heeft als voordelen dat het sneller werkt, minder kwetsbaar is en dat ook het aantal draden goed te variëren is. Een nadeel van de veerbalans vergeleken met de stroombalans is dat het om een verschilmeting gaat. Ook hier kan, als je voor praktikum kiest, het werk worden opgedeeld per werkvraag ofwel per faktor (I , B , l en N). Als de konklusies worden gerapporteerd kan samen de Lorentzkrachtformule worden opgesteld. Dit leek ons de meest voor de hand liggende plaats om de *eenheid van veldsterkte* in te voeren. In paragraaf 2.1 wordt veldsterkte wel kwantitatief onderzocht, maar steeds uitgedrukt in afgeleide eenheden (kracht op een magneet/hall-aanwijzing).

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK



Antwoorden

akt. 5: per draad: $F_L = 0,01 \cdot 10 \cdot 0,1$
 $= 0,01 \text{ N}$

per zijde: $F_L = 0,02 \text{ N}$

koppel = $0,02 \cdot 0,04 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ N.m}$

akt. 7: I wordt begrensd door de warmteproduktie in de spoel. Met dikkere draden kun je hier aan tegemoet komen maar het blijft altijd moeilijk het binnenste van de rotorspoel te koelen.

A en N (en ook de draaddikte) kunnen niet onbeperkt toenemen. De rotor wordt groter

en zwaarder. Vooral de straal van de rotor mag niet te groot worden omdat dan de centripetale versnelling tot breuk kan leiden.

De lengte van de rotor wordt beperkt door de samenhang tussen afstand tussen twee lagers en dikte van de as.

B: Grote permanente magneten zijn duur. De veldsterkte wordt beperkt door de eigenschappen van het materiaal. Veldspoelen zijn verder 'op te voeren' dan de rotorspoel omdat massa en afmetingen minder van belang zijn en omdat eventueel vloeistofkoeling mogelijk is. (Denk ook aan deeltjesversnellers en fusiereactoren met supergeleidende veldspoelen.)

2.4. (1 les) *Zelfbouwgenerator*: afhankelijk van het enthousiasme voor de motor kun je dit wel of niet laten doen. Hou wel de tijd beperkt. Let op dat de fietsdynamo ter vergelijking (vast tentoongesteld, zie ook 2.2) van hetzelfde type is.

Induktieproeven zijn hier bedoeld als korte demonstraties. Eventueel zijn de activiteiten van deze paragraaf als 'cirkuspraktikum' op te stellen, bestaande uit vijf onderdelen:

- kant en klare zelfbouwgenerator;
- gedemonteerde, vergelijkbare, fietsdynamo;
- akt. 2, deel 1; magneet met spoel en voltmeter;
- primaire gevoede spoel en sekundaire spoel aan voltmeter;
- draaispoelmotor met valgewicht en lampje.

2.5. (1½ les) *Flux*: de proeven 1 en 2 zijn aangegeven als demonstratie. Voornamelijk omdat je waarschijnlijk maar één opstelling met helmholtz-spoelen kunt maken. Een nadeel is dat er gekoncentreerd naar het oscilloskoopbeeld moet worden gekeken om de spanningspieken te zien.

Vanwege het, vergeleken met verdere proeven, afwijkend karakter lijkt het ons dat deze proeven in een parallelpraktikum met korte rapportage niet uit de verf zullen komen.

V_{ind} hangt af van: opgesplitst naar werkvraag is dit deel wel als praktikum uit te voeren. Akt. 6 (de invloed van I_{ind} op V_{ind} en op het tegenwerkend koppel) kan ook met een draaispoelgenerator worden uitgevoerd, mits je de draaisnelheid groot genoeg kunt maken én konstant kunt houden.

Kadertekst: volgens EPEP, waarvan het karakter (voorstel of vereiste) nog aanvechtbaar is, behoren magnetische flux en elektro-

magnetische inductie tot het examenprogramma met dezelfde interpretatie als toegepast op het normale HAVO eindexamen.

Ook tot EPEP behoren de effectieve waarden van stroom en spanning bij wisselspanning.

In *aktiviteit* 3 wordt de door een dynamo geleverde spanning zowel met een voltmeter als met een oscilloskoop gemeten. Het verschil tussen de amplitudo van de wisselspanning en de *effectieve spanning* komt hier vrij natuurlijk aan het licht. Vandaar de margetekst. Aan de hand van de 'Interpretatie HAVO eindexamen natuurkunde' van het NVON is de samenvatting over inductiespanning verdeeld over basis- en kadertekst. *Magnetische flux* $\Phi = B \cdot A$ wordt bekend verondersteld tijdens het examen. De formule voor inductiespanning niet. Overigens is de officiële vorm van de *induktiewet van Faraday* als volgt:

$$V_{\text{ind}} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Stel we noemen die flux Φ van links naar rechts door een stroomspoel positief. Als deze positieve flux toeneemt is $\frac{d\Phi}{dt}$ positief. In de

spoel wordt dan, als de uiteinden van de spoel verbonden zijn, een inductiestroom opgewekt. Deze stroom wekt ook een veld en dus een magnetische flux Φ' op die tegengesteld is aan de aanwezige flux Φ . Dit komt overeen met de wet van Lenz. De richting van de inductiespanning en de richting van de inductiestroom past dus niet bij de flux van het oorspronkelijke veld. Als Φ toeneemt is V_{ind} tegengesteld aan het veld ofwel negatief. In de formule moet een minteken staan om dat tegengesteld zijn te doen uitkomen.

In "Elektrische Machines" wordt inductiespanning meer fenomenologisch benaderd; zie bijvoorbeeld paragraaf 4.1. Theoretische afleiding of onderzoek aan een gelijkstroommotor leert dat het generatoreffect bij een motor de resulterende stroomsterkte vermindert. De voedingsspanning V_k wordt daarom verminderd met de inductiespanning V_{ind} , waarbij:

$$V_{\text{ind}} = N \frac{d\Phi}{dt}$$

Antwoorden

- akt. 8: A en N van de inductiespoel vergroten. (Zie ook 2.3 akt. 7)
 Wél kun je de inductiespoel tot stator maken (fietsdynamo en hoogspanningsgenerator) wat de mogelijkheden verruimt.
 Bovendien is isolatie en stroomafname bij hoge spanning eenvoudiger als de inductiespoel stilstaat.
Toerental zo groot mogelijk maar beperkt door centripetaalkrachten.
 E maximaal (zie ook 2.3 akt. 7).

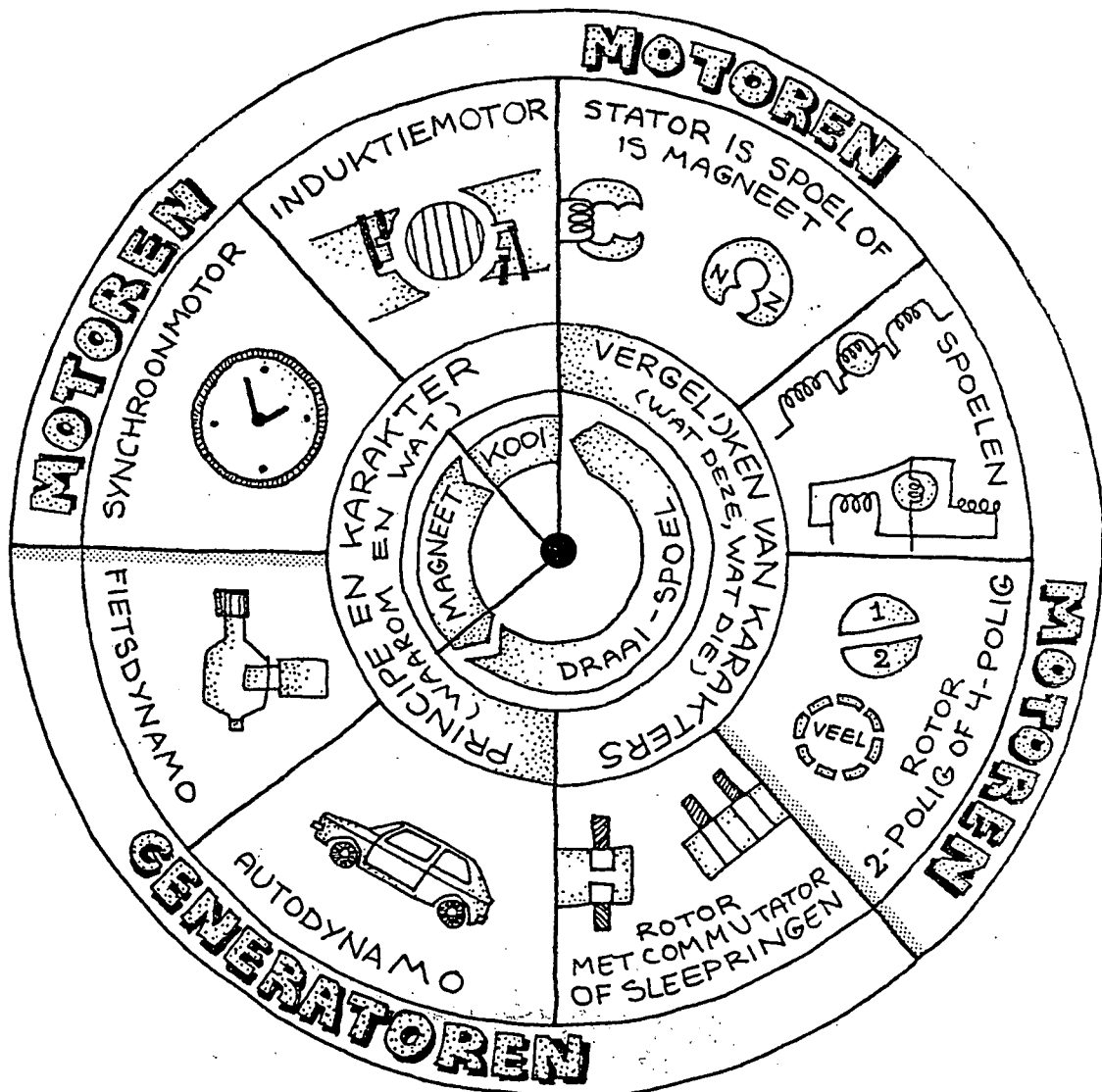
OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

2.6. Antwoorden

1. De stroom moet nu door A lopen en in het vooraanzicht van links naar rechts. Een spoel die vlak in het magnetisch veld ligt ($\Phi = 0$) ondervindt het grootste koppel omdat dan de arm van de lorentzkracht maximaal is. Een spoel die loodrecht op het magnetisch veld staat ondervindt géén koppel, omdat de lorentzkrachten in dat geval op dezelfde lijn werken en tegengesteld gericht zijn.
Het werkelijke veld in de nauwe spleet tussen elektromagneet en rotorkern is steeds radiaal gericht. Zolang de stroomdraden zich in de spleet bevinden blijft de arm vrijwel gelijk aan de rotorstraal en het koppel vrijwel maximaal.
2.
 - $F_L = 1,0 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 \cdot 0,08 = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ N}$ op zijden PQ en RS
 - De winding ondervindt een koppel rechtsom (RS naar beneden)
 - $Koppel = 4,8 \cdot 10^{-7} \text{ Nm}$
3.
 - S_1 rechts Noord; S_2 links Zuid
 - Stroomrichting in S_1 van B naar A en in S_2 van D naar C
 - Beide oplossingen zijn korrekt. De spoelen (spanningsbronnen) werken in serie (Sanne) of parallel (Floor). In het algemeen vormt het fietsframe één van de verbindingen van dynamo naar lamp. In beide gevallen zou D met het dynamo-frame kunnen worden verbonden en A met het draadje naar de lamp.

H3. PRAKTISCHE VARIATIES

Uitwerking lessenplan		
lesnr.	onderdeel	tijdsduur (min.)
-	hw: bestudeer § 3.1	-
1	introductie van de manier van werken en de bijbehorende opbouw van het hoofdstuk kiezen	15 5
	voorbereiding: studie en richtexperimenten	25
2	afsluiten voorbereiding	15
	testen van motor/generator	30
3	testen van motor/generator	45
	hw: uitwerking meetresultaten	-
4	posters (§ 3.5 akt. 1) samenstellen	15
	rapportage/bespreking motoren	30
5	rapportage/bespreking generatoren	30
	afsluitende opgave maken	15
	hw: overzicht bestuderen	-



OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

Bedoeling

- Uit een veelvormig aanbod passende meetmethoden zoeken voor een uitgebreide meetopdracht aan een motor/generator; de meetmethoden moeten passen bij het toepassingsgebied (toerental, koppel, vermogen) van de gegeven motor/generator.
- Een globaal overzicht krijgen van de variëteit in uitvoering, karakteristieken en toepasbaarheid van elektrische machines.
- Leren waarderen van de voor een technicus noodzakelijke creativiteit door bestuderen van creatieve oplossingen en door zelf de meetopdracht creatief aan te pakken.

Leerlingactiviteiten

- Kiezen in overeenstemming met eigen interesse en capaciteiten.
- Vaststellen van het toepassingsgebied van een gegeven machine.
- Met behulp van richtexperimenten passende meetmethoden selecteren en eventueel ontwerpen.
- Systematisch testen van een elektrische machine.
- Karakteristieke diagrammen tekenen.
- De kwetsbaarheid van machine-onderdelen beoordelen.
- Overeenkomsten van en verschillen tussen machines herkennen en overzien.

Didaktische aanwijzingen

Een goede *begeleiding* van dit groepswerk vraagt ons inziens om de volgende ingrediënten:

- a. Kennis van de eigenschappen en de meetproblemen die zijn te verwachten bij de beschikbare motoren en generatoren. Zie hiervoor ook de meetresultaten aan enkele motoren in de apparatuurgids.
- b. Eventueel bijsturen van de keuzes om moeilijkheidsgraad en groeps-capaciteiten enigszins op elkaar af te stemmen.
- c. Voortgangskontrolé, bijvoorbeeld door te eisen dat aan het eind van de voorbereidingsfase schriftelijk (wel kort) wordt doorgegeven welke meetmethoden zijn gekozen. Ingrijpen kan op dat moment nodig zijn om gewenste en beschikbare hulpmiddelen op elkaar af te stemmen. Met name stroboskoop en oscilloskopen kunnen knelpunten zijn. Eventueel is een planbord bruikbaar om te overzien welke apparatuur wel/niet en waar in gebruik is.
- d. In plaats van rapporteren op posters zou je ook elke groep een overhead-projector-sheet kunnen laten maken. Dan kun je de bespreking van de resultaten volledig zelf in de hand houden en eventueel aanvullen met eigen sheets.
- e. § 3.10 akt. 2 vraagt de leerlingen zelf een overzicht van de onderzochte machines te maken. De beschikbare tijd is kort. Grafieken overnemen lijkt ondoenlijk. Je zou voor (of na) de rapportages een invuloverzicht (volledig overzicht) uit kunnen reiken. Een voorstel hiervoor vind je in bijlage D5.

Bij de *beoordeling* van het groepswerk kun je rekening houden met:

- hoe goed is het toepassingsgebied (toerental, koppel, vermogen) vastgesteld?
- hoe goed zijn de meetmethoden geselecteerd uit de beschikbare mogelijkheden? Kan de groep aangeven of en zo ja in welk opzicht de meetmethoden tekort schieten en/of hoe het beter kan?
- kwaliteit van de metingen en spreiding over het toepassingsgebied van de machine.
- de grafische en rekenkundige verwerking van meetresultaten.
- onderkennen van (on)kwetsbaarheid van een type machine.
- konklusies over de verschillen tussen twee vergeleken machines OF toelichting van het principe van een afwijkende machine.
- de samenwerking en de werkverdeling binnen de groep.

Technisch probleem: Bij wisselstroommotoren zullen opgenomen stroom en spanning niet in fase zijn. In het thema worden faseverschuiving ϕ en arbeidsfaktor $\cos \phi$ niet besproken. Toch bereikt ϕ zodanige waarden dat P_{el} meten met ampère- en voltmeter bij wisselstroommotoren vrij grove fouten veroorzaakt. Indien voldoende KWh-meters, geijkt in J per omwenteling, aanwezig zijn dan is het aan te raden P_{el} bij wisselstroommotoren steeds via zo'n KWh-meter te bepalen.

Antwoorden op enkele vragen

- 3.5 akt. 1. Modelproef induktiemotor: als de afstand van de metalen plaat tot de magneetschijf klein genoeg is gaat de metalen plaat met de magneten meedraaien. De aangedreven plaat (meestal magneetschijf) draait sneller. Als de metalen plaat (licht) belast wordt gaat hij langzamer draaien. Bij te zwaar belasten blijft hij staan.
- 3.5 akt. 2. Gedachtenproef induktiemotor: in de spoelen zouden inductiestromen worden opgewekt. In kortgesloten spoelen zullen de inductiestromen nog groter zijn. De magneetschijf ondergaat een koppel tegengesteld aan zijn draairichting. De spoelen ondergaan een koppel in de draaiingsrichting van de magneetschijf en zullen zo mogelijk mee gaan draaien.
- 3.8 akt. 1. Werking moderne fietsdynamo: het magnetisch veld zal steeds van noord-tongen naar zuid-tongen toe zijn; die richting is afwisselend van boven naar beneden en van beneden naar boven door de spoel. Het door de spoel omvatte magnetisme verandert dus voortdurend van richting, waardoor inductie in die spoel optreedt. Per omwenteling verandert de veldrichting door de spoel acht keer.
- 3.10 akt. 3. grammofoon: synchroonmotor of induktiemotor met overmaatvermogen.
wasmachine: induktiemotor; de draairichting is te veranderen door middel van een tandwielkast óf door variatie in het kunstmatig rondgaande magnetisme (zie bijlage D over induktiemotoren).
cirkelzaag: parallelmotor (slaat onbelast niet op hol).
kleine windgenerator: autodynamo met spanningsregelaar opdat je er accu's mee kan opladen.
generator in elektriciteitscentrale: wisselstroomgenerator voor hoge spanningen en grote vermogens (§ 4.4 opg. 4).

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

racefietsdynamo: aangepaste fietsdynamo; inductiespoel met minder wikkelingen zorgt dat de werkspanning pas bij hoog toerental en dus hogere fietssnelheid, wordt bereikt. Bovendien is een duurder en efficiënter type hier op zijn plaats die minder energie van de renner vraagt dan een gewone fietsdynamo.

H4. VAN METEN TOT BEGRIJPEN

<i>Uitwerking lessenplan</i>		
lesnr.	onderdeel	tijdsduur (min.)
1	4.1 bestuderen; vragen maken	40
	bespreking/kontrolé vooral van akt. 4, 5 en 8	5
	hw: § 4.4 vraag 1 óf 2	-
2	bespreking huiswerkvragen	10
	demonstratie transformeren	25
	voorbereiding praktikum transformator	10
	hw: 4.2 bestuderen	-
3	praktikum transformator (4.2 akt. 3, 4 en 5)	45
	hw: verslag schrijven	-
4	transformator theorie bespreken	20
	huisbelwerking bestuderen	10
	§ 4.3 bestuderen	15
	hw: vraagstukken § 4.4 maken	-
5	vraagstukken maken/bespreken	45

NB: eventueel kun je § 4.3 achterwege laten. In dat geval moeten ook in hoofdstuk 5 apparaten waarin een transformator en een gelijkrichter voorkomen buiten beschouwing blijven.

Bedoeling

- Reflektie op de leerwinst uit hoofdstuk 3.
- Toepassing van opgedane kennis over inductie op een nieuw terrein, de transformator.
- Aanvullen van voorkennis voor doe-het-zelf werk in hoofdstuk 5.
- (Zelf) test van interesse in theorie of techniek als hulpmiddel voor studie- en beroepskeuze.

Leerlingactiviteiten

- Bestuderen en opgaven maken over elektrische machines.
- Experimenten aan transformatoren uitvoeren.
- Meetverslag schrijven.

Didaktische aanwijzingen

4.1. In groepjes of individueel bestuderen. Het voordeel is dat je een lesuur de tijd hebt om actief of passief te peilen welke leerlingen de opgedane kennis kunnen hanteren. Aangezien de paragraaf een soort buffer (de kaderteksten) voor de snelle leerling bevat kan ieder hier in eigen tempo aan werken en is enige uitloop in tijd niet desastreus. De *kaderteksten* zijn in dit hoofdstuk alle als verrijkingsstof bedoeld. De lust daarmee bezig te gaan, de mate van sukses en van volharding kunnen dienen als graadmeters voor advisering en keuze ten aanzien van toekomstplannen. Als ontwikkelaars zijn wij erg geïnteresseerd in de functie en de haalbaarheid van deze teksten.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

Antwoorden

1. Bij maximum toerental én bij stilstand levert een motor géén arbeid. In die gevallen wordt alle opgenomen elektrische energie omgezet in warmte.
2. De stroom loopt van B naar A. De rotor draait rechtsom gezien vanaf de commutator.
3. De stroomrichting is nu vanaf A, door de draaispoel, naar B. De spoel funktioneert als spanningsbron voor het lampje. De stroom gaat van B door het lampje naar A. B is dus positief.
4. De draaiing van de elektromotor wordt veroorzaakt door de voedingspanning (door de stroomsterkte in rotor en evt. stator). Deze draaiing kun je tegengaan met een tegenwerkende spanningsbron (door verlagen van de stroomsterkte).
Schema is juist.
5. De stroom gaat van B door het lampje naar A. De bijbehorende lorentzkrachten veroorzaken een koppel tegengesteld aan de draairichting. Het aandrijven van de generator kost dus meer moeite.
6. $\eta = \frac{V_{ind} \cdot I \cdot t}{V_k \cdot I \cdot t} = \frac{V_{ind}}{V_k}$
Bij stilstaande motor is $V_{ind} = 0$
In dat geval is ook $\eta = 0$.

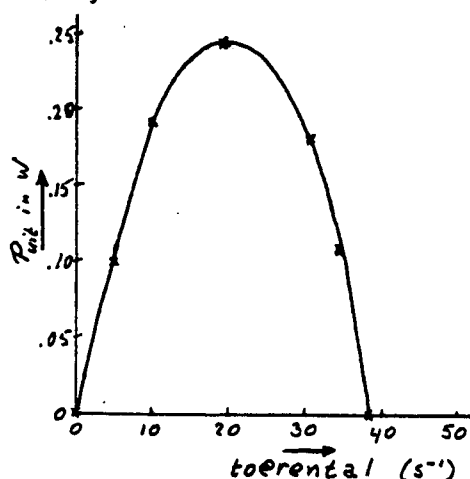
Vrijgekomen arbeid = $V_{ind} \cdot I \cdot t$
 $I = \frac{V_k - V_{ind}}{R}$ substitueren.

Vrijkomende vermogen
 $P = \frac{-V_{ind}^2}{R} + \frac{V_k}{R} \cdot V_{ind}$

Hierin zijn R en V_k konstante grootheden. $P = 0$ als $V_{ind} = 0$ en als $V_{ind} = V_k$

In motoren waarin de veldsterkte konstant is (permanente veldmagneten en parallelmotor) is de inductiespanning evenredig met het toerental. Een diagram waarin P is uitgezet als funktie van het toerental zou

6-polige commutator motor



(afgezien van inwendige wrijving) de vorm van een bergparabool moeten hebben. Deze motoren hebben een maximum toerental dat wordt bereikt als de motor onbelast is en waarbij $V_{ind} = V_k$. Zij leveren maximum vermogen bij de helft van het maximum toerental. Metingen aan een 6-polig Philips rekordermotortje ondersteunen deze theoretische afleiding van het verband tussen P en n .

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

$$\eta = \frac{V_k \cdot I \cdot t}{V_{ind} \cdot I \cdot t} = \frac{V_k}{V_{ind}}$$

voor een generator. Dit is precies het omgekeerde van het bovenstaande.

De energievergelijking van een generator kan ook worden afgeleid als volgt:

$$I = \frac{V_{ind}}{R + R_u} \Rightarrow I \cdot R + I \cdot R_u = V_{ind} \Rightarrow$$

$$\underbrace{I^2 \cdot R \cdot t}_{\text{warmte in de generator}} + \underbrace{I^2 \cdot R_u \cdot t}_{\text{naar buiten geleverde elektrische energie}} = \underbrace{I \cdot V_{ind} \cdot t}_{\text{opgenomen mechanische energie}}$$

Een uitdrukking voor het rendement wordt dan:

$$\eta = \frac{I^2 \cdot R_u \cdot t}{I^2 \cdot R \cdot t + I^2 \cdot R_u \cdot t} = \frac{R_u}{R + R_u}$$

Bij een kortgesloten generator is $\eta = \frac{0}{R + 0} = 0$

7. De energievergelijking van een generator luidt als volgt:

$$\underbrace{V_{ind} \cdot I \cdot t}_{\text{opgenomen mechanische energie}} = \underbrace{V_k \cdot I \cdot t}_{\text{geleverde elektrische energie}} + \underbrace{I^2 \cdot R \cdot t}_{\text{warmte in de generatorspoelen}}$$

8. Een seriemotor (de gebogen $I - n$ en koppel- n diagrammen) kan op hol slaan in onbelaste toestand. Deze motor mag dus nooit onbelast draaien (in de ruitenwissermotor is de belasting door de vertragings-tandwielkast voldoende).

De seriemotor is geschikt als treinmotor omdat hij bij stilstand een groot koppel kan leveren in vergelijking met een parallelmotor.

Voor een verdere theoretische uitwerking van de eigenschappen van serie- en parallelmotor, zie bijlage D6.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

- 4.2. Een probleem met transformormetingen is het grote aantal meters en draden. Werken in praktikumvorm kost veel tijd. Vandaar dat de eerste experimenten als demonstratie zijn voorgesteld. Ook loop je dan niet het gevaar dat de primaire spoel wegsmelt in een poging spanning uit de sekundaire te krijgen in de allereerste proef.

Waar de overgang van demonstratie naar praktikum wordt gemaakt is vrij te kiezen. Bij tijdgebrek zou je het praktikum kunnen beperken tot de bepaling van het *rendement van een belaste trafo*. Laat tenminste één groep meten aan een kommerciële transformator teneinde het idee dat technici roekeloos omspringen met energie te temperen. Opbouwtransformatoren blijven meestal erg ver van de ideale trafo verwijderd.

- 4.3. *Transformator in huis* is een korte paragraaf die echter de mogelijkheden van de doe-het-zelver (hoofdstuk 5) verruimt. Indien mogelijk wél doen. Behalve de transformator worden hier ook gelijkrichter en toestelzekering genoemd.

Kadertekst over inductiespoel en ontsteking van een benzine-motor behoort weer tot de verrijkingsstof voor liefhebbers. Deze tekst spreekt mogelijk een andere selectie uit de leerlingen aan dan de voorgaande kaders in paragraaf 4.1. Daarom toch deze uitbreiding.

Antwoorden bij activiteit 2:

De bougies in een 2 CV staan in serie en vonken dus tegelijkertijd. Voordeel: een 'verdeler' is niet nodig.

Nadeel: de bougies branden sneller in (vonken vaker dan nodig, namelijk aan het eind van de kompressieslag én aan het eind van de uitlaatslag). Als één bougie slecht is afgesteld worden de vonken in beide cilinders minder van kwaliteit, waardoor startproblemen sneller de kop op steken.

- 4.4. *Antwoorden bij de opgaven*

1. Het rendement van de STENSIUS elektromotor is, van boven naar beneden: 0%, 83%, 85%, 89%, 82%, 76%, 59%, 0%.

Voor een koper is, behalve het rendement, ook van belang: maximum koppel en maximum geleverd vermogen.

Het maximum koppel is $6 \cdot 10^{-2}$ Nm (6 Ncm staat beter).

Het maximum geleverd vermogen is 1,64 W.

Een groot voordeel van de STENSIUS motor is zijn hoge rendement bij variabele belasting. De 'mooiste' grafiek is een koppelrendement grafiek.

2. Het rendement van de ARKELMAAT is, van boven naar beneden: 0%, 20%, 40%, 53%, 57%, 0%.

Vermoedelijk is dit een inductiemotor met als voordeel dat het toerental nauwelijks afneemt bij toenemende belasting.

Vergeleken bij de STENSIUS is zowel het maximum koppel (0,14 Nm) als het maximum geleverd vermogen (18 W) van de ARKELMAAT groter.

3. Tweepolige motor: door de enkele spoel loopt de stroom steeds gedurende een halve omwenteling in dezelfde richting (zie ook paragraaf 2.6 vraag 1). Op het ogenblik dat de flux in de spoel nul is, is het geleverde koppel maximaal. Ook als de lorentzkracht bij verdraaiing gelijk blijft, zal de arm van die kracht afnemen.

Als de flux door de spoel maximaal is (spoeloppervlak loodrecht op het veld) zou het koppel zelfs nul zijn.

Als de tweepolige motor in die stand staat komt hij moeilijk op gang. Door de variatie van het koppel loopt deze motor niet erg gelijkmatig.

In een 12-polige motor is het maximum koppel (flux door de werkende spoel is nul) eventueel gelijk aan dat van de 2-polige motor. Voordat echter het koppel beduidend afneemt zal de dan gunstiger geplaatste spoel in werking treden.

De 2-polige generator hoort bij de meest variërende inductiespanning. In de 12-polige generator wordt steeds stroom afgenomen van de spoel waarvoor $\frac{d\Phi}{dt}$ op dat moment maximaal is (= de spoel waardoor de flux $\frac{d\Phi}{dt}$ juist van - in + verandert).

4. • $I = \frac{P}{V} = \frac{200 \cdot 10^6}{25 \cdot 10^3} = 8 \cdot 10^3 \text{ A}$

- Toerental: 50 omwentelingen per seconde.

- De sterkte van het magnetisch veld van de rotor en die hangt af van rotorstroom, aantal wikkelingen en spoelafmetingen, en de spoelkern.

Van de stationaire inductiespoel zijn vooral de doorsnede A, het aantal wikkelingen en de kern belangrijk voor de bereikbare inductiespanning.

- Voor veel wikkelingen en een groot spoeloppervlak is in het generatorhuis meer plaats.

8000 A is erg veel voor een kollektor (commutator); die zou snel inbranden.

8000 A betekent, ook als de draad dik is, een flinke warmteproduktie.

Stilstaande spoelen zijn eventueel met vloeistof te koelen via een koelkanaalstelsel.

5. • Een grotere stroomsterkte in de generator veroorzaakt een groter tegenwerkend koppel. Als het aan de generator geleverde vermogen niet wordt aangepast zal het toerental dalen.

- $V = 3,8 \text{ V}; R_u = 20 \Omega$ (30Ω en 60Ω parallel); $I = 0,19 \text{ A};$

$$P_{el} = 0,19 \cdot 3,8 = 0,72 \text{ W}$$

- $P_{mech} = \frac{100}{30} \cdot 0,72 = 2,4 \text{ W} \Rightarrow$ in een minuut moet 144 J worden geleverd aan de dynamo.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

$$6. I = \frac{P}{V} = \frac{240}{220} = 1,1 \text{ A}$$

$$I = \frac{V_k - V_{\text{ind}}}{R} \Rightarrow 1,1 \cdot 80 = 220 - V_{\text{ind}} \Rightarrow V_{\text{ind}} = 132 \text{ V.}$$

7. Primair

2000 windingen

V_p hoog

I_p laag

Sekundair

160 windingen

V_s laag

I_s hoog

De warmteproduktie in de sekundaire spoel ($I_s^2 \cdot R_s \cdot t$) is, ondanks de lagere weerstand van de kortere draad, groter. Voor deze sekundaire spoel hadden Marnix en Jan ook dikkere draad moeten gebruiken.

Kern: moet van ijzer en magnetisch week zijn (de noodzaak van plaatjes o.i.d. om het optreden van wervelstromen te beperken komt in het themaboek niet voor!!).

$$\eta = \frac{0,21 \cdot 16}{0,02 \cdot 220} = 0,76 \text{ of } 76\%.$$

H5. MACHINE-HEEL-KUNDE

Let op: de hoofdstukken 5 en 6 kunnen ook parallel worden gebruikt.
Zie in dat geval blz. 33.

<i>Uitwerking lessenplan</i>		
lesnr.	onderdeel	tijdsduur (min.)
-	hw: bestudeer § 5.1; maak vragen 1 t/m 4; zoek thuis een gebruiksaanwijzing van een elektrisch apparaat	-
1	vragen 1 t/m 4 bespreken	10
	vraag 5, 6 en 7 maken	35
	hw: bestudeer de inleiding van § 5.2	-
2	praktikum machine herstellen	45

Bedoeling

- De (elektro)technisch hulpelozen minder afhankelijk maken.
- De opgedane kennis rond elektrische machines functioneel maken in het dagelijks leven.

Leerlingactiviteiten

- Handleidingen bij elektrische apparaten kritisch evalueren en eventueel herschrijven.
- Een elektrisch apparaat repareren.

Didaktische aanwijzingen

De tekst in het themaboek behoeft niet veel aanvulling. In § 5.2 kun je zelf de vele mogelijke defekten inleiden aan de hand van een schema van een huisinstallatie en een schema van een apparaat (zie boormachine in het boek).

In principe kun je leerlingen vragen gebruiksaanwijzingen en (kleine) defekte elektrische apparaten van huis mee te nemen. Wel lijkt het aan te bevelen zelf enkele alternatieven achter de hand te hebben.

Alternatieve inleiding: "Energie en Water", het kwartaal voorlichtingsblad van energie- en waterbedrijf bevat een vaste serie 'aantekeningen van een installatie inspekteur'. De serie zelf geeft soms aardige aanknopingspunten. Mogelijk is ook een interview of een klasseggesprek met een inspekteur te organiseren.

Antwoorden bij de opgaven

1. De pomp is tijdelijk geblokkeerd, door ijs bijvoorbeeld. Door de toegenomen stroom is de pompmotor heet geworden. Aangezien de elektrische installatie nog werkte is er vermoedelijk géén kortsluiting of aardlek ontstaan. Een uur na het gebeuren is de motor nog steeds heet, dat wil zeggen de stroomkring is niet in zijn geheel onderbroken. Toch draait de motor niet meer.
De motor is van het commutatortype (vermoedelijk parallelmotor).

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

Er zijn drie mogelijke defekten:

- de koolborstels zijn vastgekoekt aan de kollektor;
- de veldspoel of de draaispoel is onderbroken, maar niet kortgesloten;
- in een seriemotor zou één van de spoelen kortgesloten kunnen zijn.

In principe is ook de inductiemotor gevoelig voor blokkeren, maar daar zou de rotor niet gemakkelijk blijvend blokkeren en zou er of kortsluiting of kringonderbreking zijn opgetreden in de spoel. In dit geval klopt dat niet met de waarnemingen.

2. Geblokkeerd: $I = \frac{220}{22} = 10 \text{ A} \Rightarrow \text{warmteproductie } I \cdot V = 2200 \text{ W}.$

In één minuut wordt $60 \cdot 2200 = 132 \text{ kJ}$ geproduceerd waarvan 75%, ofwel 100 kJ in de spoelen blijft $\Rightarrow$ temperatuurstijging =

$$\frac{100 \cdot 10^3}{75} = 1,3 \cdot 10^3 \text{ graden.}$$

In een motor die 1 minuut blokkeert zal de isolerende lak van de spoeldraad verkolen. De draad zelf en/of soldeerverbindingen zullen doorsmelten. Kortsluiting en/of kringonderbreking is te verwachten.

3. Bij onbelast draaien kan een seriemotor op hol slaan. Bij de daardoor toenemende centripetale versnelling kan de rotor desintegreren.
4. $I = \frac{1}{2} \text{ A} \Rightarrow R_{\text{tot}} = 12 \Omega \Rightarrow 2 \text{ lampjes van } 24 \Omega (6 \text{ V}, 1\frac{1}{2} \text{ W})$
1 lampje van 18 Ω en 1 van 60 Ω
5. - Onderhoud en schoonmaken: motor niet onderdompelen in water.
- Gebruiksduur: onbeperkt. Het snijapparaat vraagt voldoende arbeid om op hol slaan te voorkomen/niet zoveel arbeid dat de warmteproductie te groot wordt.
- Stand motorschakelaar: stand 1 (bij mogelijkheden 0, I en II).
- o Vocht in de motor kan kortsluiting veroorzaken.
 - o Bij te lang gebruiken bij hoge belasting kan de temperatuur van de spoelen te hoog worden. Bij te lang onbelast laten lopen kan een motor op hol slaan en kunnen rotor of lagers beschadigd worden.
 - o Onjuiste stand motorschakelaar betekent dat het motorvermogen niet past bij de belasting met kans op blokkeren of op hol slaan.
 - o Door gebruik van onjuiste hulpstukken kun je de motor overbelasten (blokkeren of te grote krachten op lagers en overbrenging).
6. Er wordt met maximaal vermogen gestart om te zorgen dat de motor ook indien hij belast is, op gang komt.

N.B.: Zie voor *SOLDEREN* bijlage D8.

H6. OPTIMALISEREN NAAR KEUZE

Let op: de hoofdstukken 5 en 6 kunnen ook parallel worden gebruikt.
Zie in dat geval blz. 33.

<i>Uitwerking lessenplan</i>		
lesnr.	onderdeel	tijdsduur (min.)
-	hw: bestuderen § 6.1 en 6.2	-
1	bespreking § 6.1 en 6.2	10
	keuze en groepsvorming	15
	start groepswerk	20
2/3	groepswerk	2x 45
4	afsluiten groepswerk of rapportage	45

Bedoeling

- Het zich realiseren dat een optimum meestal een kompromis is.
- Onderzoek kiezen en uitvoeren, passend bij de eigen toekomstplannen in technische óf theoretische óf algemene richting, eventueel aansluitend op hobby etc.
- Uit te dagen.

Leerlingactiviteiten

- Bestuderen.
- Kiezen.
- Een probleem duidelijk stellen.
- Onderzoek opzetten en uitvoeren.
- Rapporteren.

Didaktische aanwijzingen

Weliswaar worden acht ('hoogspanning' bestaat uit twee delen) onderzoeksmogelijkheden soms gedetailleerd aangegeven, toch moet je zelf nog veel invullen. Daarbij is vooral van belang wat in de loop van 4 HAVO al aan onderzoek en vorm van rapportage gedaan is.

Invulling is nodig wat betreft:

- *rapportage*. In verslagvorm? Zie dan "Muziek" § 6.2.

Presentatie voor de klas? Zie "Vergelijken", eind hoofdstuk3.

Welke vaardigheid is nog weinig geoefend? Is er nog tijd beschikbaar voor een aantal presentaties voor de klas? Zo ja, welke leerwinst verwacht je bij de kijkers als de onderwerpen zo uiteenlopend zijn?

- *beschikbaar zijn van apparatuur* en plaatsen waar gewerkt kan worden. Voor sommige onderzoeken (stofzuiger, scheerapparaat en eventueel andere huishoudelijke apparaten) zal de school geen apparatuur ter beschikking hebben. Metingen zullen in die gevallen thuis moeten worden uitgevoerd.
- *wind- en watergenerator ontwerp*. Deze onderzoeken zijn erg uitgebreid, maar, naar wij hopen, voor sommigen erg uitdagend. In vier lesuren is dit werk onmogelijk af te ronden, vooral omdat een deel van de apparatuur al doende ontworpen en dan ook nog gemaakt moet worden.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

Oplossingen hiervoor zijn:

- Deze onderzoeken uitsmeren over twee thema's ("Elektrische Machines" en "Energie en Kwaliteit").
- Deze onderzoeken hier starten en afronden als keuze-onderzoek in 5 HAVO.
- Er estafette-onderzoeken van maken waar jaarlijks nieuwe groepen op door kunnen borduren.
- *begeleiding en voortgangskontrolé*. Als hulpmiddelen in begeleiding en kontrolé valt te denken aan:
 - Op schrift inleveren van 'de probleemstelling' voor de optimalisatie in een zo vroeg mogelijk stadium.
 - Verplicht bijhouden en aan het eind van elk lesuur inleveren van een *logboek* waaruit duidelijk blijkt hoe het werk binnen de groep verdeeld is, hoe ver de groep op het inlevertijdstip is gekomen en wat men thuis en in de volgende les denkt te gaan doen.
 - Per groep opstellen van een werkplanning voor vier lessen welke aan het eind der eerste les moet worden ingeleverd.
- *beoordeling*. De manier van beoordelen moet zo duidelijk mogelijk worden gemaakt aan de leerlingen. In de loop van hun schoolloopbaan moet het uitgroeien tot een beoordelingsplan voor keuze-onderzoek in 5 HAVO als deel van het schoolonderzoek. Een voorbeeld van zo'n beoordelingsplan is gegeven als bijlage D7.

H5+6. HEELKUNDE NAAST OPTIMALISEREN

Uitwerking lessenplan

lesnr.	onderdeel	tijdsduur (min.)
-	hw: lees § 5.1, 6.1 en 6.2. Maak § 5.1, vraag 5	-
1	bespreken van de keuzemogelijkheden	15
	keuze + groepen samenstellen	15
	opstellen van een groepswerkplan	15
2+3	groepswerk	2x45
4	rapportage	45

Didaktische aanwijzingen

In deze opzet gebeuren meer verschillende 'onderzoeken' naast elkaar.

De mogelijke keuzes zijn:

- 5.1 kritisch evalueren en verbeteren van een gebruiksaanwijzing
- 5.2 herstellen van een defekt elektrisch apparaat
- 6.3 theoretisch of politiek: 'waar is hoogspanning goed voor'
- 6.4 motor verbeteren
- 6.5 liftontwerp
- 6.6 windgeneratorontwerp
- 6.7 watergeneratorontwerp
- 6.8 de optimale stofzuiger
- 6.9 de snelle scheerder

Gezien de verschillen lijkt het ons wenselijk dat de ervaringen van de groepen worden uitgewisseld. Te denken valt aan een markt of tentoonstelling waarbij elke groep opgedragen krijgt twee andere groepen te beoordelen. Door het toewijzen van dit beoordelingswerk kun je ervoor zorgen dat de uitwisseling van heelkunde naar optimaliseren en omgekeerd gewaarborgd is.

De onderzoektijd is in deze vorm korter, waardoor wind- en watergenerator niet uit de verf kunnen komen in rapportages.

LITERATUUR

1. Pirsig, R.M., "Zen en de kunst van het motoronderhoud", ISBN 90 254 6481 5, 1976.
2. Jörg, A.G.D., "Rapportage over het thema "Elektrische Machines" (1e versie) op basis van standaardvragenlijst", PLONoz 83-0808.
3. Keighley, H.J.P., "Living with electricity", serie 'projects in physics', Pergamon press, 1975.
4. Bulman, A.D., "Physics projects", uitg. John Murray, London, 1972.
5. Anoniem, "Engine test beds", Project Technology Handboek 5, Heinemann Educ. Books, 1972.

SAMENVATTING THEMA ELEKTRISCHE MACHINES

Themavragen

- Op welke fysische principes berusten motoren en generatoren?
- In welke vormen zijn deze principes toegepast?
- Wat zijn de eigenschappen van de diverse machines als geheel?
- Welk nut heeft deze kennis voor het dagelijks leven?

Fysische principes

magnetisme; magnetiseren
magnetisch veld van een permanente magneet
wet van Ohm
elektrisch vermogen
parallel schakeling
serie schakeling

opmerkingen

veldvorm met kompas/ijzervijlsel
 $R = \frac{V}{I}$ gebruik V- en A-meter
 $P = I \cdot V = I^2 \cdot R$ gebruik oscil-
loskoop
 $I_t = I_1 + I_2 + \dots$
 $V_t = V_1 + V_2 + \dots$

-----tot hier: voorkennis-----

magnetisch veld van een spoel
veldsterkte B , evenredig met I en N
 B te versterken met weekijzernen kern
moment = kracht . arm
richting van lorentzkracht;
grootte lorentzkracht (geen sin.)

rechtervuist-regel
meten met Hall-sonde

rechterhand-regel
 $F_L = B \cdot I \cdot l$ mits $B \perp I$
 $F_L = 0$ indien $B \parallel I$

maximum koppel op een rotor

$$M_{\max} = I \cdot B \cdot A \cdot N$$

magnetische flux

$$\Phi = B \cdot A$$

induktiespanning evenredig met toerental
en met aantal wikkelingen

induktiestroom: wet van Lenz
bij toenemende I neemt V_{klem} af

} géén formules in de basistekst

effektieve spanning en stroom

$V_{\text{eff}} = 0,71 V_{\max}$ uit vergelijking
van oscilloscoop en voltmeter-
aanwijzing

het generatoreffekt bij een motor

$$I = \frac{V_k - V_{\text{ind}}}{R}$$

het motoreffekt bij een generator

BIJLAGE D.1.

kwalitatief vergelijken van seriemotor
en parallelmotor

seriemotor: n groter $\rightarrow$
 I en B kleiner
par. motor: n groter $\rightarrow$
 I kleiner

rendement

$$\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{opgenomen}}}$$

(ideale) transformator

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}; \quad I_p \cdot V_p \approx I_s \cdot V_s$$

zelfinductie

$$I = \frac{V_k - V_{\text{zelfind}}}{R}$$

Vormen van machines

In het thema worden de volgende elektrische machines onderzocht:

- commutatormotor • zowel met permanente veldmagneet als met veldspoelen
 - tweepolig en meerpoleg wordt vergeleken
 - parallel- en serieschakeling van veldspoelen en rotorspoel worden vergeleken
- induktiemotor met kortsluitanker en kortsluitring om de halve statorspoel
- synchroonmotor
- fietsdynamo
- draaispoelgenerator met commutator (gelijkstroom) of sleepringen (wisselstroom)
- autodynamo met regelbaar veld
- transformator (ook vergelijking opbouwtrafo met echte voedingstrafo)

Voor het onderzoek naar de *eigenschappen* van diverse machines moet steeds een keuze worden gemaakt uit een variëteit aan meetapparatuur.

koppel

- diverse dynamometers met slipkoppeling (evt. elektromagnetische koppeling)
- een hijs- c.q. valgewicht, evt. via overbrenging
- trekken met een veerunster, evt. via overbrenging

toerental

- stroboskoop
- oscilloskoop (voor een wisselstroomgenerator)
- stopwatch en tellen indien voorzien van een overbrenging

elektrisch vermogen

- I - en V -meter (faseverschuiving blijft buiten beschouwing) of kWh-meter

De gemeten grootheden I , V (of E_{el}), n en M worden uitgewerkt en weer-gegeven in de zogenaamde 'machine karakteristieken', een drietal diagrammen.

Voor een motor zijn dat de diagrammen die respektievelijk het verband aangeven tussen toerental en stroomsterkte, toerental-koppel en toerental-rendement.

Voor een generator zijn de diagrammen afhankelijk van de gekozen meetmethode. Indien is gemeten bij konstant toerental zijn de karakteristieken respektievelijk het verband tussen stroomsterkte-koppel, stroomsterkte-rendement en stroomsterkte-elektrisch vermogen.

Indien is gemeten bij konstant koppel zijn de karakteristieken respektievelijk het verband tussen toerental-stroomsterkte, toerental-rendement en toerental-elektrisch vermogen.

Nut voor het dagelijks leven

Uit de onderzoeken volgt inzicht in de specifieke mogelijkheden van diverse machines. Tevens worden motoren en generatoren vergeleken op hun kwetsbaarheid zowel mechanisch als operationeel.

Op vier manieren worden deze inzichten gekoppeld aan praktische vaardigheden:

- zelf *verstandig omgaan met* elektrische machines, te oefenen door het kritisch lezen en eventueel verbeteren van gebruikershandleidingen;
- het *opsporen van defekten* in elektrische machines aan de hand van een onderzoeksschema, waarin betrokken de functies van aarddraad, zekeringen en aardlekschakelaar en waarbij gebruik wordt gemaakt van een ohmmeter;
- *vergelijkend warenonderzoek*, bijvoorbeeld aan stofzuigers of scheerapparaten, met het doel het beste apparaat aan de hand van zelf op te stellen criteria te vinden;
- het *ontwerpen*, via een optimaliseringsproces, van systemen, waarbij als mogelijkheden worden aangereikt: hoogspanningsleiding, liftontwerp, windgenerator ontwerp en watergenerator ontwerp.

BIJLAGE D.2.

ELEKTRISCHE MACHINES IN HET EPEP

Onderwerpen

	ongewijzigd	gewijzigde interpretatie	vervallen	nieuwe onderwerpen
Magnetisch veld, inductie				
- Magnetisch veld; veldlijnen (rechte stroomdraad, winding, spoel, staafmagneet); richtingsregel.		x ¹⁾		
- Karakterisering van het magnetisch veld door de grootte B; magnetische flux.	x			
- Magnetische kracht op een stroomdraad en op een bewegende lading.		x ²⁾		
- Werking van stromen in evenwijdige, rechte draden op elkaar (kwalitatief).			x	
- Werking van een magnetisch veld op een spoel (kwalitatief); draaispoelmeter (kwalitatief); gelijkstroombmotor (kwalitatief).		x ⁴⁾	x ⁵⁾	x ⁶⁾
- Weerkijzermeter.			x	
- Elektromagnetische inductie; wet van Lenz.	x			
- Beginsel van wisselstroomdynamo.	x			
- De praktische uitvoering van de dynamo.				x ⁷⁾
- Ideale transformator.	x			
- Transport van elektrische energie.		x ¹¹⁾		
- Vermogen bij elektromotor en dynamo (kwantitatief).				x ⁸⁾
- Nuttig effect bij de elektromotor.				x
- Wisselstroom bij elektromotor en dynamo.				x ¹⁰⁾
- Moment van een kracht t.o.v. een punt.	x ¹²⁾			

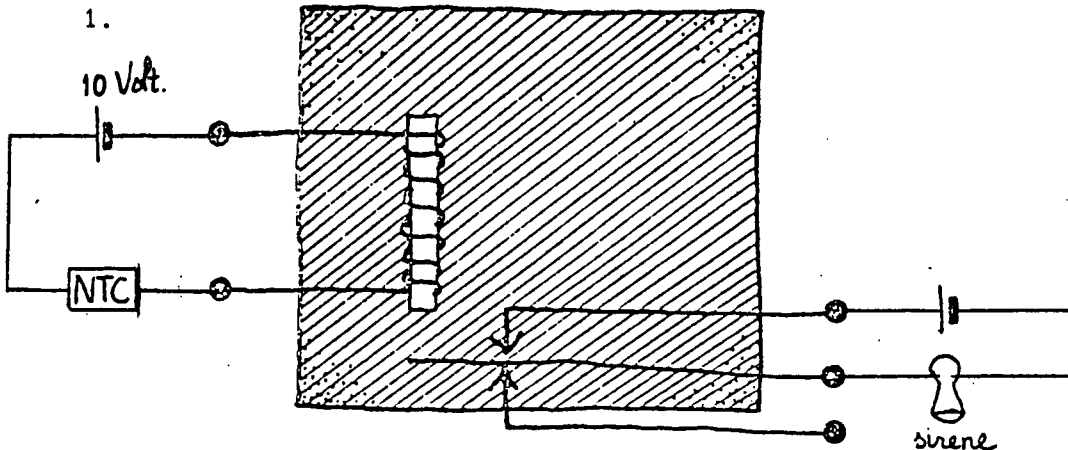
Toelichting

- 1) Magnetisch veld van een rechte stroomdraad niet.
- 2) Voor kracht op ladingsdragers zie "Ioniserende Straling" of "Materie".
Aksent op Lorentzmoment op stroomvoerende winding; $M = B I A N$ voor
max. Lorentzkoppel.
- 4) Kwantitatief behandeld.
- 5) De draaispoelmeter niet.
Het fysische principe is wel uitgebreid aan de orde gekomen in verband
met de rotor bij elektromotor.
- 6) Uitgebreider behandeling; toegevoegd zijn begrippen rond de vorm en
functie van onderdelen, er is ingegaan op het onderscheid tussen
gelijk- en wisselstroommotoren voor kleine vermogens. Aan de orde zijn
gekomen: commutator, inductie- en synchroonmotor.
- 7) Uitgebreide behandeling: ingegaan op uitvoeringskenmerken; gelijk- en
wisselstroommachine.
- 8) Het effect is behandeld van de schakelwijze van stator- en rotorspoelen
op het vermogen dat motoren opnemen als functie van hun toerental.
- Er is een formule gegeven om de vervangingsweerstand bij parallel-
schakeling te berekenen.
- 9) Nieuwe onderwerpen: zelfinductie, nuttig effect van een motor meten,
kwantitatieve beschrijving van de 'energiehuishouding':
$$V \cdot I \cdot t = V_{\text{ind}} \cdot I \cdot t + I^2 R \cdot t$$

Inductie effect bij motor en motoreffect bij dynamo's. Geleverd vermogen
van een dynamo: $V_{\text{ind}} \cdot I$
- 10) Nieuwe onderwerpen: In het verband van elektromotor en dynamo is aan de
traditionele onderwerpen toegevoegd het onderscheid bij energiebereke-
ningen tussen gelijk- en wisselstroom.
Toegevoegd zijn:
- effectieve spanning en stroomsterkte: $V_{\text{eff}} = 0,71 V_{\text{max}}$ (geen afleiding).
- samenhang tussen effectieve en gemiddelde stroomsterkte.
- 11) Kwalitatief.
- 12) Toepassing als krachtmoment, koppel bij een elektromotor.

BIJLAGE D.3.

DIAGNOSTISCHE TOETS BIJ HOOFDSTUK 1

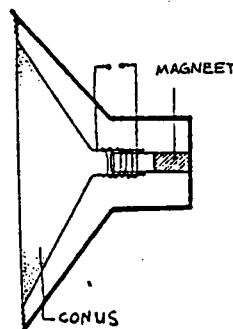


Je ziet hier een schema van een brandbeveiliging. Hierin wordt gebruik gemaakt van een NTC (warmtegevoelige weerstand). Op het relais (elektro-magnetische schakelaar) staat: 6 Volt; 600 Ω .

- 1.A. Hoe groot moet de stroom door de spoel in de relais minstens zijn om de sirene te laten loeien?
- 1.B. De staaf die door de spoel steekt moet een magneet zijn/ van ijzer zijn/ van koper zijn (foute antwoorden doorstrepen).
- 1.C. De sirene loeit als de weerstand van de NTC groter is dan 400 Ω (foute antwoord doorstrepen). kleiner is dan 400 Ω

Bij toenemende temperatuur moet de NTC weerstand kleiner worden (foute antwoord doorstrepen). groter worden

2. In een luidspreker worden elektrische trillingen omgezet in geluidstrillingen. In de tekening hiernaast is de doorsnede van een luidspreker getekend. Aan de achterwand zit een magneet bevestigd. Aan de conus zit een spoeltje dat heen en weer kan bewegen over de magneet. Leg kort uit hoe het komt dat de conus gaat bewegen als de stroom door de spoel verandert.



Zie § 1.4 van Elektrische machines, de volgende onderdelen:

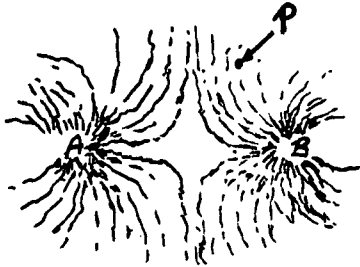
Wet van Ohm

magnetisme

Wet van Ohm

magnetiseren

3.



Onder een vel papier liggen 2 magneten. Nadat er ijzervijlsel op het papier is gestrooid zie je het hiernaast getekende beeld ontstaan. Geef aan welke van onderstaande beweringen waar zijn.

- Bij A en B bevinden zich de twee polen van dezelfde magneet.
- Bij A en B bevinden zich gelijke polen van twee magneten.
- Bij A en B bevinden zich verschillende polen van twee magneten.
- De polen A en B trekken elkaar aan.
- Elk stukje ijzervijlsel wordt magnetisch.
- Ketens van ijzervijlsel tonen ons de vorm van het magnetisch veld.
- Als ik een kompasnaaldje in P zet zal het met zijn noordpooltje naar B wijzen.
- De richting waarin het noordpooltje van een kompasnaald in P wijst noemt men de richting van het magnetisch veld in P.

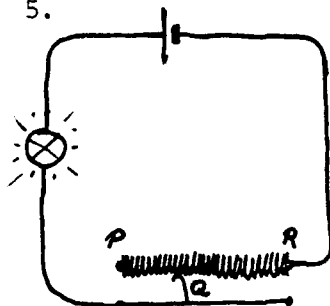
magnetisch veld

4. Jan maakt een feestverlichting door een aantal 12 Volts lampjes in serie aan te sluiten op 220 Volt.

- A. Hoeveel lampjes moet hij op zijn minst gebruiken?
- B. Kan hij het dunne draad van zijn modelspoorweg gebruiken of moet hij ander draad nemen en waarom?

spanningsbron en stroomkring

5.



Lampje B en schuifweerstand PQR zijn in serie aangesloten op een spanningsbron. In de getekende stand geeft het lampje heel zwak licht. De schuif van de schuifweerstand (Q) wordt langzaam naar R geschoven. Beschrijf wat er gebeurt met:

- o De totale weerstand in de stroomkring.
- o De spanning tussen Q en R.
- o De helderheid waarmee het lampje brandt.

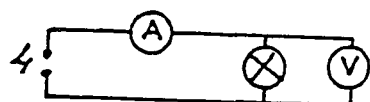
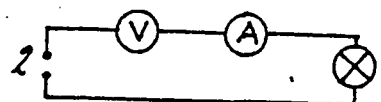
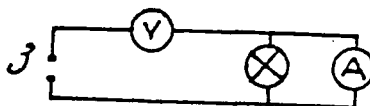
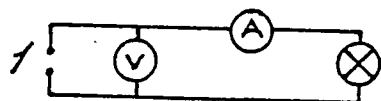
Het lampje wordt losgedraaid. Beschrijf wat er nu gebeurt met:

- De stroomsterkte van Q naar R.
- De spanning tussen P en R.

spanningsbron en stroomkring

BIJLAGE D.3.

6. Op een lampje staat vermeld: 12 V - 24 W.
Je wilt de weerstand van het lampje meten bij verschillende spanningen. Hier volgen vier schakelingen waarvan je moet beoordelen of ze voor dat doel geschikt zijn.



6.A. Geschikt is (zijn) schakeling(en)

6.B. Bereken de stroom die door het lampje gaat als de Voltmeter 12 V aanwijst.

6.C. Als de voltmeter 7,0 V aanwijst staat de ampèremeter op 1,6 A. Bereken wat dan de weerstand van het lampje is.

6.D. Hoe hangt de weerstand van het lampje af van de spanning?

6.E. Hoeveel energie gebruikt het lampje in een half uur als het is aangesloten op 12 V spanning?

7. Hieronder zijn drie meters getekend. Lees af wat ze aanwijzen en reken het eventueel om.

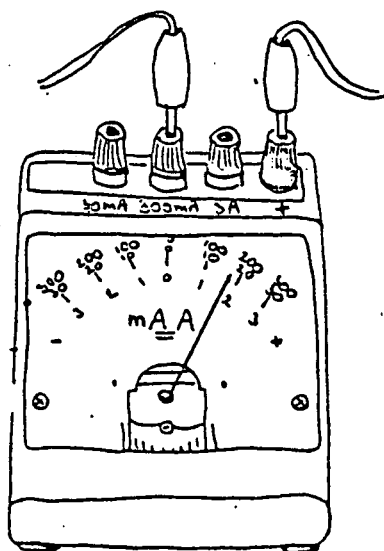
spanning- en stroomsterkte meten

vermogen en energie

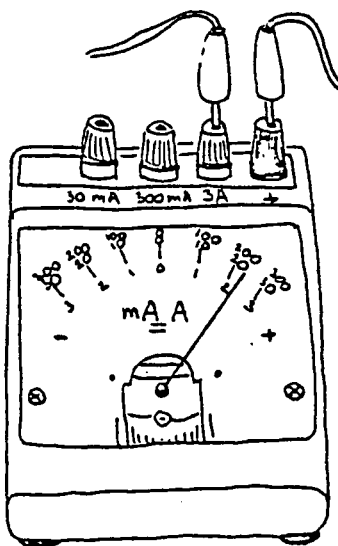
Wet van Ohm

vermogen en energie

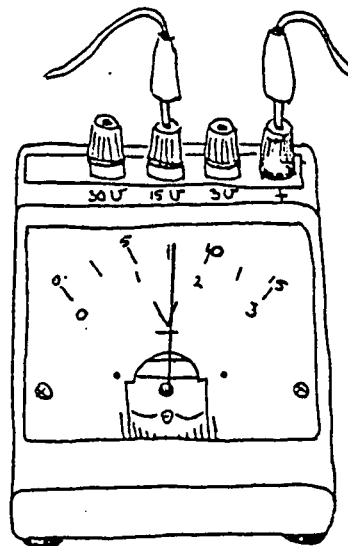
het gebruik van volt- en ampèremeter



....(A)=....(mA)



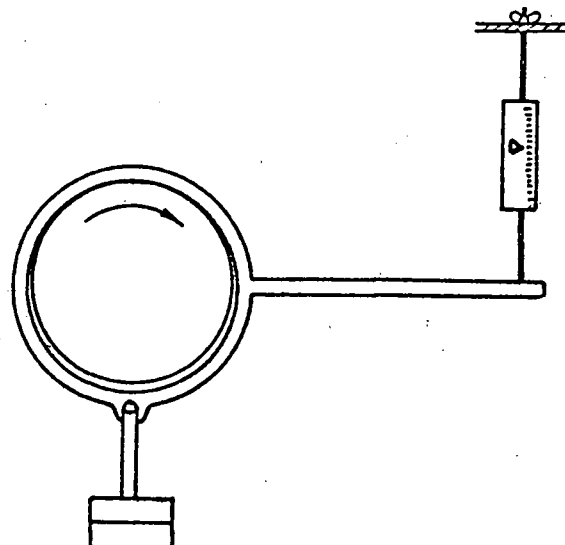
....(A)=....(mA)



....(V)

IDEEËN VOOR PROEFWERKVRAGEN

1. Het rendement van een elektromotor. De tekening hiernaast toont op schaal 1:5 een variabele belasting voor een elektromotor. De as van de motor draait kloksgewijs. Door meer of minder gewichten onderaan de ring te hangen kun je de belasting groter of kleiner maken. Met behulp van de veerunster is het geleverde koppel te bepalen.



- 1.A. Bij stilstand geeft de veerunster 0,22 N aan. Bij draaiende motor wordt 0,28 N afgelezen. Bereken het koppel dat de motor in die situatie levert.

- 1.B. Beschrijf kort welke meetinstrumenten je nodig hebt en wat je moet meten om het rendement van de elektromotor te kunnen bepalen.

- 1.C. Door uitwerking van de meetresultaten zijn Maarten en Gert tot de hiernaast weergegeven tabel gekomen. Bepaal uit de gegevens het maximum koppel dat deze motor levert.

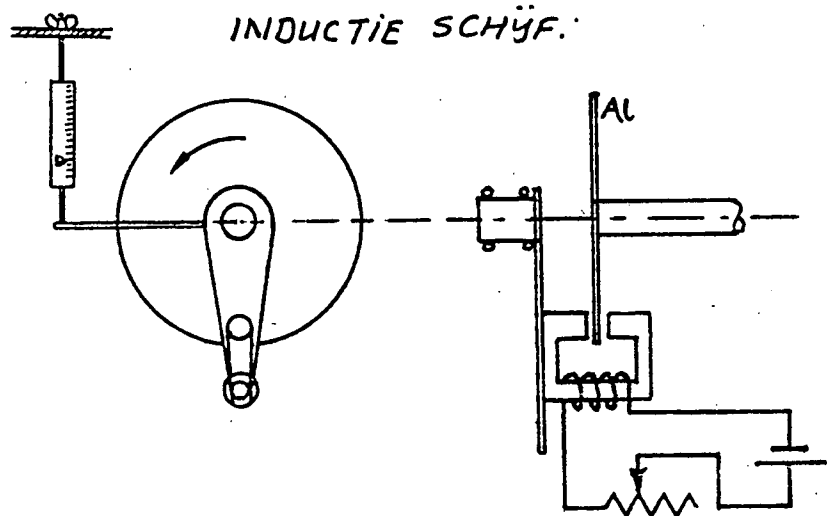
- 1.D. Teken een diagram waarin het rendement is uitgezet tegen het toerental.

- 1.E. Welk type elektromotor heeft een dergelijke karakteristiek. Noem twee voordelen van dit type motor.

n in S^{-1}	P_{el} in W	P_{uit} in W
48	280	0
47	280	14
46	285	32
44	300	53
42	310	66
40	330	72
38	340	71
16	420	21
0	430	0

BIJLAGE D.4.

2. De figuur hiernaast geeft aan hoe het koppel dat een motor levert kan worden gemeten. Een stilstaande elektromagneet remt een aluminium schijf die op de as van de motor is bevestigd. De elektromagneet kan draaien om een as in het verlengde van de motoras. Deze draaiing wordt door een veerunster tegengegaan. Uit modelproeven is gebleken dat een geleidende plaat (zelf niet van ijzer) mee gaat draaien met een rondgaande magneet.



- 2.A. Verklaar de remwerking door de elektromagneet, uitgaande van het resultaat van de modelproef.
- 2.B. Door een motor wordt de aluminium schijf op een konstant toerental gehouden. Hoe veranderen het benodigde motorkoppel en de unsteraanwijzing als de schuif van de schuifweerstand naar rechts wordt bewogen? Verklaar je antwoord duidelijk.

3. Uit het verslag van Wim en Ad van een bezoek aan een doe-het-zelver met een windmolen:

Al twee weken lang stond de molen van meneer X stil. Wij stelden daar voorzichtig een vraag over en hij antwoordde:

"Niets dan ellende, jongens. Je komt me toch niet vertellen dat jullie ook een windmolen willen bouwen?"

"Nee, meneer."

"Kunt U vertellen hoe uw molen was opgebouwd?"

"De driebladige molen was met een ketting verbonden met een gelijkstroom-generator. Een acht-polige machine met permanente veldmagneten. In het beging gebruikte ik de elektriciteit voor verlichting en voor het opladen van drie grote accu's. Zo had ik ook licht als het windstil was. Maar het

- * leek wel of het nooit windstil was, want de wieken draaiden altijd. Soms de ene kant op en bij wat meer wind de andere kant op. (noot van Wim: volgens mij kan dat niet, maar dat heb ik maar niet gezegd.) Na een paar dagen waren steeds de accu's leeg en dan moest ik ze uit het net weer opladen.

- ** Ik heb toen de accu's maar weggelaten. Dat ging een paar dagen goed, maar op een mooie avond stopte de molen zo gauw ik het licht aan deed. Toen was het dus weer mooi donker. Bovendien brandden die lampen de ene keer heel zwak en een volgende keer waren ze binnen een minuut alle zes doorgebrand. Het energie-aanbod was te wisselvallig voor deze toepassing.

Tenslotte heb ik de generator gebruikt om het verwarmingselement in mijn warmwater boiler te voeden. Het water was niet altijd even warm, maar we gingen allemaal in bad als het woei en bij rustig weer was er voldoende warm water voor de afwas. Een mooie oplossing, al zeg ik het zelf, maar twee weken later was het afgelopen. Ik zat net in bad dus ik heb van anderen moeten horen dat die generator steeds harder ging gillen en roken en dat

- *** plotseling de wieken op hol sloegen. Nog geen minuut later vlogen mijn precies uitgekiende polyester wieken in barrels."

- 3.A. Verklaar elk van de volgende verschijnselen en geef zo mogelijk aan hoe je dat effect kunt voorkomen:

- * Beginsituatie: de wieken draaiden altijd.

- ** Zonder accu's: molen stopte zo gauw het licht aanging.

- *** Als boilervoeding: de generator ging gillen en roken en plotseling sloegen de wieken op hol.

- 3.B. Welk defekt verwacht je in de generator die Ad en Wim mee hebben gekregen, kortsluiting of kringonderbreking?

- 3.C. Volgens Wim zouden de wieken in de beginsituatie steeds dezelfde kant op draaien, of er wind was of niet. Leg uit waarom je het wel of niet met Wim eens bent.

- 3.D. Ad stelt dat je voor een windgenerator beter een gelijkstrooommachine met veldspoelen kunt gebruiken. Ad's toelichting:

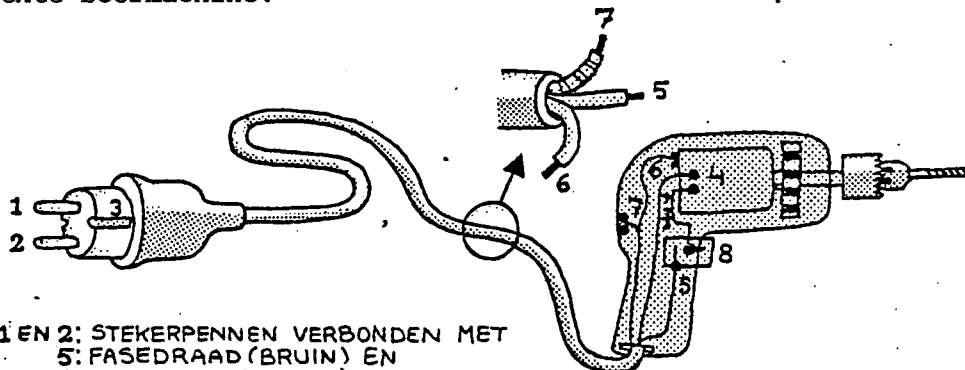
"Als de generator 12 V spanning geeft en de wind neemt toe, dan gaat hij sneller draaien. Daardoor zou de spanning toenemen. Met een elektrisch regelsysteem kun je dan automatisch de stroom door de veldspoelen vermindern."

Leg uit welke invloed Ad's regelsysteem op de inductiespanning heeft.

- 3.E. Welk gevaar wordt met Ad's regelsysteem bezworen, op hol slaan of lawaai of beide?

BIJLAGE D.4.

4. De defekte boormachine.



- 1 EN 2: STEKERPENNNEN VERBONDEN MET
5: FASEDRAAD (BRUIN) EN
6: NULDRAAD (BLAUW). DEZE VORMEN
SAMEN MET DE MOTOR (4) EN DE
AAN-UIT SCHAKELAAR (8) DE STROOMKRING.
3: RANDAARDING IS VIA DE GEEL-GROENE DRAAD (7)
VERBONDEN MET HET MACHINEHUIS.
9: ONTSTORINGSCONDENSATOR

Weerstandsmeting aan de volledige machine leverde:

- tussen de stekerpennen: $R = 0 \Omega$
- van stekerpennen naar randaarde: $R = \infty \Omega$

Na demontage bleek het snoer in prima staat.

In het motorhuis, met losgekoppelde motor, bleek

- van blauwe naar bruine draad: $R = 0 \Omega$
- van stroomdraden naar machineframe of aarde: $R = \infty \Omega$

Aan de losse motor, een parallelmotor met 12-polige rotor, werd gemeten:

- weerstand tussen de aansluitpunten 45Ω , gelijkblijvend bij verwijdering van de koolborstels.

Leid uit het onderzoek af:

4.A. Welke onderde(e)l(en) vervangen moet(en) worden.

4.B. Welke weerstandswaarde je na vervanging (aangenomen dat er geen andere defekten zijn) verwacht aan de volledige machine

- tussen de stekerpennen
- van stekerpennen naar randaarde.

5. Als we een zeer lange draad gaan wikkelen tot een spoel wordt, bij stroomdoorgang, binnen in die spoel een vrijwel homogeen magnetisch veld gevormd. De waarde van $\vec{B}$ voor het magnetisch veld binnen de spoel kan worden gegeven door:

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I_1}{l_1} \quad (\mu_0 \text{ is een konstante})$$

N is het aantal windingen

l_1 is de lengte van de spoel.

5.A. Hoe kun je aan de formule zien dat binnen de spoel de sterkte van het veld onafhankelijk is van de plaats?

5.B. Welke richtingen kan $\vec{B}$ binnen de spoel hebben en waar hangt dat van af?

Bekend is bovendien de formule voor de 'lorentzkracht' op een stroomvoerende draad in een magnetisch veld:

$$F_L = \vec{B} \cdot I_2 \cdot l_2$$

5.C. Waarom onderscheid tussen I_1 en I_2 in beide gegeven formules?

5.D. Wat is de eenheid van μ_0 ?

5.E. Bepaal μ_0 als gemeten is dat in een spoel met 12.000 windingen, een lengte l_1 van 10 cm, waardoor een stroom loopt van 2,0 A, de veldsterkte $\vec{B} = 0,3$ Tesla.

5.F. Indien de spoel met gelijkspanning wordt gevoed is $I = 2,0$ A bij $V_{\text{bron}} = 28$ V. Als de gelijkspanning wordt vervangen door wisselspanning neemt, bij een $V_{\text{bron}} = 28$ V de stroom I af tot 0,6 A.

Bereken de zelfinductiespanning in de spoel.

6. Een motorboot die 's nachts vaart moet wettelijk voorzien zijn van de volgende verlichting: toplicht 25 W, twee boordlichten elk 25 W en een heklicht van 10 W.

De minimum capaciteit van de accu is nu te berekenen. Daarbij moet je er vanuit gaan dat die verlichting een nacht van circa 7 uur (je vaart zomers) moet kunnen branden. Verder bij het berekenen van de capaciteit rekening houden met een reserve faktor van 1,7 die o.a. voorziet in stroomtoevoer naar instrumentverlichting, naar echolood, radio e.d.

6.A. Hoeveel joule energie moet in de accu opgeslagen zijn?

6.B. Te koop zijn de hieronder vermelde accu's. Kies er een (of een combinatie) die voldoende energie bevat(ten) en waarbij de klemspanning niet meer dan 15% van de bronspanning afwijkt. Kies economisch!!

NB: 10 ampère-uur capaciteit betekent dat de accu 1 uur lang 10 A kan leveren of 2 uur lang 5 A, of 4 uur lang 2½ A.

Type	Bronspanning	R_{inw} in Ω	Kapaciteit in Amp-uur	Prijs in gulden
Seapower A	12 V	0,5	85	119,=
Seapower B	24 V	0,7	125	228,=
Vetus 6	6 V	0,2	50	62,=
Vetus 12	12 V	0,4	50	78,=

BIJLAGE D.4.

6.C. Voor het opladen van de Vetus 12 accu heb je de beschikking over een watergenerator. Het schroefvlak heeft een oppervlak van $A = 0,28 \text{ m}^2$. De watersnelheid $v = 5,3 \text{ m/s}$. Het aan de schroef beschikbare vermogen

$$P_{\text{water}} = 500 \cdot v^3 \cdot A \text{ W.}$$

Het rendement van de watergenerator is 18%.

Bereken in hoeveel tijd de Vetus 12 accu opgeladen kan worden met deze watergenerator.

6.D. Benader de kracht die het schroef^{vlak}~~blad~~ in stroomrichting ondervindt.

OVERZICHT MACHINES BIJ HOOFDSTUK 3

MOTOREN

Commutatormotoren:

uitvoering stator:

- permanente magneet; alleen geschikt voor gelijkstroom.
- elektro-magneet; voor gelijkstroom én wisselstroom.

uitvoering rotor:

- kan zowel tweekpolig als meerpoleg zijn. Een meerpoleg rotor levert een konstanter koppel en in verhouding een groter vermogen.

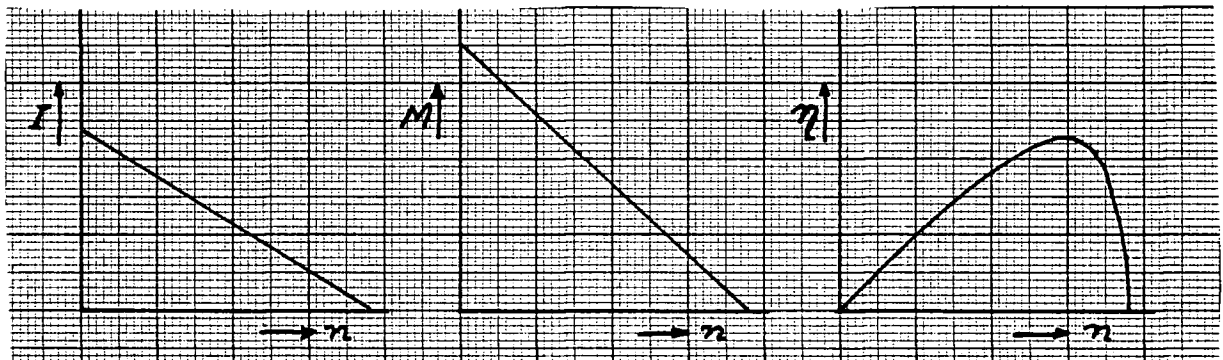
voordelen:

- groot koppel bij stilstand (extra groot bij seriemotor);
- hoog vermogen bij ruim bereik van toerentallen.

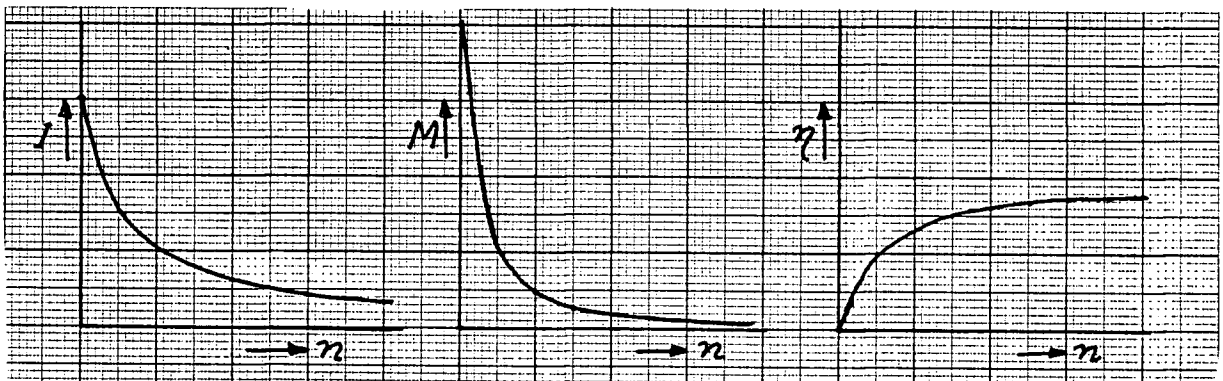
nadelen:

- meer aan slijtage onderhevig (commutator);
- toerental en stroom sterk afhankelijk van gewenste koppel;
- ontstoring noodzakelijk;
- een seriemotor kan op hol slaan.

Karakteristieken voor alle commutatormotoren m.u.v. seriemotor:



Karakteristiek van een seriemotor:



BIJLAGE D.5.

Induktie motoren:

alleen voor wisselstroom.

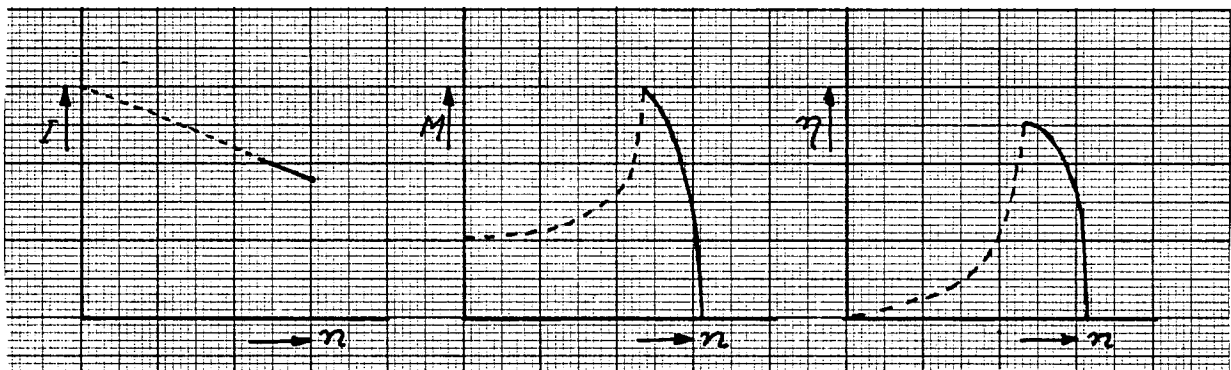
voordelen:

- robuust;
- toerental weinig afhankelijk van de belasting.

nadelen:

- klein koppel bij stilstand;
- laag rendement bij lichte belasting.

Karakteristiek induktiemotor:



Synchroonmotor:

alleen voor wisselstroom.

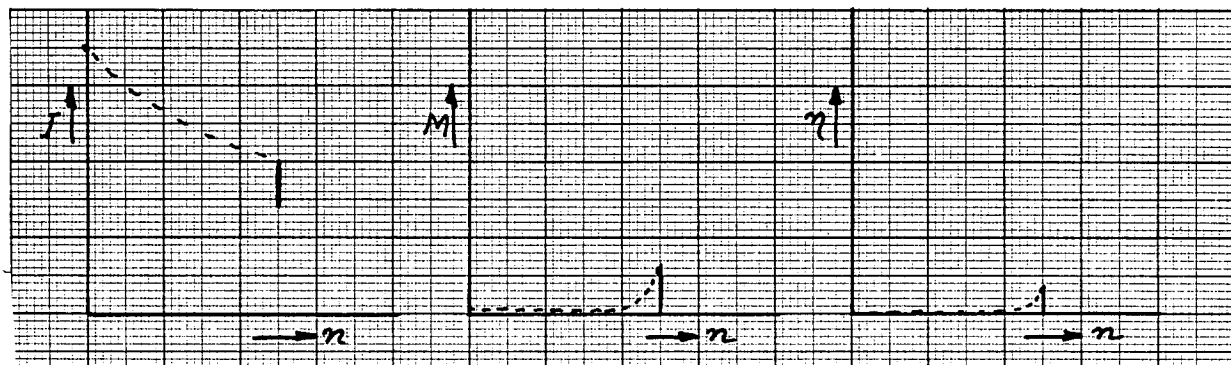
voordelen:

- toerental evenredig met de frekwentie van de netspanning (in Nederland gemiddeld 50 Hz).

nadeel:

- ongeschikt om arbeid te verrichten gezien het kleine maximum koppel.

Karakteristiek synchroonmotor:



GENERATOREN

Fietsdynamo:

- rotor is permanente magneet;
- inductiespoel staat stil;
- levert wisselspanning.

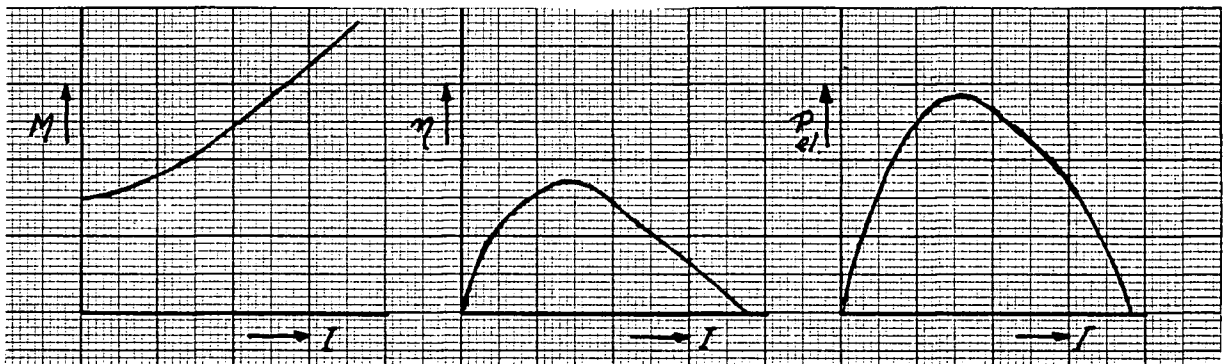
voordeel:

- robuust.

nadeel:

- spanning sterk afhankelijk van het toerental en van de gevraagde stroom.

Karakteristiek fietsdynamo:



Draaispoelgenerator:

uitvoering stator:

- permanente magneet, sterk overeenkomstig fietsdynamo.
- elektromagneet, waardoor het statorveld regelbaar is.

uitvoering rotor:

- sleepringen levert wisselspanning; dan 2-polig.
- commutator, twee- of meerpolig, levert gelijkspanning. Des te meer polen des te konstanter is de spanning.

voordelen:

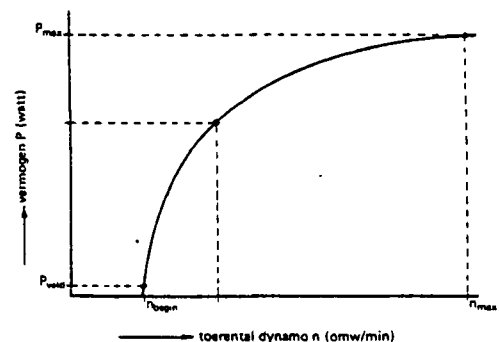
- indien het veld regelbaar is kan deze generator bij meerdere toerentallen en belastingen dezelfde spanning leveren;
- bovendien kan het veld bij lage toerentallen uit worden geschakeld waardoor de generator gemakkelijker op gang komt.

nadelen:

- commutator is slijtagegevoelig;
- ontstoring noodzakelijk;
- aparte voeding (en regelsysteem) voor de veldstroom noodzakelijk.

De karakteristiek van een draaispoelgenerator komt sterk overeen met die van een fietsdynamo.

Om een accu op te laden is een spanning van ruim 12 V nodig. Een regelsysteem schakelt de stroom door de veldspoelen pas in als de generator snel genoeg draait om die 12 V te kunnen leveren. Hier is een vermogen-toerental kromme van zo'n generator met regelsysteem weergegeven.



BIJLAGE D.6.

AANVULLING OP KADERTEKST *serie- en parallelmotor*:

Zie voor de parallelmotor ook de aanvullende informatie in het voorgaande kader "omkeerbaarheid in formulevorm".

$$\Rightarrow P = - \frac{1}{R_{\text{rot}}} V_{\text{in}}^2 + \frac{V_k}{R_{\text{rot}}} \cdot V_{\text{in}}$$

Het maximum koppel $M_{\text{max}} = I_{\text{rot}} \cdot B_{\text{st}} \cdot A \cdot N$

$$\text{De rotorstroom} = I_{\text{rot}} = \frac{V_k - V_{\text{ind}}}{R_{\text{rot}}} \quad \text{en} \quad V_{\text{ind}} = N \frac{d\phi}{dt} \Rightarrow$$

De maximum waarde van V_{ind} is: $V_{\text{ind,max}} = c_1 \cdot B_{\text{st}} \cdot n$

$$\text{Substitutie levert: } M_{\text{max}} = \frac{V_k \cdot B_{\text{st}} \cdot A \cdot N}{R_{\text{rot}}} - \frac{c_1 \cdot B_{\text{st}}^2 \cdot A \cdot N}{R_{\text{rot}}} \cdot n$$

Ofwel, aangezien in een parallelmotor alle factoren behalve n konstant zijn,

$M_{\text{max}} = M_{n=0} - C \cdot n$, een lineair afnemende functie.

Voor een seriemotor geldt echter dat rotorstroom en veldstroom gelijk zijn:

$$I = \frac{V_k - V_{\text{ind}}}{R_{\text{st+rot}}} \quad (\text{voor } R_{\text{st+rot}} \text{ lees } R)$$

Als de inductiespanning toeneemt, bij toenemend toerental, nemen de stroom- en óók de veldsterkte af.

$$V_{\text{ind,max}} = c_1 \cdot B_{\text{st}} \cdot n \quad \rightarrow \quad V_{\text{ind,max}} = c_1 \cdot c_2 \cdot I \cdot n$$

$$B_{\text{st}} = c_2 \cdot I \quad \text{substitutie in de uitdrukking voor } I \text{ levert ons:}$$

$$I = \frac{V_k - c_1 \cdot c_2 \cdot I \cdot n}{R} \quad \Rightarrow \quad I = \frac{V_k}{R + c_1 \cdot c_2 \cdot n}$$

Bij stilstand is I maximaal en in overeenstemming met de wet van Ohm.

Bij toenemend toerental wordt I wel kleiner maar nooit nul.

Hieruit is af te leiden:

$$B = \frac{c_2 \cdot V_k}{R + c_1 \cdot c_2 \cdot n} \quad \text{nadert asymptotisch tot nul als } n \rightarrow \infty$$

$$V_{\text{ind}} = \frac{c_1 \cdot c_2 \cdot V_k \cdot n}{R + c_1 \cdot c_2 \cdot n} \quad \text{nadert asymptotisch tot } V_k \text{ als } n \rightarrow \infty$$

$$M_{\text{max}} = \frac{c_2 \cdot V_k^2 \cdot A \cdot N}{(R + c_1 \cdot c_2 \cdot n)^2} \quad \text{nadert asymptotisch tot nul als } n \rightarrow \infty$$

BIJLAGE D.7.

PRAKTISCHE TOETS/ KEUZE ONDERZOEKEN

Er bestaan vele variëteiten op het toetsen van praktische vaardigheden van leerlingen. Te denken valt aan:

- a. een meetpraktikum in cirkusopstelling waarbij in bijv. een drietal korte proeven voornamelijk meetvaardigheid wordt getoetst; een voorbeeldje is hier bijgevoegd. Ik voeg veelal een laatste vraag toe van meer theoretisch niveau als uitloop voor de snelle meter.
- b. een CITO achtige 3-fase-toets, af te nemen in een blokuur, bestaande uit:
 - fase 1: voorbereiding/ meetplan/ keuze van instrumentarium
 - fase 2: uitvoering proef in kookboekvorm
 - fase 3: uitwerking van gegeven meetresultaten

Na afronding van een fase wordt het oude werkblad ingeleverd en het nieuwe gehaald. Tijdsverdeling $\pm 15/ 45/ 40$ minuten.
Hiervoor (nog) geen voorbeeld op het terrein van "Elektrische Machines".

Over keuze onderzoeken:

Het beoordelen van keuze onderzoeken van, door de leerjaren heen, steeds uitgebreider en/of gekompliceerder karakter zou op een aangepaste manier mee moeten groeien. Als eindpunt geldt dan de manier waarop het eigen onderzoek voor het S.O. in 5 HAVO wordt beoordeeld.

De praktijk is vermoedelijk in elke school verschillend en zal dat ook wel blijven. In de loop van 1984 hopen wij echter een aantal ideeën rond deze eindbeoordeling te bundelen en mogelijk ook aan te geven hoe je evenwichtig naar dat eindpunt toewerkt.

ONDERDEEL I: WEERSTANDSMETING AAN EEN MOTOR

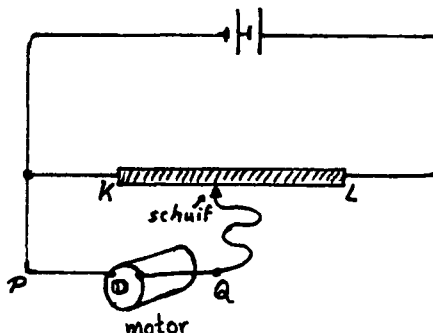
apparatuur: 2 x 1½ V batterij in houder
motor met 2 aansluitpunten
A-meter, mA-meter en V-meter
30 Ω schuifweerstand en snoeren

OPDRACHTEN EN VRAGEN

1. Bouw een schakeling volgens het schema hiernaast.
Laat de opstelling kontroleren.

KONTROLE:

2. Het verband tussen V_{PQ} en I door de motor moet worden gemeten. V_{PQ} is te variëren door de schuif van K naar L te bewegen.



Sluit V en (m)A-meter aan en doe een proefmeting.

Beantwoord dan vraag: De geschikste plaats voor de (m)A-meter is
(invullen 1, 2 of 3)

3. Toelichting bij antwoord vraag 2:

.....
.....
.....
.....

4. Voer een meetserie uit en verwerk de resultaten in tabelvorm en in een $V-I$ diagram.

5. Verklaar de vorm van het $V-I$ diagram.

Maak daarbij gebruik van het 'generatoreffekt bij elektro-motoren'.

BEOORDELING:

deel	punten
1	3
2	2
3	4
4	10
5	3

BIJLAGE D.8.

SOLDEER HANDLEIDING

Solderen is het maken van een elektrisch goed geleidende verbinding met behulp van warmte en van soldeer (= metaallegering met laag smeltpunt) dat even vloeibaar gemaakt wordt.

Solderen is niet moeilijk maar het vraagt enige oefening. Lees daarom eerst de wenken in deze handleiding en maak dan eens een tiental soldeerverbindingen. Dan vergeet je het nooit meer en het kan altijd van pas komen.

Benodigheden

Een goede soldeerbout of soldeerrevolver. Het gewenste vermogen is afhankelijk van het soort werk.

Solderen op een printplaatje: ± 25 W.

Ander elektronisch soldeerwerk: 40 - 50 W.

Sterkstroomtoepassingen (elektrische machines): 80 - 100 W.

Bij dikke draden en aansluitlippen kan de warmte te snel afvloeien om de smeltemperatuur van het soldeer te bereiken.

Het soldeer koop je op rolletjes. Soldeer is een legering van tin en lood, met wisselend gehalte van deze beide metalen. Voor algemeen radiotechnisch werk is een samenstelling van 60/40 het best geschikt, dat is soldeer met 60% tin en 40% lood. Dit soldeer heeft een of meer kernen van hars, zoals je op fig. 1 kunt zien. Soldeer met een harskern is het enige soort soldeer dat voor het maken van elektrisch geleidende verbindingen in aanmerking komt.

Gebruik nooit soldeer met een kern van een zogenaamd zuur vloeimiddel, want mettertijd zou dit zuur het koper in de gemaakte verbinding 'wegvreten'.

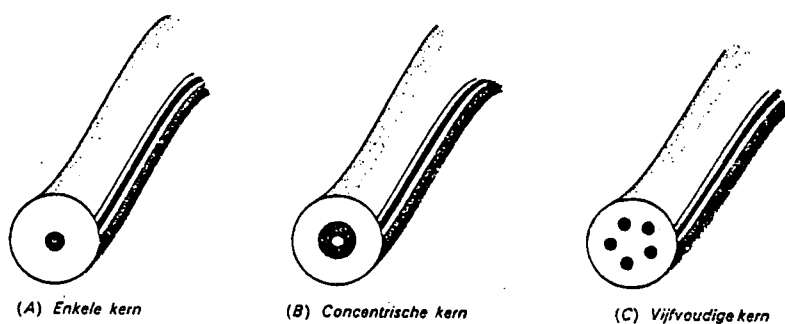


Fig. 1. Soorten van zachtsoldeer.

Eventueel kun je een klein blikje met harsoplossing (colofonium oplossing is als vioolhars in muziekwinkels te koop) op je werkbank zetten en daar tussen de bedrading door de soldeerpunt even insteken om je extra tegen oxydatie te wapenen.

Waarom wij solderen

Een koperdraadje, dat gewoon rond een transistorhouder of andere aansluitklem is gedraaid, zal het stellig voor een tijdje doen. Maar na enige tijd treedt oxydatie op aan de buitenkant en die oxydatie tast de plaats waar de draad en de aansluitklem elkaar raken aan. Soldeer vormt een bescherming tegen deze vorm van korrosie en vergroot bovendien de mechanische sterkte van de verbinding.

Het maken van elektrisch geleidende soldeerverbindingen is een al oude techniek. Intussen werden ook nieuwe methodes om draden te verbinden ontwikkeld. Draden die hoge stromen moeten voeren, worden dikwijls met behulp van speciale gereedschappen, o.m. wurgtangen, aan elkaar geknepen (zgn. kneepverbindingen). Een ander speciaal gereedschap voor het maken van zuiver mechanische verbindingen werd ontwikkeld door telefoonmaatschappijen. Maar de elektronische industrie gebruikt nog altijd soldeerverbindingen voor bedradingswerk, zelfs voor halfgeleiderapparatuur. Solderen is namelijk de enig verantwoorde manier om hechte en duurzame verbindingen te maken in elektronische schakelingen. En soldeerverbindingen zijn bovendien zeer goedkoop.

Wat in een soldeerverbinding precies geschiedt

Verschillende metalen kunnen met elkaar gelegeerd, d.i. gemengd worden, zonder dat hun moleculaire structuur verandert. Daarin zit hem het geheim van het solderen. Soldeer smelt bij lage temperatuur. In gesmolten toestand legeert het met het koper van de draad en van de verbindingsklem. Doch het gelegeerde metaal blijft aan de oppervlakte, er komt geen dieptewerking bij voor. Het volstaat wel om een hechte verbinding tussen de beide met elkaar te verbinden delen tot stand te brengen. Fig. 2 toont de doorsnede van een dergelijke

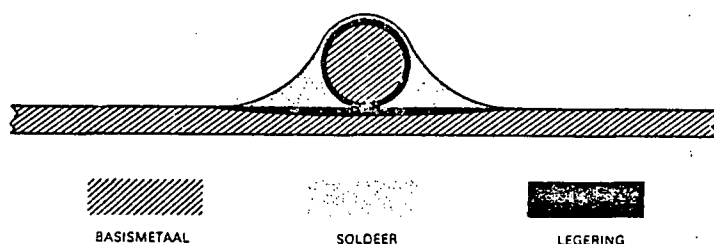


Fig. 2. Het Soldeerproces.

soldeerverbinding. De horizontale zwarte lijn is de legering van het tin en het lood van het soldeer met het basismetaleel (dat hier koper is). Nu is het zo-dat de hitte van het smeltend soldeer op het koper wordt overgedragen en dit koper tot oxydatie zou brengen, waardoor de legering tussen de beide metalen niet tot stand komen kan. Echter, het hars in de kern van het soldeer smelt voordat dit laatste smelten kan. Het vloeit over het oppervlak van het koper (daarom noemt men het dan ook een 'vloeimiddel') en voorkomt oxydatie. Overtollig hars verdampt of vormt een dun lichtbruin laagje dat geen kwaad kan.

BIJLAGE D.8.

Hou de soldeertip schoon

Voor een goede overdracht van de warmte van de soldeerbout op de verbinding, moet de punt van de soldeerstift volkomen schoon en tevens goed vertind zijn. Oxydatie op de tip vormt een isolatielaagje dat de overdracht van de warmte verhindert.

De uitdrukking 'goed vertind' betekent dat op de punt van de soldeerstift een glanzend laagje soldeer moet zitten. De meeste nieuwe soldeerbouten werden in de fabriek reeds vertind, maar er zijn er toch ook die je zelf moet vertinnen, alvorens je ze voor de eerste keer gebruikt. Met behulp van fijn schuurpapier maak je de tip voorzichtig blank, d.i. dat je het oxydatielaagje ervan verwijdt. Als de soldeerbout reeds gebruikt werd en opnieuw vertind moet worden, vijl je het oude soldeer van de punt tot het koper bloot komt. Een uitzondering vormen de soldeerstiften die een dunne stalen mantel hebben: die mogen namelijk nooit afgevijld worden.

Steek vervolgens de stekker van de soldeerbout in een wandkontaktdoos (van het lichtnet, met wisselstroom). Druk een eindje soldeer op de punt en wacht tot het vanzelf smelt en vervolgens de punt volledig bedekt. Het uitgevloeide soldeer vormt ook hier weer een glanzend laagje. Het overvloedige soldeer veeg je er gewoon af met een stukje doek. Tijdens het solderen moet de punt steeds schoon worden gehouden. Dus geregeld schoonvegen met een dotje of doekje of beter nog: met een vochtig cellulosesponsje. Deze sponsjes kun je krijgen in zaken die radio-onderdelen verkopen.

De '21-22-23' soldeermethode

De grootste moeilijkheid als men de eerste keer soldeert, is wel het overbrengen van een voldoende hoeveelheid warmte op de verbinding *voordat* het soldeer zelf erop aangebracht wordt. Als je soldeert met een soldeerbout van het potloodtype, hou je hem ook gewoon vast zoals een potlood. Druk de punt stevig op de aansluitklem of -lip en tegelijkertijd ook op de vast te solderen draad. Probeer én de aansluitklem én de draad tegelijk te verhitten. Dit op soldeertemperatuur brengen duurt gemiddeld een drietal seconden. Zwaardere verbindingen moeten ongeveer vier seconden lang voorgewarmd worden; verbindingen op prints slechts twee seconden. En nu ons hulpmiddeltje: je telt gewoon 'eenentwintig-tweeëntwintig-drieëntwintig' en dat is dan ongeveer drie seconden. Als de te verbinden delen op temperatuur zijn, druk je het eindje soldeer erop en je telt voort 'vierentwintig-vijfentwintig', wat voldoende tijd is om het soldeer te laten smelten en uitvloeien. Gemiddeld heb je voor een soldeerverbinding niet meer dan drie millimeter soldeer nodig. Dat hangt natuurlijk af van de 'grootte' van de te maken verbinding en van de dikte van het soldeer.

Trek vervolgens het soldeer en de soldeerbout tegelijkertijd van de verbinding weg. Zorg ervoor dat de verbinding niet bewogen wordt, voordat het soldeer afgekoeld en hard geworden is. Een goede soldeerverbinding moet glanzend zijn. Een mislukte verbinding ziet er grauw en korrelig uit en 'houdt' niet.

Solderen aan aansluitlippen

Ter voorbereiding vertin je de draad (zeker indien bestaande uit vele dunne koperdraadjes) en de aansluitlip. Daarna steek je de draad door het gaatje in de lip, buigt hem terug en knipt hem af. Je mag namelijk niet alleen op het soldeer vertrouwen voor het maken van een hechte verbinding. Je moet, om te beginnen een goede mechanische verbinding maken.

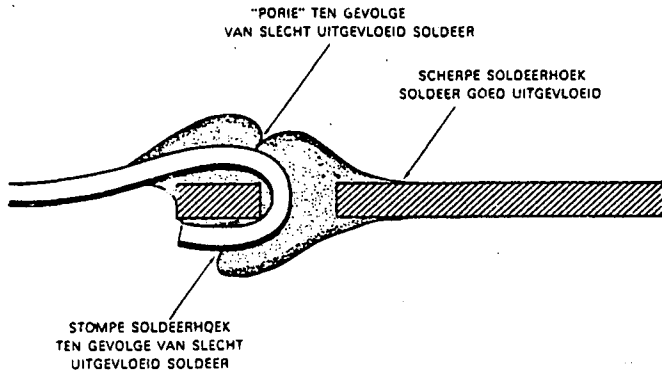


Fig. 3 Doorsnede van een soldeerverbinding met een aansluitlip.

Fig. 3 toont een doorsnedetekening van een draad die aan een aansluitlip is gesoldeerd en je ziet erop wat een goede soldeerverbinding is en wat je moet vermijden. De plaatsen aangeduid met 'slecht uitgevloeid' zijn de plaatsen die niet voldoende heet waren gemaakt om het soldeer te doen uitvloeien en een legering te doen vormen met het basismetaal. Een goede soldeerverbinding heeft in zijn geheel genomen een glad uiterlijk.

Je kunt controleren of een soldeerverbinding goed is, door lichtjes aan de draden te trekken als de verbinding volledig afgekoeld is. Als je een draad in de aansluitlip kan bewegen, dan zit hij los en moet je het solderen nog eens overdoen. Gewoonlijk volstaat het dan de verbinding nogmaals op soldeertemperatuur te brengen met de soldeerbout en de zaak komt dan vanzelf in orde. Het is dus niet nodig het soldeer te verwijderen en vervolgens opnieuw te solderen.

Soldeerwerk aan prints

De techniek om te solderen op prints is in principe dezelfde als om te solderen aan aansluitlippen of -klemmen. De te verbinden delen moeten eerst voorgewarmd worden en vervolgens wordt het soldeer erop aangebracht. Doordat deze verbindingen kleiner zijn, is er ook minder warmte en tijd voor vereist.

De beste maat soldeerstift voor soldeerwerk aan prints is een punt met een diameter van 3 mm. Deze punt moet kegel- of pyramidevormig zijn, maar mag niet scherp zijn.

De meeste bouwstenen zijn luchtdicht ingekapseld. Het is bij deze bouwstenen nadelig als de omhulling op een of andere plaats door een scheur of kerfje wordt beschadigd. Bij het buigen van de aansluitdraden moet men daarom gebruik maken van een vlakbektang, om de draden tussen de buigplaats en de bouwsteen vast te houden (fig. 4).

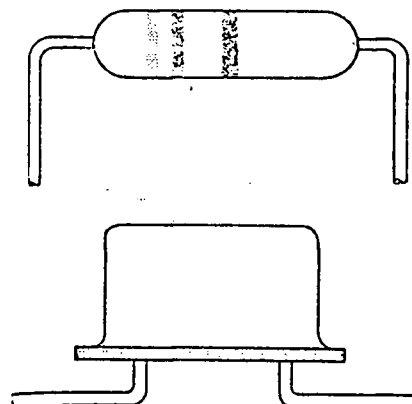


Fig. 4. Buigen van aansluitdraden.

BIJLAGE D.8.

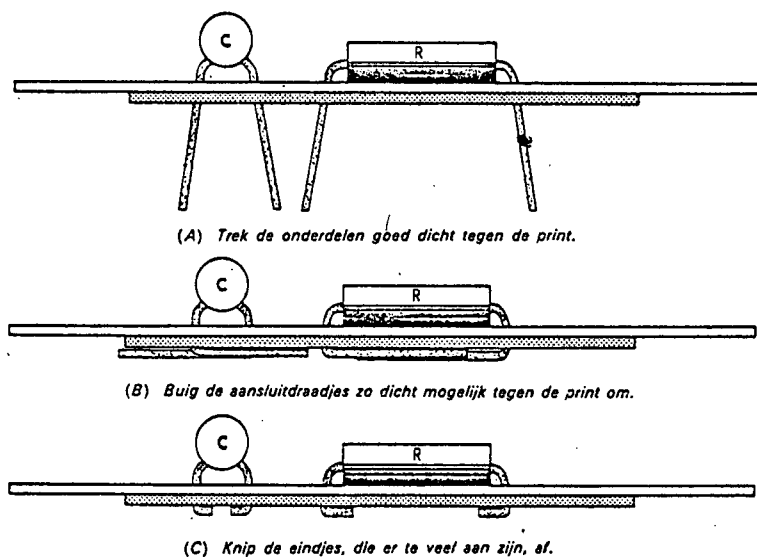


Fig. 5 Het vastzetten van de onderdelen op een print.

Als we onderdelen van een bouwdoos op een print monteren, dan doen we dat onderdeel na onderdeel en we moeten de print daarbij nogal eens verplaatsen en omkeren, zodat de reeds gemonteerde onderdelen er gemakkelijk af kunnen vallen. Om dat te voorkomen, buigen wij de aansluitdraadjes van de elementen op de onderzijde van de print opzij vooraleer wij ze vast solderen. Fig. 5 toont een weerstand en een condensator gemonteerd op een print. De aansluitdraadjes worden door de gaatjes gestoken en vervolgens worden zij naar elkaar toe gebogen. Het eindje dat er teveel aan is wordt meteen afgeknipt zodat er nog een klein haakje overblijft dat volstaat om het onderdeel op zijn plaats te houden. Daarna eerst worden de verbindingen gesoldeerd. Op prints mag je slechts een minimum aan soldeer gebruiken, net genoeg om de verbinding te maken.

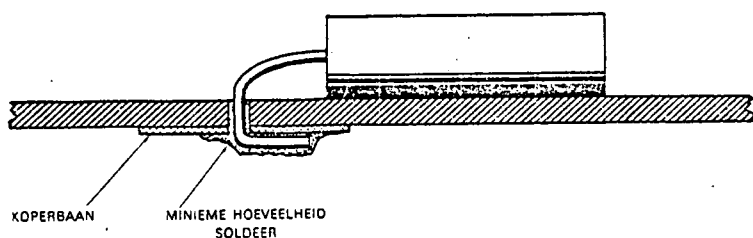


Fig. 6 Voor soldeerverbindingen op prints is maar heel weinig soldeer nodig.

De doorsnedetekening hierboven toont hoeveel soldeer voor een goede verbinding nodig is. Op deze manier voorkom je ook dat het soldeer zover uitloopt dat het kortsluiting tussen twee chips naast elkaar zou kunnen veroorzaken.

Voor de warmtegevoelige halfgeleiders moeten een paar extra voorzorgsmaatregelen getroffen worden:

Aansluitdraden voor het solderen rechtbuigen!

Soldeertijd begrenzen tot maximaal 5 seconden!

Als de soldeertijd niet voldoende is, telkens even wachten tot de soldeerplaats is afgekoeld!

Aansluitdraad met behulp van een vlakbektang koelen tussen de soldeerplaats en de halfgeleider zelf!

Aansluitdraden niet korter maken dan 12-15 mm!

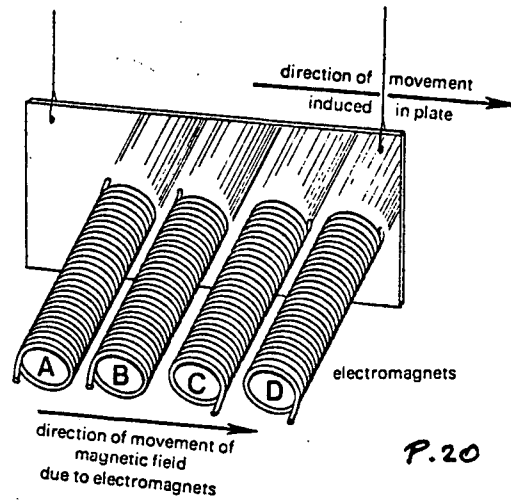
BIJLAGE I.1.

AFWIJKENDE MOTOREN

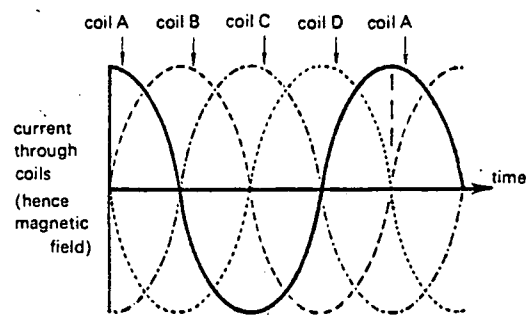
CONSTRUCTING A SIMPLE LINEAR INDUCTION MOTOR If a conducting plate is suspended freely in a vertical plane between the poles of a strong magnet and the magnet is moved quickly, the plate will swing so that it follows the magnet. Currents are induced in the plate which tend to prevent any relative movement between the magnetic field and conducting plate, so the conductor is effectively swept along with the magnetic field wave, rather like a surfer on the crest of a sea-wave. This is the principle applied in induction-motors, and many other devices such as car speedometers. The rotary induction-motor is described in 'el. mach.' and the linear induction-motor is similar.

If instead of the moving permanent magnet we use a series of electromagnets and arrange for the maximum field produced by each to move along in order $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$, (Fig. P.20) then the plate will be swept along on the moving magnetic field as before. If the plate is fixed and the electromagnets are mounted on wheels, then the electromagnets will move instead. The voltage from the mains is a.c. and having a frequency of 50 Hz it takes $\frac{1}{50}$ th sec. to complete one cycle

If we can delay the current applied to the second coil by $\frac{1}{4}$ of a cycle, then the maximum current will occur $\frac{1}{200}$ th of a second after the first coil. The current applied to the third coil needs to be delayed by $\frac{1}{2}$ a cycle and that to the fourth by $\frac{3}{4}$ of a cycle. In this way the maximum magnetic field will move steadily along the four coils (Fig. P.22) and the magnetic wave will sweep the conductor along with it.

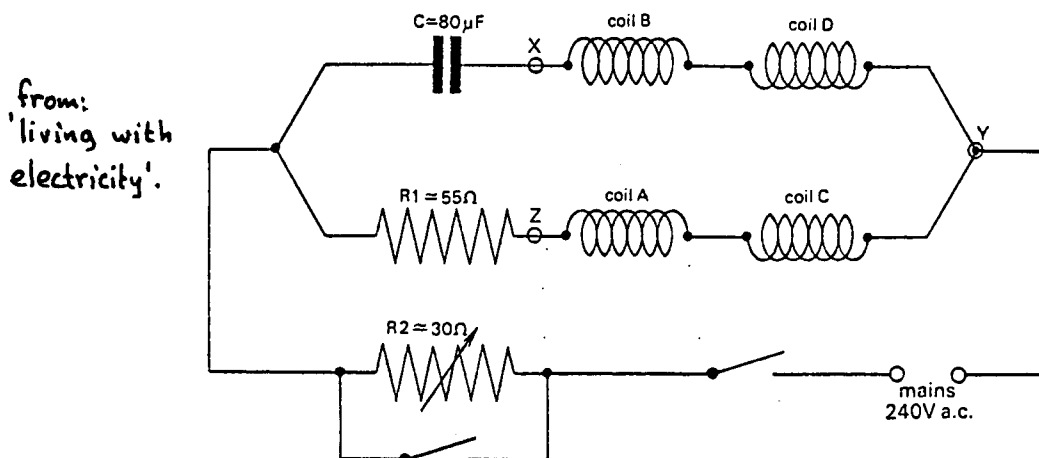


P.20



P.22

To get the currents through the four coils to be out of step like this, we need to use the arrangement illustrated in Fig. P.23. The full reason why a capacitor delays the current by $\frac{1}{4}$ of a cycle is too complicated for us to go into here, but the delay is caused by the time taken for the capacitor to charge up. The coils must be wired in the order shown, and coils A and B must be wound in the same direction while coils C and D must be wound in opposite direction.



P.23

A twin-solenoid induction motor (from 'Physics projects')

A simple form of induction motor with only one solenoid is described in *Model making for young physicists* (pp. 55-57). A soft-iron core is pulled in by the solenoid and this motion is transmitted to a flywheel which revolves once for each pull. The energizing pulses of current in the coil are timed by an eccentric, or cam, which makes contact with a springy metal brush once every revolution. As suggested in that description, it is not difficult to design a twin-solenoid motor, whose double action will allow smoother running and higher speeds. The one described in this section employs a somewhat unusual switch control of the solenoids as a substitute for the brush and eccentric on the fly-wheel shaft.

You will find this model easier to make if you can get hold of some transformer stampings, and if you can saw, drill, and tap rods accurately. Channelled, square-section 2-cm aluminium bar makes suitable guides for the sliding cores and you will also need 1-cm square iron bar and 6-mm mild-steel rod. Off-cuts of 'bakelite' or 'paxolin', insulated wire for the solenoids, terminals, and other bits and pieces are required, but you may be able to find substitutes in your own scrap-box. For example, metal or plastic curtain-rail might be used for the running channels, and Perspex, or even waxed hardwood, might replace the bakelite.

The dimensions of the model are not at all critical and the general design will be clear from Plate 5,

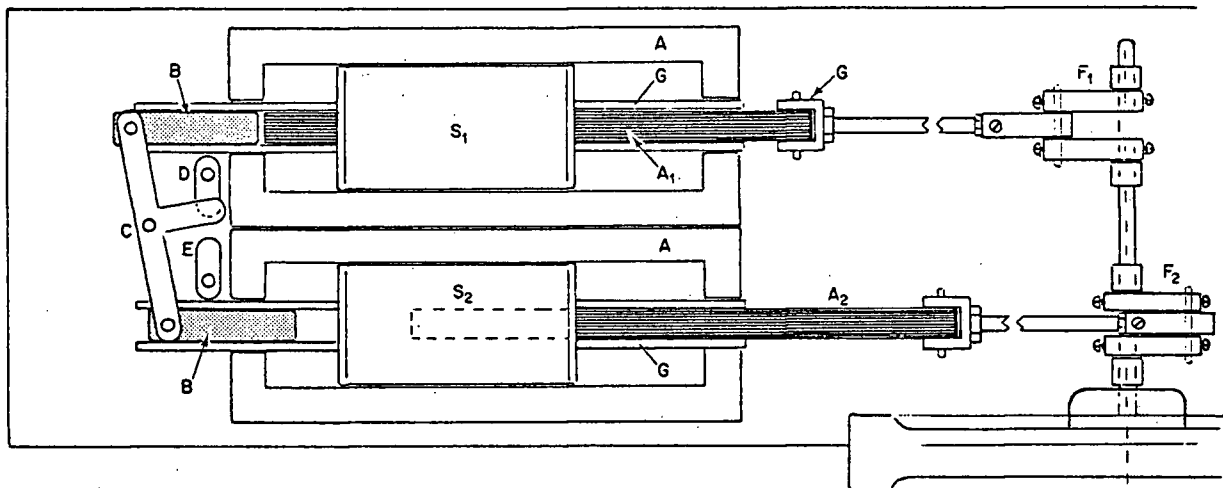


Fig. 5.1 Twin-solenoid induction motor

and Figs 5.1, 5.2, and 5.3. The magnetic fields of the solenoids S_1 and S_2 are most compactly concentrated in the soft-iron when the sliding cores A_1 and A_2 are fully inserted (Figs. 5.1 and 5.2). The resulting power strokes drive the two cranks F_1 and F_2 on the shaft, which are offset at 180° . When

each core shoots into its coil it knocks on one of the blocks of bakelite B , and moves a loosely pivoted switch—a T-shaped plate of copper C . Thus the switch makes sliding contact alternately with the two side plates D and E . The left-hand plate controls the current to the right-hand solenoid, and

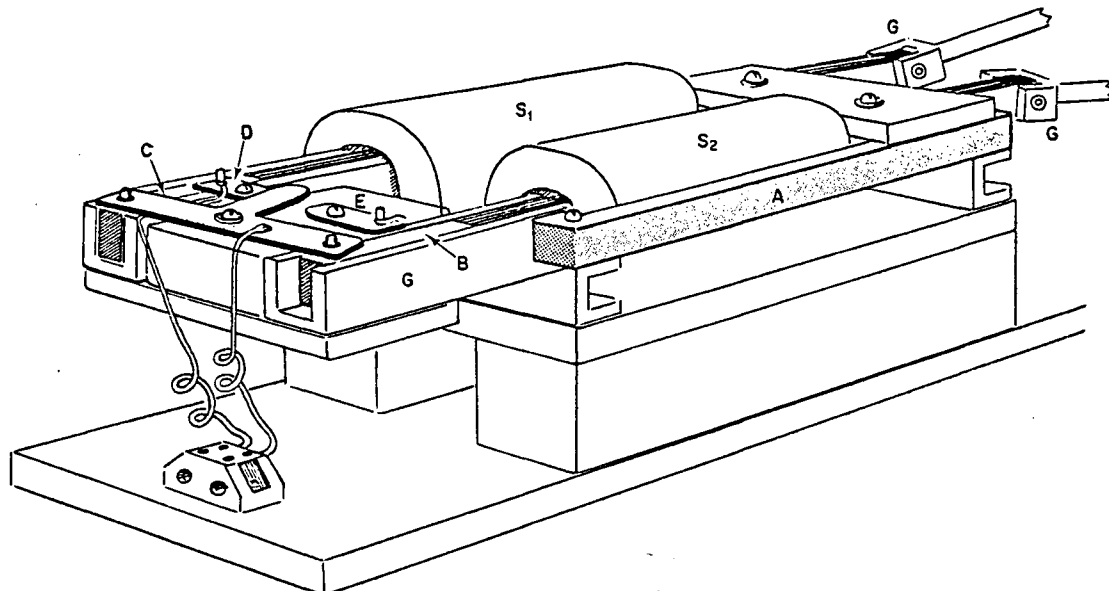


Fig. 5.2 Twin-solenoid induction motor

BIJLAGE I.1.

vice versa (Fig. 5.3). For greatest efficiency the actual length of contact time should be adjusted by altering the lengths of the sliding blocks. A light spring exerting pressure on the contacts will improve the performance, but frequent clearing of the oxidation there is necessary.

The runners and the connecting-rod heads *G* are cut from the aluminium girder. The shrouds of soft-iron, *A*, and the sliding cores, *A*₁ and *A*₂, can be built up from the laminated transformer stampings.

case it will be better to use brass bearings for the steel shaft, since metals of differing hardness always run more smoothly together. All moving parts should be oiled, and adjustments made to attain the highest possible running speed.

The 240 volts a.c. mains is stepped down to 24 volts by a heavy transformer and controlled on the low-voltage side by a 10-ampere rheostat (Fig. 5.3). The power consumption may rise to 300 watts—absurdly high for the limited mechanical energy

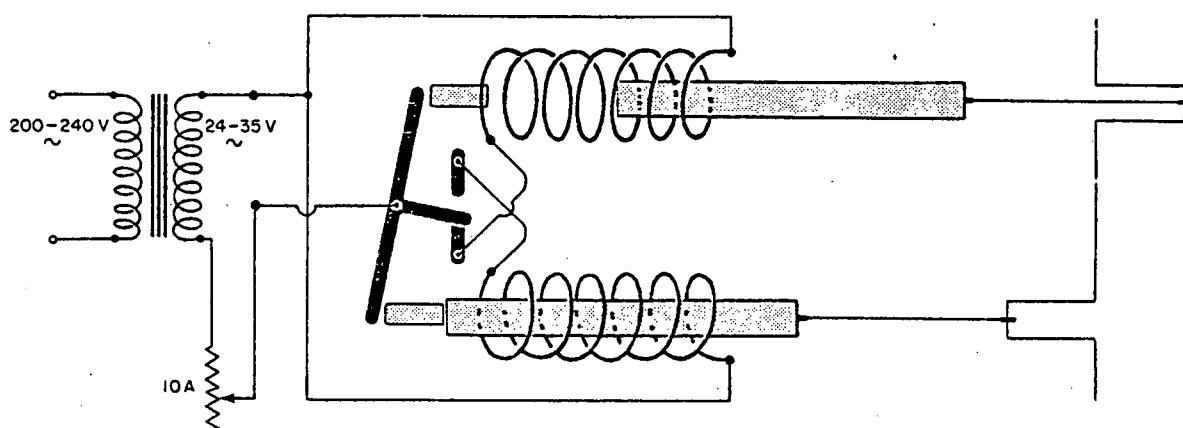


Fig. 5.3 Twin-solenoid motor circuit with step-down transformer

A 25-cm diameter pulley wheel of duralumin will serve as a flywheel, and such wheels, of various diameters, are easily obtained at handicraft and tool shops. The wheel is clamped to the steel shaft with a grub-screw; alternatively any positive 'keying' method will do. The four crank webs *F*₁ and *F*₂ are cut from 1-cm square rod and also clamped to the complete shaft with grub-screws. To ensure good alignment of the parts, the two gaps in the shaft should be sawn out after assembly is completed.

You may prefer to construct the shaft bearings more simply than shown here, perhaps using angle brackets screwed to the base-board rather than the arrangement of bolted rods seen in Plate 5. In any

produced—but the motor looks very impressive, indeed alarming, as the current exceeds 5 amperes.

Improved design and reduced friction will of course improve the efficiency of the motor, but as with all reciprocating-type engines its percentage efficiency will remain low. It is in this respect that the purely rotary Wankel petrol engine scores over its piston-type counterpart. It is useless to make our solenoid motor more massive in order to increase the magnetic flux and pull on the laminated core since there will be even greater wastage of energy at each reversal of momentum. Obviously a continually rotating mass like the armature of a conventional electric motor will convert electric power into mechanical power much more efficiently.

(from "projects in physics" - sec. sc. ser.)

How do you make a simple electric motor?

There are several designs of small electric motor. The two main types have either

- a. permanent magnets (field magnets),
- or
- b. an electromagnetic field.

For this investigation it would be best to use an electromagnetic-field motor since this is the type of motor most frequently used in electrical equipment.

The motor described below will operate on direct current (d.c.) at 6 volts. It is *not* suitable for use with alternating current (a.c.) from the mains.

1. Making the field magnet

The core of the magnet can be made as shown in Figure 22.1.

The partly circular shape of the core helps to prevent a loss of strength in the magnetic field. The core can either be made from a piece of thin mild steel strip or made up from tin-plated mild steel cut from an old tin and folded.

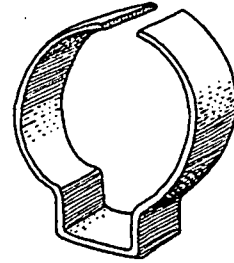


Figure 22.1 The field magnet core

2. Winding the coils

Round off the corners of the core with a file. Wrap several layers of Sellotape or other adhesive tape round the core where the coil is to be wound.

Cut four squares of plastic or cardboard and fit them over the core. This will stop the coils from slipping.

Wind about 200 turns of 0.4 mm insulated copper wire round each of the arms. The two coils must be wound so as to help each other (see Figure 22.2).

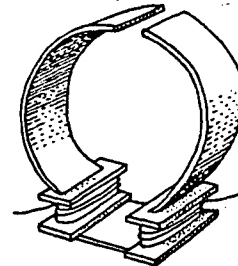


Figure 22.2 Winding the field coils

3. Testing the coils

Scrape the insulation from the last 20 mm or so of the ends of the wire. Connect the bare ends to a battery or power supply. Use a magnet to check that the two arms of the field magnet are magnetised. One arm should attract and the other repel the same end of the magnet.

4. Making the armature

The armature is best made from soft iron. Florists' wire is suitable. The iron wire should be cut into suitable lengths and bent to give the shape shown in Figure 22.3. As there are a number of wires to be bent a jig may help. A bending jig can be made by hammering nails into a piece of wood so that the wire is bent round the nails into the correct shape.

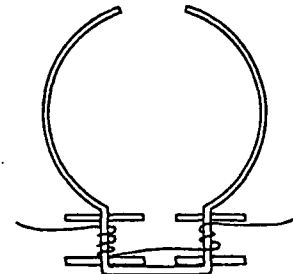


Figure 22.3 An iron wire bent to shape

The armature can be made from folded tin plate if soft iron is not obtainable.

The armature should be mounted on the shaft as shown in Figure 22.4.

Wind several layers of Sellotape round the armature to hold the iron wires in position. Use Araldite or a similar adhesive to secure the armature to the shaft. Wind about 300 turns of 0.4 mm insulated copper wire round the armature. Keep the windings spread equally on both sides of the shaft. Keep winding in the same direction. You will need to cover the windings with Sellotape to hold them in position.

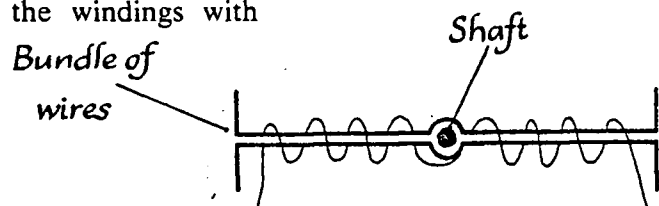


Figure 22.4 Making the armature

BIJLAGE I.1.

5. Making the commutator

You will need a 25 mm length of copper water pipe of about 15 mm diameter. You will also need a piece of wooden dowel which is a push fit inside the pipe.

Use an adhesive such as Araldite to fix the dowel inside the pipe.

When the adhesive has set drill a hole through the centre of the dowel. The hole should be a push fit for the shaft of the armature. Now make two saw cuts as shown in Figure 22.5.

Strip about 20 mm from the ends of the wire wound on the armature. Solder the end of one wire to one half of the commutator. Solder the other end of the wire to the other half of the commutator.

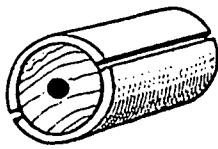


Figure 22.5 Making the commutator

6. Testing the commutator

Connect a wire to each side of a battery or power supply. Touch the loose end of one wire to one half of the commutator. Touch the loose end of the other wire to the other half of the commutator.

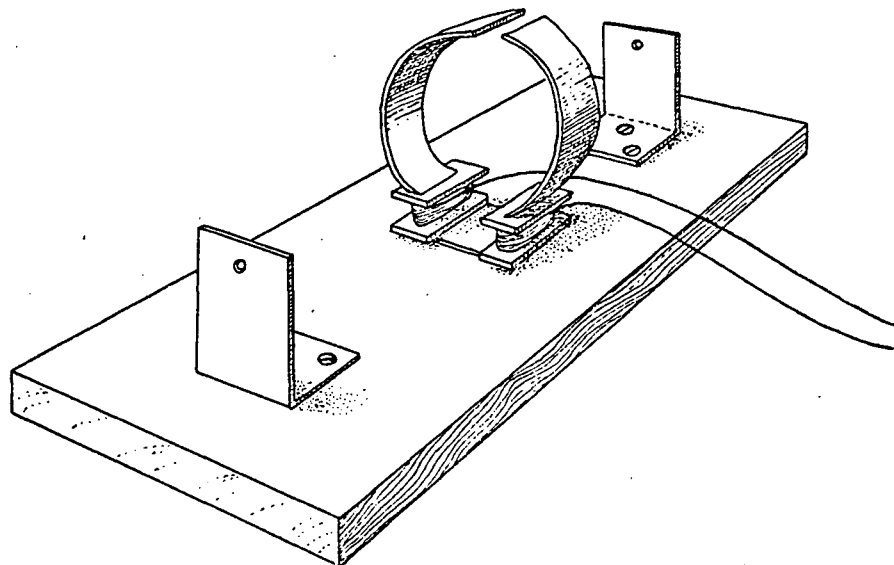
Use a magnet to check that one end of the armature attracts one end of the magnet. The other end of the armature should repel the same end of the magnet.

Now change over the two wires touching the commutator. Do the magnetic poles of the armature change?

7. Assembling your motor

- i. Fix the field magnet to the baseboard.
- ii. You will need two brackets to hold the two ends of the armature shaft. They can be made of suitable material, such as brass or copper strip bent to shape.
- iii. A hole should be drilled in each bracket to support the shaft. The shaft and armature must turn freely in the middle of the field magnet. Check the height of the shaft holes before drilling the brackets.

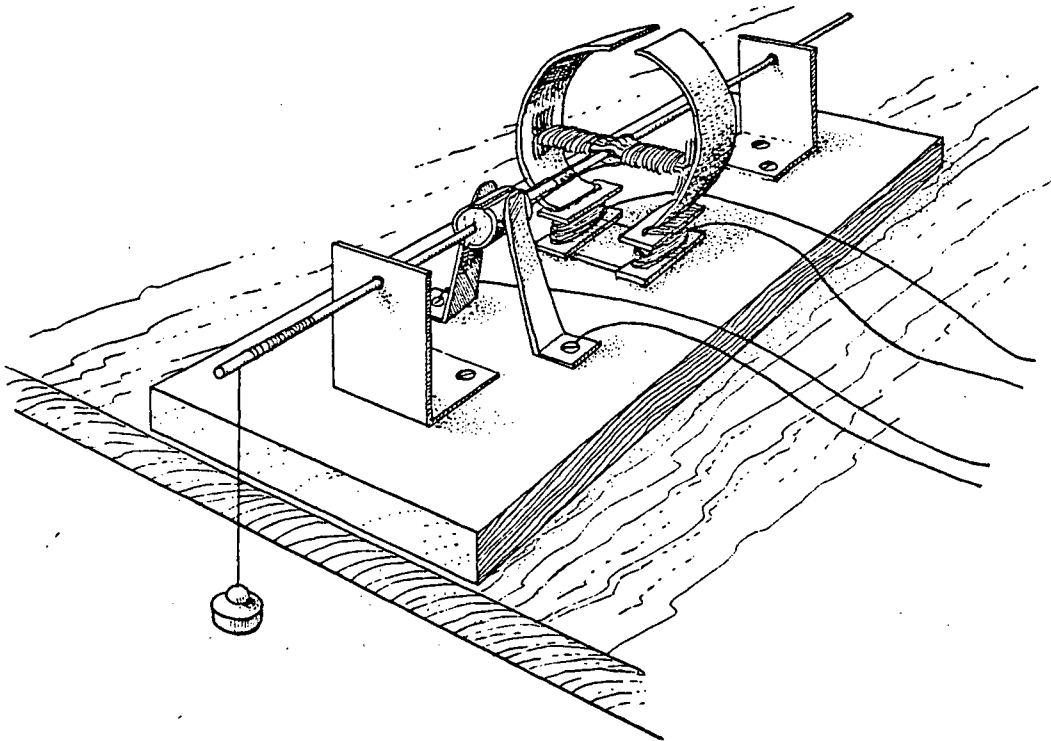
Figure 22.6 A partly assembled motor



- iv. Screw the two brackets to the baseboard with the shaft and armature in position. Your motor should look like the drawing in Figure 22.6.
- v. Lengths of plastic tubing pushed on to the axle will keep the armature in the right position in the field magnet.
- vi. Brushes can be made from thin pieces of brass or copper. The brushes should be curved and fixed to the baseboard so that they touch the sides of the commutator.
- vii. Connect the wires from the d.c. power supply and the field magnet to the brushes.

Your motor should now look like Figure 22.7.

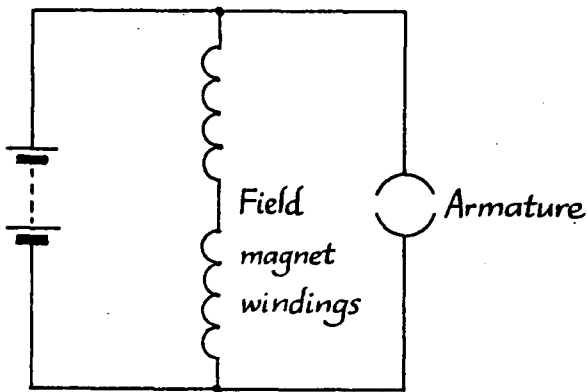
Figure 22.7 A complete electric motor



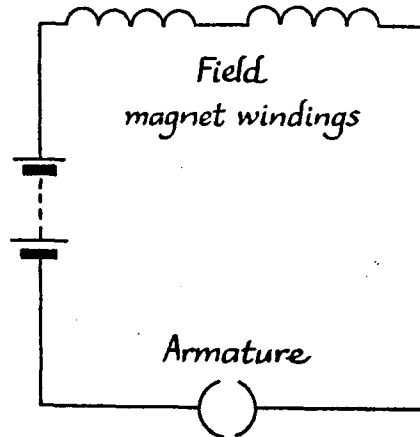
Go on from here . . .

1. Test your motor by connecting the commutator brushes and field magnet windings to a d.c. power supply. You may need to give the commutator a spin with your fingers to get the motor started.
2. Reverse the connections on the power supply. Does this affect the direction of rotation of the armature of the motor?
3. The commutator and field magnet windings can either be connected in series or in parallel (see Figure 22.8). Does changing the connections make any difference to the speed, direction of rotation or power of the motor. What is the effect of reversing the power supply connections?
4. Set up the motor with parallel connections and note the effect on the speed and power of the motor as the voltage is increased step by step up to 10 volts. Check that the wires are not becoming hot. If the wires become hot switch off immediately.

BIJLAGE I.1.



PARALLEL CONNECTION



SERIES CONNECTION

Figure 22.8 Motor connections

***WARNING:** Under no circumstances should alternating current at mains voltage be used

5. Repeat your investigation with the motor using series connections, is there any change in the speed and power as the voltage increases?
6. Will the motor work if you use an alternating current of a suitable voltage with either series or parallel connections?

(uit 'energie en water')

Hoe werkt eigenlijk een kilowattuurmeter?

Eigenlijk is de kilowattuurmeter een langzaam lopend speciaal elektromotortje dat via tandraden een telwerk aandrijft.

Zo iets als we ook bij de kilometerteller in een auto vinden. Hoe meer er verbruikt wordt, hoe sneller de motor loopt en hoe vlugger de verbruikte kilowatturen worden bijgeteld.

Dat kunt u zelf zien. Iedere kilowattuurmeter heeft een klein venster waardoor het draaien van de motorschijf te zien is.

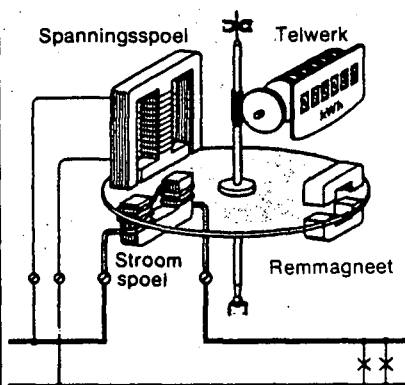
Op iedere kilowattuurmeter staat aangegeven hoeveel omwentelingen de schijf maakt voordat één kilowattuur verbruikt is.

Wanneer er in huis maar één 100 W gloeilamp brandt zal de motor in de kilowattuurmeter langzamer draaien dan wanneer bij voorbeeld een 1.000 W-kookplaatje is ingescha-

keld. Wanneer echter de 100 W gloeilamp 10 uur brandt is er evenveel elektriciteit verbruikt en heeft de kilowattuurmeter evenveel omwentelingen gemaakt, als wanneer het 1.000 W-kookplaatje één uur is ingeschakeld geweest. Elektriciteitsverbruik is vermogen (in watt of kilowatt) maal de tijdsduur dat het vermogen is ingeschakeld geweest. Vermogen (watt) is ook

spanning (220 volt) maal stroomsterkte in ampères. In de kilowattuurmeter wordt nu de spanning en de stroomsterkte tegelijkertijd gemeten, zodat precies wordt aangegeven hoeveel kilowattuur is verbruikt. Dat dat ook klopt met de werkelijkheid wordt gegarandeerd doordat de kilowattuurmeters, onder toezicht van de Dienst voor het IJkwezen, zijn geijkt.

Zo werkt een kilowattuurmeter



Afhankelijk van de spanning over de spanningspoel en de stroom die door de stroomspoel loopt draait de ronde schijf er-tussen langzamer of sneller. De schijf drijft via een tandrad de teller aan. De remmagneet zorgt ervoor dat de draaiende schijf niet op hol slaat.

Inhoud

Benodigdheden per proef of onderzoek	70
Meetresultaten van enkele proeven	75
Bouwbeschrijvingen	82

BENODIGDHEDEN PER PROEF OF ONDERZOEK

BENODIGDHEDEN PER PROEF OF ONDERZOEK

Benodigdheden

* = zie meetresultaten
verderop in deze
AVOL

HOOFDSTUK 1

- paragraaf 1.4. 3. spoel met gelijkspannings voeding
 kompasnaald
4. ijzervijlselstrooier
 vel plastic
 magneten

HOOFDSTUK 2

- paragraaf 2.1. 1. zie 1.4/4 of alternatief naar keuze
- 2* staafmagneet met bijpassende veerunster
 statief met stelschroef voor de positie van de staaf-
 magneet
 spoel met voeding en ampèremeter
- 3* hall-sonde met versterker (zie bouwbeschrijving)
- paragraaf 2.2. 1. kurk; zes spelden; een meter dun geïsoleerd koperdraad;
 twee magneten (2 staafmagneten óf 1 hoefmagneet);
 plankje; gelijkspanningsvoeding
3. een gedemonteerde commutatormotor (aangeraden wordt
 deze permanent ten toon te stellen en te voorzien van
 labels bij de onderdelen, overeenkomstig het themaboek)
- paragraaf 2.3. 2. 'schommel' ter bepaling van de richting van de lorentz-
 kracht; gelijkspanningsvoeding en 2 staafmagneten
 (of 1 hoefmagneet)
- 3* platte magneten in houders (zie bouwbeschrijving)
 veerunsters, statiefmateriaal
 gelijkspanningsvoeding en ampèremeter
4. stroombalans met gewichtjes en voeding
- paragraaf 2.4. 1. kurk, spijker, twee platte magneten, cellotape, een
 meter dun geïsoleerd koperdraad
2. spoel, magneet, (gevoelige) voltmeter
 gelijkspanningsbron en aan/uit schakelaar
3. draaispoelgenerator met klos en valgewicht
 voltmeter
 lampje met niet te klein vermogen. Indien het lampje
 wordt gevoed door de generator moet de valsnelheid
 van het gewichtje duidelijk kleiner zijn.

BENODIGDHEDEN PER PROEF OF ONDERZOEK

Benodigdheden

4. een gedemonteerde dynamo waarin de inductiespoelen zich ter weerszijden van het anker bevinden of waarin een enkele spoel voorzien van een U-vormige kern.
Zie ook de foto in het themaboek. Ook deze dynamo is permanent en gelabeld ten toon te stellen.

paragraaf 2.5. 1* Helmholtz spoelen met gelijkspanningsbron en schakelaar

en 2. dun geïsoleerd koperdraad
oscilloskoop

3. dynamo met motoraandrijving
oscilloskoop en voltmeter(s)
voeding

4, 5 en 6. schijfgenerator (zie bouwbeschrijving)
spoelen en kernen van opbouwtrafo's
voltmeter(s)
lampje, stopwatch

7. spoel met staafmagneet, ampèremeter
spanningsbron, kompasnaald

HOOFDSTUK 3

paragraaf 3.2

Meetmethoden

voor elektrisch vermogen bij lage spanning:

V- en A-meter, óók voor wisselspanning

voor elektrisch vermogen bij netspanning:

joulemeter óf V- en A-meter veilig weggewerkt in
een vaste opstelling

voor geleverd koppel:

óf valgewicht

óf slipkoppeling (zie bouwbeschrijving)

óf handaandrijving via koord en unster

óf motoraandrijving mét koppelopnemer (zie bouw-
beschrijving)

voor toerental:

óf stroboskooplamp

óf overbrenging naar langzame as en stopwatch

óf oscilloskoop (voor wisselstroomgenerator)

BENODIGDHEDEN PER PROEF OF ONDERZOEK

Benodigdheden

Motoren

Probeer, waar mogelijk, met laagspanning te werken.

- paragraaf 3.4. 1. tweepolige motor } van vergelijkbaar vermogen
 *meerpolige motor }
 (permanente veldmagneten of veldspoelen, maar in
 het laatste geval géén seriemotor)
- 2* serie- en parallelmotor. Zie bouwbeschrijving voor
 aanpassingen aan een ruitenwissermotor zodat van
 deze de spoelen zowel in serie als parallel kunnen
 worden geschakeld.
3. gelijkstroommotor } van vergelijkbaar vermogen
 universeelmotor }
- paragraaf 3.5. 1. magneetschijf - aluminiumschijf (zie bouwbeschrijving)
3. aluminiumschijf + aangepaste opbouwtransformator
 (zie bouwbeschrijving)
- 4* induktiemotor (zie bouwbeschrijving)
- paragraaf 3.6. 1. synchroonmotor óf dynamo
- paragraaf 3.8. 2. traditionele dynamo (zie 2.4 akt. 4)
 moderne dynamo (waarvan de hartlijn van de spoel
 samenvalt met de draaias van de magneet)
- paragraaf 3.9. 1. tweepolige gelijkstroomgenerator
 tweepolige wisselstroomgenerator
 meerpolige gelijkstroomgenerator
2. autodynamo met veldspoelen (geef duidelijk aan waar de
 voeding van de veldspoelen moet worden aangesloten en
 waar spanning kan worden afgenomen)

HOOFDSTUK 4

- paragraaf 4.1. 1. gelijkstroommotor, ampèremeter, valgewichtje

- paragraaf 4.2. 1 t/m 5. opbouwtransformator met twee gelijke en enkele andere
 spoelen, twee voltmeters en een ampèremeter (v)
 voedingskast

BENODIGDHEDEN PER PROEF OF ONDERZOEK

Benodigdheden

4. idem met 3 lampjes parallel en een ampèremeter sekundair
Enkele opstellingen niet met een opbouwtrafo maar met
een kommerciële transformator met (hopelijk) beter
rendement.

paragraaf 4.3. 1. huisbel met voeding

HOOFDSTUK 5

- paragraaf 5.2. 1. gereedschap (schroevendraaier, mesje, kniptang, soldeerbout en ohmmeter)
defekte elektrische apparaten waarin een motor of generator verwerkt is. Deze apparaten kunnen door leerlingen worden meegebracht. Het lijkt ook verstandig een aantal niet werkende machines te prepareren.
Bij het aanbrengen van schade valt te denken aan:
- snoer met onderbroken ader aanbrengen
 - aarddraad en stroomdraad in het apparaat of in de stekker verwisselen
 - te korte of ruwe koolborstels aanbrengen
 - doorgeslagen of namaak condensator aanbrengen
 - een draadje uit motor/generator verwijderen
 - een soldeerverbinding losmaken
 - kortsluiting maken door isolatie te beschadigen
 - defekte zekering inbouwen
- Ook combinaties zijn mogelijk.

HOOFDSTUK 6

- paragraaf 6.3. 1. wisselspanningsbron, twee draden of schuifweerstand, lampje (of enkele lampjes parallel), ampère- en voltmeters ($\sim$).
Bij draden van 3 ohm lampjes van zeer laag voltage gebruiken (1,25 V of 2 V) die een stroom van 0,25 - 0,5 A vragen. Andere combinaties uitproberen. Zonder transformatoren mogen de lampjes slechts zwak branden. Aangeraden wordt geen 6 V lampjes te gebruiken omdat dan met transformator de hoogspanning te hoog wordt.
Twee transformatoren 1:10 à 1:20.

paragraaf 6.4.

- 1 t/m 4. omgebouwde ruitenwissermotor (§ 3.4 - 2)
schuifweerstand voor lage weerstandswaarden die een flinke stroom kan verdragen (2-3 A)
ohmmeter
dynamometer of hijsgewicht, I- en V-meter.

BENODIGDHEDEN PER PROEF OF ONDERZOEK

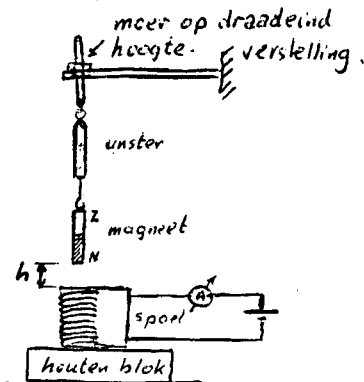
Benodigdheden

- paragraaf 6.5. 1. draaispoelmotor, variabele overbrenging (mogelijk een variabele tandwielkast), poelie + hijsgewicht, stopwatch, I- en V-meter
2. idem met extra statiefmateriaal en katrollen + extra gewicht
- paragraaf 6.6. 1. windmolen met slipkoppeling (dynamometer) en de mogelijkheid om op de aangedreven as grote tandwielen of poeliewielen aan te brengen (zie bouwbeschrijving), windsnelheidsmeter, toerenteller
2. fietsdynamo, I-meter ($\sim$), V-meter ($\sim$), oscilloskoop of stroboskoop, dynamoandrijving (§ 3.2)
- paragraaf 6.7. 1. waterturbine met toebehoren (zie bouwbeschrijving)
2. dynamometer en toerenteller voor waterturbine
3. zie § 6.6-2

MEETRESULTATEN VAN ENKELE PROEVEN

MEETRESULTATEN VAN ENKELE PROEVEN

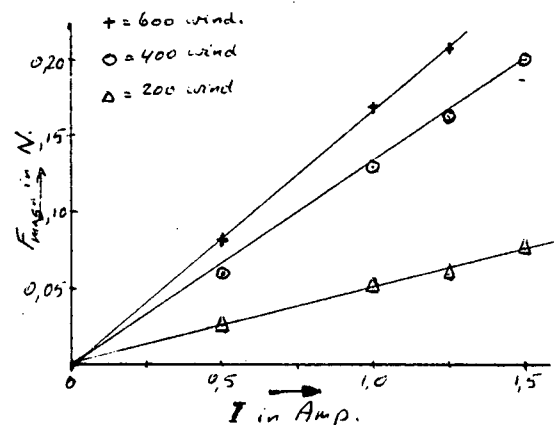
H2/ § 2.1/ 2 Invloed stroomsterkte en aantal wikkelingen op de magnetische veldsterkte.



$h = 1 \text{ mm}$ $N = 600 \text{ windingen}$		$N = 400 \text{ windingen}$		$N = 200 \text{ windingen}$	
$I \text{ in A}$	$F_m \text{ in N}$	$I \text{ in A}$	$F_m \text{ in N}$	$I \text{ in A}$	$F_m \text{ in N}$
0	0	0	0	0	0
0,5	0,085	0,5	0,06	0,5	0,025
1,0	0,17	1,0	0,13	1,0	0,05
1,25	0,21	1,25	0,165	1,25	0,06
		1,5	0,20	1,5	0,075

Konklusies en discussie:

- de magnetische kracht is evenredig met de stroomsterkte
- de invloed van het aantal wikkelingen is niet eenduidig; bij spoelen waarvan je naar keuze 200/400 of 600 wikkelingen kunt gebruiken is waarschijnlijk de verdeling van wikkelingen over de lengte van de spoel niet steeds gelijk; de plaats van de magneet ten opzichte van de spoel is dan niet goed vastgelegd met het gemeten resultaat. ($N = 400$ dichterbij en $N = 200$ verder van de magneet).



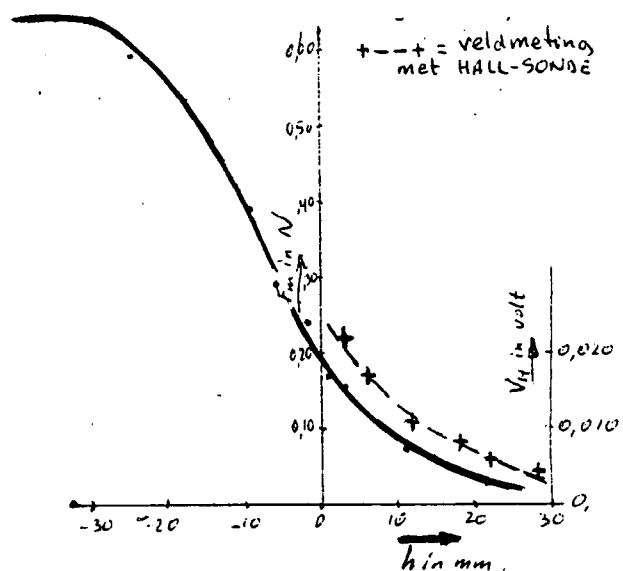
grafiek A: onderlinge kracht magneet en spoel bij variabele I en N .

MEETRESULTATEN VAN ENKELE PROEVEN

H2/ § 2.1/ 2 en 3 Invloed positie t.o.v. de stroomspoel op de magnetische veldsterkte.

Het $B-h$ verband is goed te meten, zowel met magneet als met hall-sensor. De 'effektieve hoogte' van de magneetpool boven de spoel is onduidelijk. De resultaten van beide metingen zijn in het diagram in h -richting iets verschoven (5-10 mm).

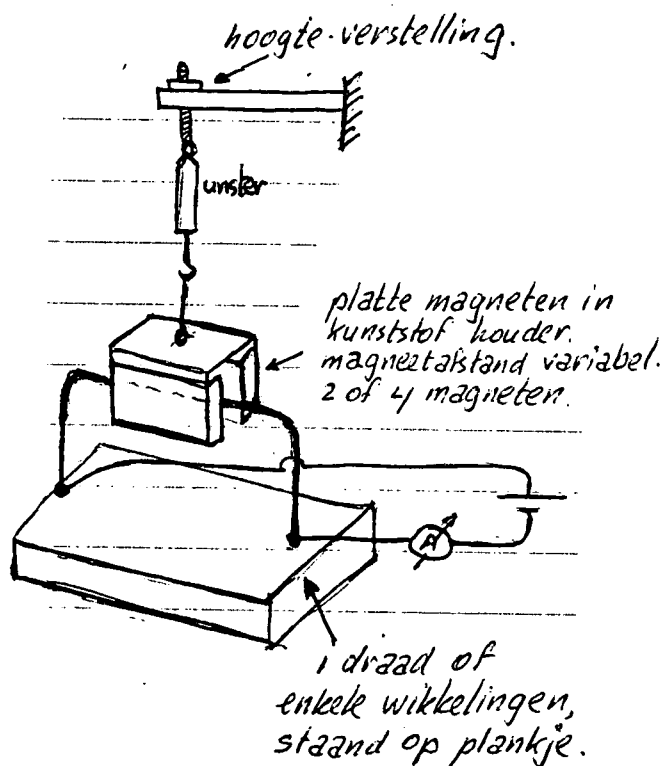
$I = 1 \text{ A}$		$N = 600 \text{ windingen}$
$h \text{ in mm}$	$F_m \text{ in N}$	$V_{\text{HALL}} \text{ in volt}$
28	-	0,004
22	0,03	0,006
18	-	0,008
15	0,06	
12		0,011
11	0,075	
7,5	0,105	
6		0,017
3	0,155	0,022
1	0,17	
-2	0,24	↑
-6	0,29	
-9	0,39	meting met
-25	0,59	HALL-sonde
-30	0,64	



grafiek B: invloed van de positie op de hartlijn van de spoel op de magnetische veldsterkte.

MEETRESULTATEN VAN ENKELE PROEVEN

H2/ § 2.3/ 3 Metingen van de lorentzkracht.



- In deze opstelling is te variëren:
- de stroomsterkte door draad/draden
 - aantal wikkelingen (1 tot 5)
 - sterkte magnetisch veld door houders te maken met verschillende magneetafstand (5 mm $\rightarrow$ $\pm$ 0,08 T; 10 mm $\rightarrow$ $\pm$ 0,05 T)
 - lengte, l , waarover het magnetisch veld werkt, door houders met twee magneten (5 cm) en vier magneten (10 cm) te maken.

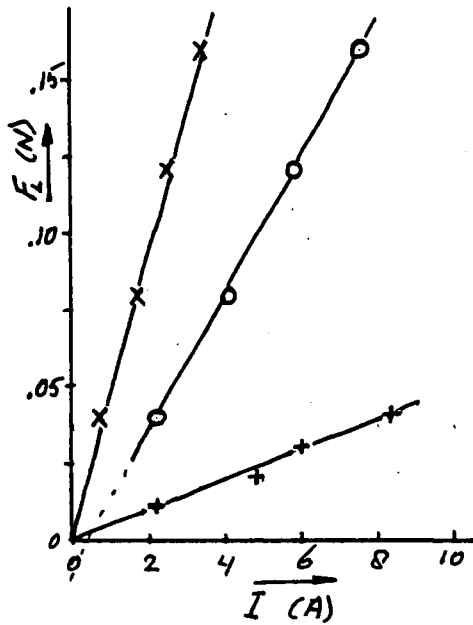
NB: magneten 90° draaien, waardoor $l \approx 2$ cm wordt is niet zinvol omdat dan de invloed van de randen te groot wordt (tot 50% afwijking).

$B = 0,05 \text{ T}; l = 0,05 \text{ m}$				$B = 0,08 \text{ T}; l = 0,05 \text{ m}$			
$N = 1$		$N = 4$		$N = 1$		$N = 4$	
I in A	F_L in N	I in A	F_L in N	I in A	F_L in N	I in A	F_L in N
2,5	0,01	2,3	0,04	2,1	0,01	2,2	0,04
5,5	0,02	5,2	0,08	4,8	0,02	4,1	0,08
7,5	0,03	7,8	0,12	6,0	0,03	5,8	0,12
11,2	0,04	10,3	0,16	8,3	0,04	7,5	0,16

MEETRESULTATEN VAN ENKELE PROEVEN

$B = 0,08 \text{ T}; \quad l = 0,10 \text{ m}$			
$N = 1$		$N = 4$	
$I \text{ in A}$	$F_L \text{ in N}$	$I \text{ in A}$	$F_L \text{ in N}$
2,5	0,04	0,7	0,04
5,7	0,08	1,7	0,08
9,0	0,12	2,5	0,12
11,8	0,16	3,4	0,16

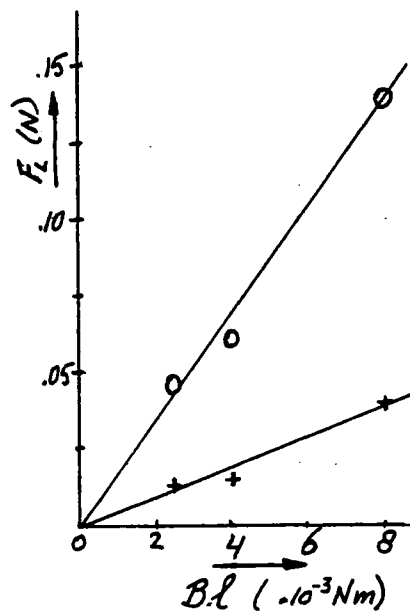
De veldsterkte meting met behulp van de hall-sensor is niet nauwkeurig. Die veldsterkte varieert als je in langsricting tussen de magneten door beweegt. Ook is, sinds deze metingen, de voeding van de hall-sensor nog verbeterd.



$+ N=1$
 $\circ N=4$
 $\times N=4; l=0,10 \text{ m}$

$l=0,05 \text{ m}$
 $B=0,08 \text{ T}$

$\circ$ foute aflezing bij $I=0$?



$I=3 \text{ A}$
 $+ N=1$
 $\circ N=4$

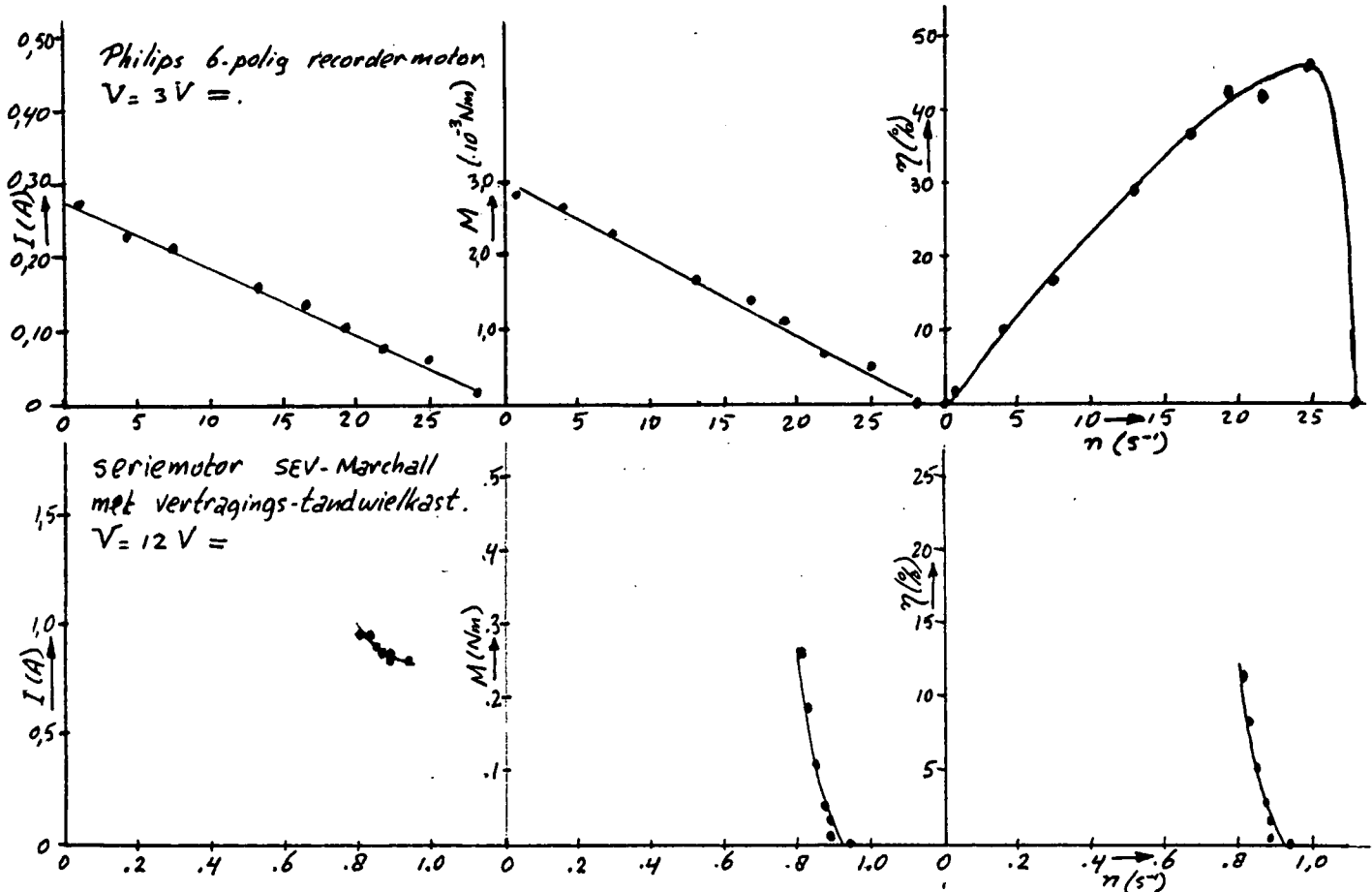
MEETRESULTATEN VAN ENKELE PROEVEN

H2/ § 2.5/ 1 Een 'homogeen' magnetisch veld is gemaakt met behulp van twee helmholtz-spoelen met elk 320 windingen.
 $I_{\text{veldspoelen}} = 0,40 \text{ A.}$

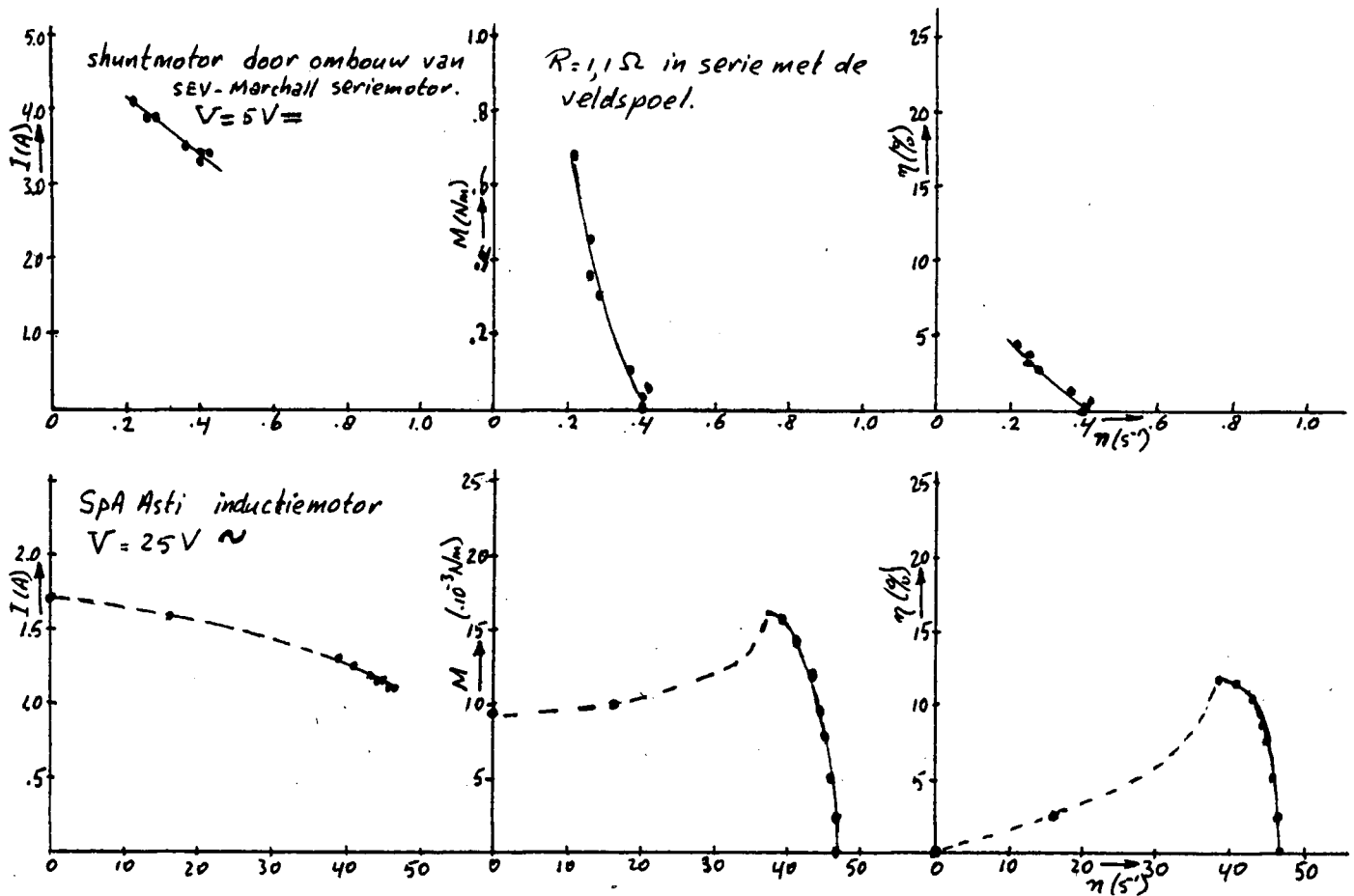
Van geïsoleerd koperdraad worden twee inductiespoelen gewikkeld (rond een plastic dekseltje). Deze spoelen werden aangesloten op een oscilloskoop. De inductiespanning bij in- en uitschakelen van het veld is te benaderen met een nauwkeurigheid van $\pm 0,5 \text{ V.}$
 Beide inductiespoelen telden 20 wikkelingen.

$A \text{ (cm}^2\text{)}$	$V_{\text{ind,max}} \text{ (V)}$
15	2
40	6

H3 De karakteristieken van vier elektro-motoren.



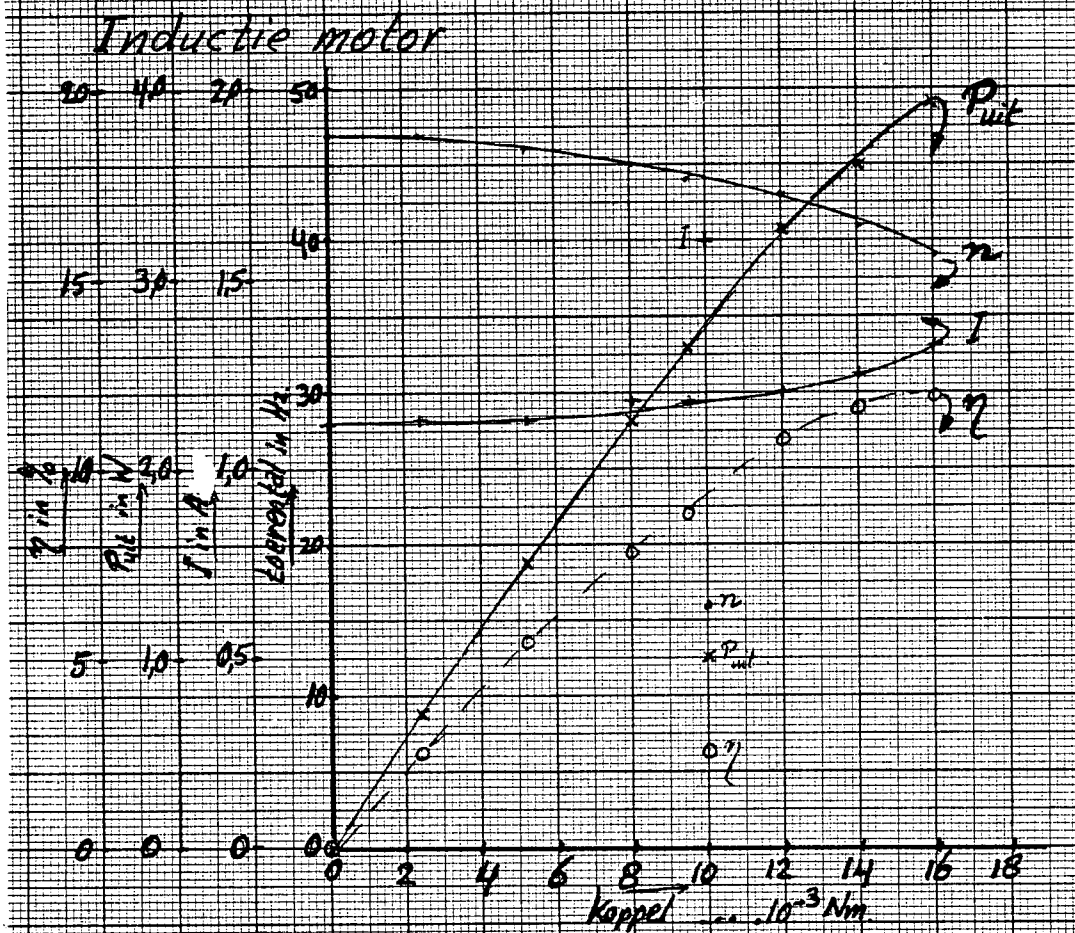
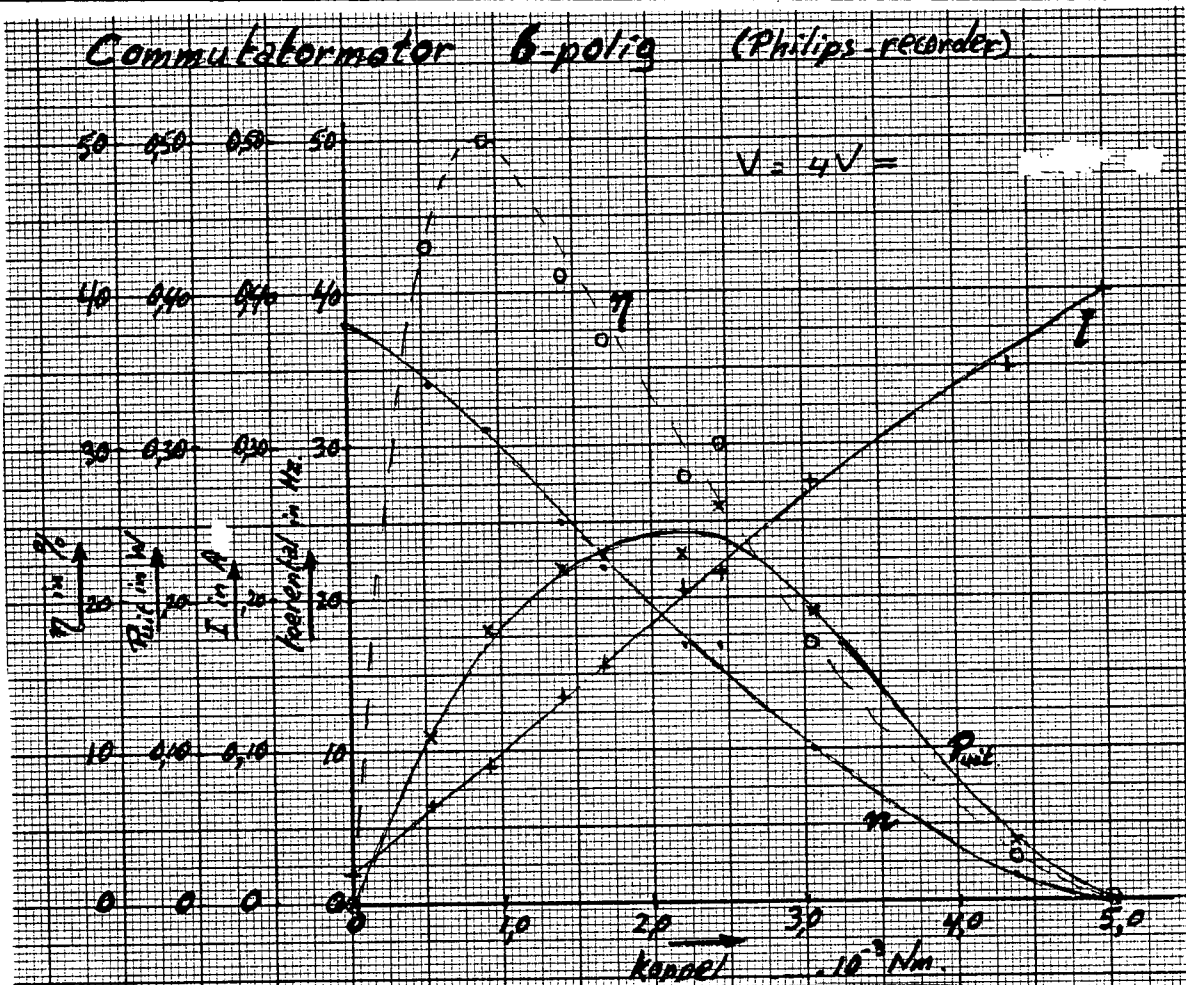
MEETRESULTATEN VAN ENKELE PROEVEN



Opmerkingen:

- De tandwielkast aan de SEV-Marshall ruitenwissermotor heeft een grote inwendige weerstand waardoor 'onbelast draaien' in feite onmogelijk is. Tevens leverde de motor zo'n groot maximum koppel dat we ons moesten beperken om ervoor te zorgen dat hij niet van de houten standaard losscheurde en in de slipkoppeling omhoog krom (zie ook bouwbeschrijving).
- Een andere grafische weergave van meetresultaten is hieronder weergegeven. Ook uit deze grafieken blijkt duidelijk het verschil tussen een commutatormotor en een inductiemotor.

MEETRESULTATEN VAN ENKELE PROEVEN



BOUWBESCHRIJVINGEN

Paragraaf 2.3 akt. 3 LORENTZKRACHT METEN MET VEERBALANS

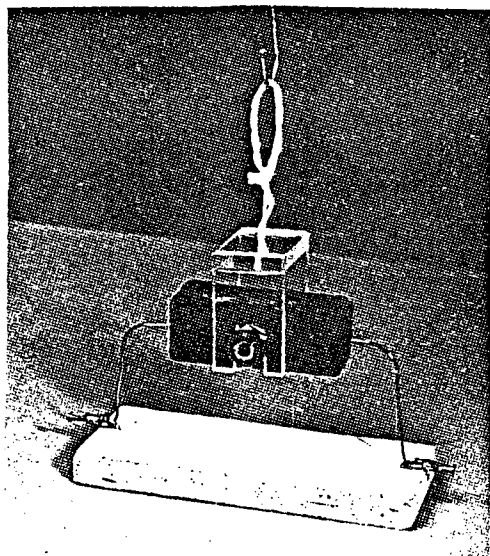
Voor deze opstelling moeten minimaal drie (perspex) magneethouders worden gemaakt met in totaal acht platte magneten. De types met twee magneten mogen hoogstens een massa van 80 g hebben. Het type met vier magneten mag een massa van 165 g hebben. Het is belangrijk bij elke houder de meest gevoelige bijpassende veerunster te gebruiken:

- bij de 80 g houder een 1 N unster;
- bij de 165 g houder een 2 of 3 N unster.

Type magneet: Ferroxdur 50 x 20 x 6 mm, verkrijgbaar via PLON.

Perspexplaat, dikte 5 mm.

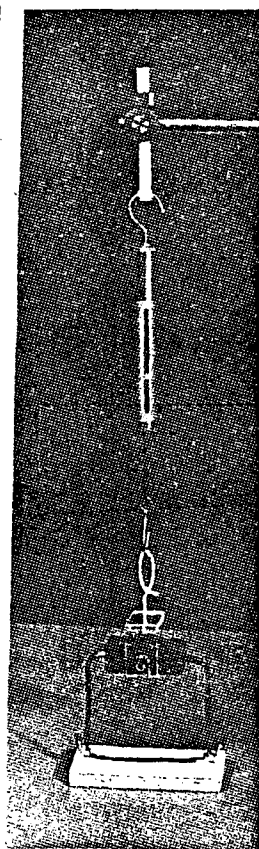
Lijm: 2 componentenlijm.



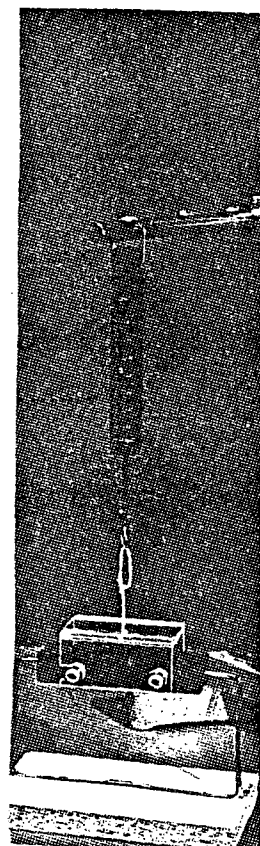
1 stroomdraad.

draad over 50 mm in een vrij homogeen magnetisch veld, loodrecht op de spleet.

de veldsterkte is te variëren door aparte houders te maken voor spleetbreedte 5 mm en spleetbreedte 10 mm.



4 stroomdraden draad over 50 mm in magn. veld.



idem, maar nu 100 mm in magn. veld.

keuze mogelijkheid:

- 4 magneten met aangeliemde schroef die op meerdere houders én op de magneetschijf (zie blz. 83) bevestigd kunnen worden → Dit stelt hoge eisen aan de lijmverbinding magneet → schroef.
- magneten direkt aan perspex houders lijmen. → meer magneten nodig.
TIP: tijdens lijmen en in berging een vulstuk klem in de spleet zetten; de magneten trekken elkaar erg sterk aan.

BOUWBESCHRIJVINGEN

Zoals op de voorgaande schetsen te zien is bestaat het geheel uit de volgende onderdelen:

- a. Twee steunen met goed gelagerde assen, een trommel voor slipkoppeling of valgewicht en aan beide uiteinden een blind schroefgat voor bevestiging van schijven of slinger.
- b. Een kleine slinger.
- c. Een perspex schijf (dikte 5 mm, diameter 150 mm) waarop 6 ferroxidur magneten 50 x 20 x 6 mm, afwisselend N-Z-N enz. zijn bevestigd.
- d. Een extra perspex schijf met 4 magneten.
- e. Een aluminium (en/of koper) schijf (dikte 3 mm, diameter 150 mm).
- f. Twee tafelklemmen om de steunen stevig te verankeren.
- g. Opbouw-leerlingen-trafo met statief en klemmen.
- h. Opbouw-demonstratie-trafo met de spoel (500 windingen) voor 220 V aansluiting.
- i. Variac 0-220 V.
- j. Opvulplaatjes van ijzer; 4 x 4 cm; totale pakketdikte 10 mm.
- k. Twee inductielussen van koperen strip (1 x 3 mm) in rechthoekvorm, zodanig dat de helft van de kern van de demonstratietrafo ermee kan worden 'bedekt'.

Toepassingen:

Paragraaf 2.5 akt. 4 *Wisselstroomgenerator.*

Bevestig een magneetschijf (c) en de slinger (b) aan weerszijden op een as (a). Zet twee U-kernen (g) met in totaal vier verschillende spoelen zodanig vlak tegenover de magneetschijf dat de vier benen van de U-kernen zich tegelijkertijd recht tegenover een magneet bevinden.

Verbind elke spoel met een wisselspanningsmeter en draai regelmatig de schijf rond.

Paragraaf 2.5 akt. 5

Als akt. 4, maar zonder U-kernen. In feite is één spoel voldoende voor vergelijking van de inductiespanning met en zonder weekijzeren kern.

Paragraaf 2.5 akt. 6 *Wisselstroomgenerator - maximaal vermogen.*

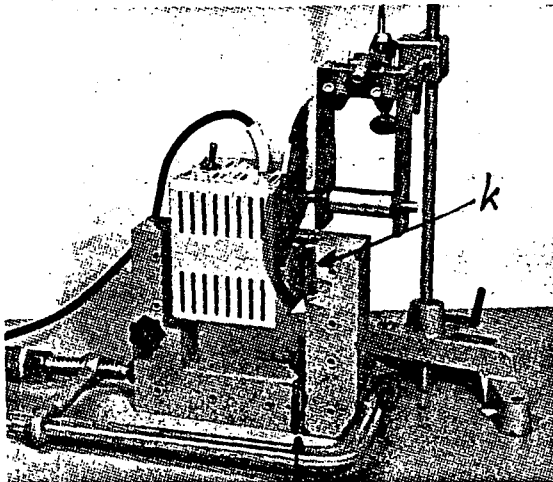
Als akt. 4. Sluit de vier inductiespoelen (4 x 400 windingen bijv.) in serie aan op een A-meter en een lampje (2,5 V - 0,2 A of 0,1 A). Let op dat de inductiespanningen elkaar versterken. Dit is te testen door een gelijkspanning op de spoelen in serie te zetten en met een kompasnaald te testen of het N-Z patroon gelijk is aan dat op de bijbehorende magneetschijf.

Met een wisselspanningsmeter kan de geleverde spanning met en zonder lampje worden gemeten.

Paragraaf 3.5 akt. 1 *Induktie-motor principe.*

Bevestig een magneetschijf (c) en de slinger (b) aan weerszijden op een as (a). Bevestig een aluminium (of koperen) schijf (e) op de andere as (a) en stel de schijven juist vrijlopend tegenover elkaar op. Schijf e wil met de draaiende magneten mee gaan bewegen (of schijf e wordt door de stilstaande magneten geremd, of ... enz.).

Paragraaf 3.5 akt. 3 Induktie-motor model.



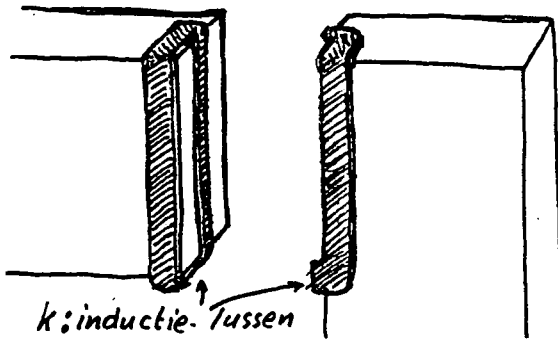
opvulplaatjes

Bouw de demonstratietrafo (h) op als aangegeven met een 220 V spoel. Gebruik de opvulplaatjes (j) om het sluitstuk op 10 mm van de U te houden en klem het geheel vast met een lijklem.

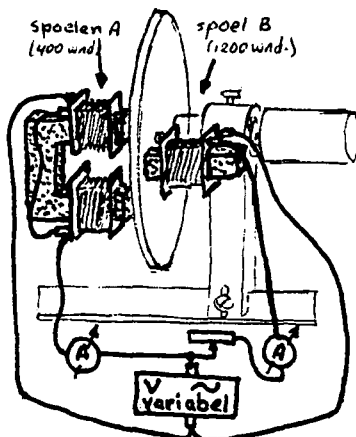
Sluit de 220 V spoel op de variac (i) aan. Bevestig (evt. met plakband) de inductielussen (k) aan weerszijden van de spleet op de weekijzeren kern. Zoals in de tekening hiernaast te zien is moeten de lussen recht tegenover elkaar zitten.

Hang de goed gelagerde aluminium schijf (e) met zijn rand in de spleet.

Voer de variacspanning op. Vanaf 50 à 80 V zal de schijf gaan draaien (gemeten: 55 V bij 1,5 A).



Extra Kilowattuurmeter model.
(een fase asynchroonmotor met hulpspoel)



De rand van de aluminium schijf (e) moet komen in de spleet tussen de hiernaast weergegeven spoelenkombinatie. De spoelen komen van een opbouwtrafo (g). Op een U-kern worden twee 400-windingen spoelen (A) parallel geschakeld.

Er tegenover bevindt zich een 1200-windingen spoel (B) met rechte kern, met zijn pool midden tussen de beide andere polen (A).

Spoel B, in serie met een A-meter en een schuifweerstand, wordt parallel met de spoelen A gevoed. De schijf ging in onze test draaien bij $I_A \approx 1,7$ A per spoel en $V_A = 20$ V terwijl

$I_B \approx 0,3$ A bedroeg. (Zie ook bijlage I-2 over de kilowattuur meter.)

BOUWBESCHRIJVINGEN

H3 *Trage schijf voor toerentalmeting zonder stroboskoop.*

Door de rand van de aluminium schijf (e) een motoras te laten raken (rubberslangetje rond de motoras verhindert slippen) ontstaat op een simpele wijze een grote overbrenging met weinig extra wrijving. Schilder een opvallend gekleurde sektor op de schijf. Zelfs als de motor vrij snel loopt is het toerental toch op het oog en met een stopwatch te bepalen.

Extra *Magnetische dynamometer.*

Bevestig de aluminium schijf (e) op een motoras. Stel op variabele afstand van schijf (e) de magneetschijf (c) aan zijn goed gelagerde as op. Bevestig aan de magneetschijf een veerunster die meedraaien tegengaat. Het remkoppel wordt gemeten met de unster en is te variëren door de afstand tussen beide schijven groter of kleiner te maken.

Extra *Elektro-magnetische dynamometer.*

Met enkele extra hulpstukken is ook de dynamometer te maken zoals weergegeven op het blad 'dynamometers - ideas without words' iets verderop in deze AVOL.

Paragraaf 3.4 akt. 2 SERIE- EN SHUNTMOTOR.

Paragraaf 6.4

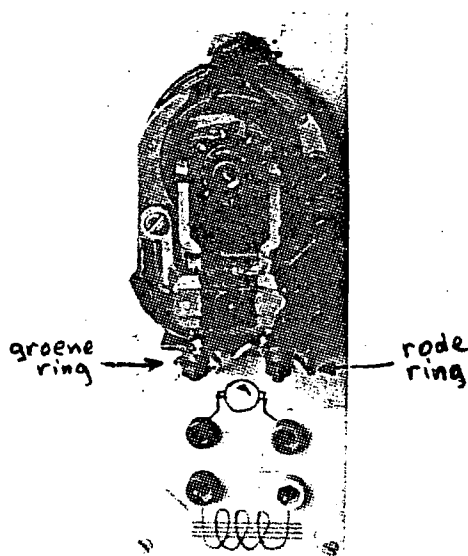
Als basis voor de PLON ombouwmotor diende een 12 V SEV Marshall serie-motor voor een ruitenwisher.

Niet ideaal maar wel vrij goedkoop (autosloper + f 10,-). Nadeel van deze motor is de grote overbrengingsverhouding met bijbehorende weerstand. De tandwielkast vormt een geheel met de rotorlaging. Het maximum koppel dat de motor kan leveren is erg groot en vraagt om een zwaar model dynamometer en een stevige ophanging (zie het hierna volgende aparte blad met dynamometer ideeën). Bovendien is de weerstand van de tandwielen zo groot dat ook de seriemotor niet op hol kan slaan.

Voordeel is dat je de motor eenvoudig om kunt bouwen.

Van de twee aansluitpunten (1 en 2) moet alleen de linker, met een groene ring, worden gebruikt. De oorspronkelijke schakeling van de seriemotor is:

Van aansluitpunt 1 (groen) naar de statorspoel, naar de linkerkoolborstel en via de rotor en de rechterkoolborstel naar het machinehuis, ofwel aarde.



Aansluitpunt 2 (rood) is een extra - aansluiting die de motor na uitschakelen door laat lopen tot de wissers in een uiterste stand staan. Deze dus niet gebruiken.

Ombouw:

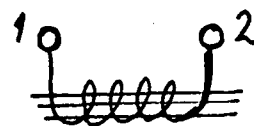
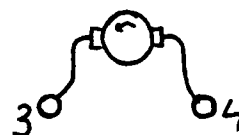
Maak de veldspoel los van de linker koolborstel.

Bevestig vier insteekbussen op het motorstatief in rechthoekvorm als aangegeven.

Verbind de bovenste bussen met de koolborstelhouders.

Verbind de onderste bussen respectievelijk met aansluitpunt 1 (groen) en met veldspoel-draad die is losgekoppeld van de linker koolborstel.

Op het motorstatief is de schakeling symbolisch aan te geven.



Seriemotor: + → 1 2 → 3 4 → -

Shuntmotor: + → 1 1 → 3 2 → 4 4 → -

Let op: De shuntmotor loopt het best als een weerstand van 1 à 2 Ω in serie met de veldspoel wordt geschakeld. Deze weerstand moet wel een stroom van 3 à 4 A kunnen verdragen. Wij gebruiken daarvoor een klein stukje van een 3 A/ 30 Ω schuifweerstand.

Paragraaf 3.5 akt. 4 INDUKTIEMOTOR OMBOUWEN.

Vele induktiemotoren zijn geschikt voor 220 V ~.

Wij hebben daar het volgende op gevonden. Wikkel de veldspoel af. Meet de massa van het afgewikkelde koperdraad. Neem ongeveer dezelfde massa van dikker geïsoleerd koperdraad en maak daarmee de nieuwe veldspoel. Zonder gevaar kan nu de stroom groter worden en zal de motor bij een veilige lage wisselspanning gaan draaien.

SPA Asti - wasmachine pompmotor, 220 V/ 80 W.

Nu + 300 wikkelingen van koperdraad ϕ 0,9 mm.

Werkt bij 25 V en 1 à 2 A.

Paragraaf 6.6 en 6.7

Voor het thema "Energie en Kwaliteit" wordt een meer leerling-proof windmolen ontwikkeld. Meer hierover én over de waterturbine in een latere versie van deze AVOL.

BOUWBESCHRIJVINGEN

TYPE UGN-3501T SOLID-STATE LINEAR OUTPUT 'HALL EFFECT' SENSORS

UTILIZING THE 'HALL EFFECT' for sensing a magnetic field, Type UGN-3501T integrated circuits provide a linear single-ended output which is a function of magnetic field intensity.

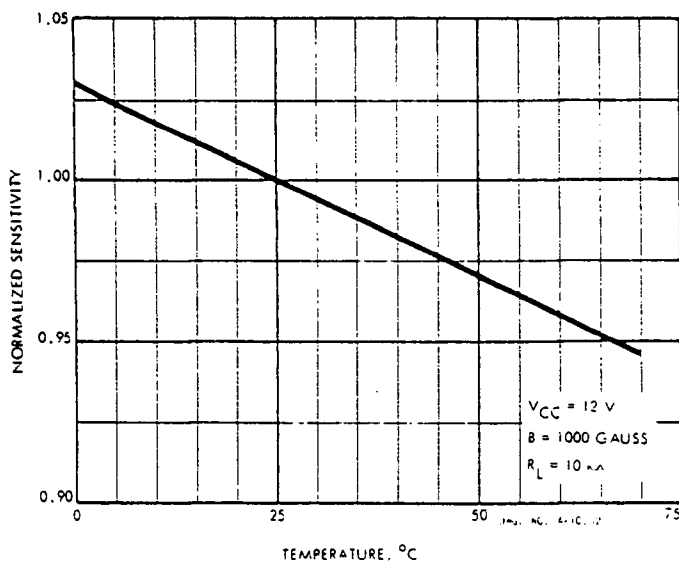
These devices are used principally to sense relatively small changes in a magnetic field — changes which are too small to operate a 'Hall effect' switching device. They are customarily capacitively coupled to an amplifier, which boosts the output to a higher level.

The Type UGN-3501T 'Hall Effect' IC includes a monolithic Hall cell, linear amplifier, emitter follower output, and a voltage regulator. Integrating the Hall cell and the amplifier into one monolithic device minimizes problems related to the handling of millivolt analog signals.

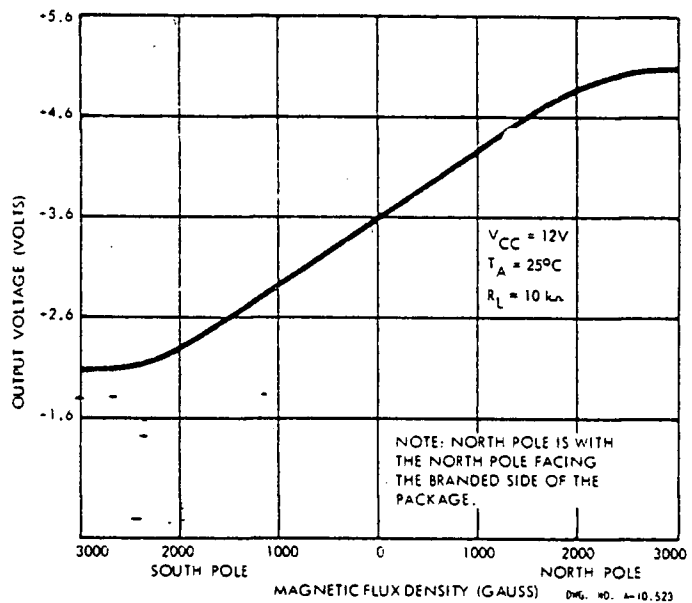
This sensor is supplied in a 3-pin plastic package and is rated for continuous operation over the temperature range of 0°C to +70°C and a voltage range of 8 to 12 volts d-c.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

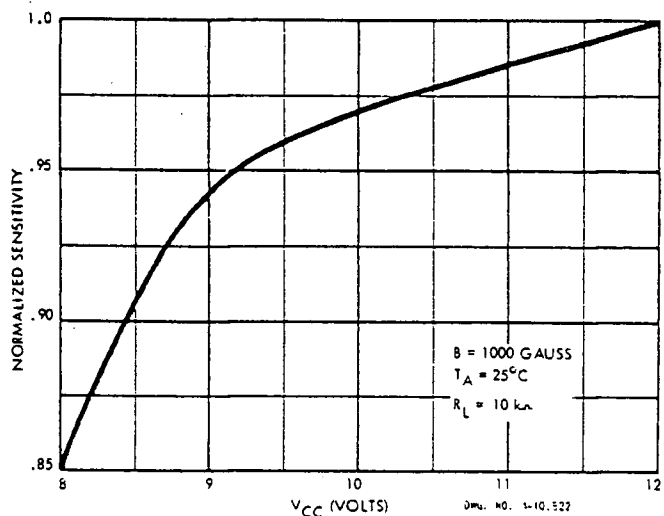
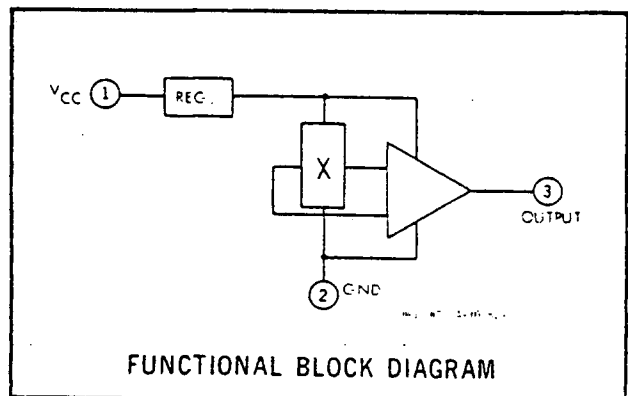
Supply Voltage, V_{CC}	+16V
Output Current, I_{OUT}	4mA
Magnetic Flux Density, B	No Limit
Operating Temperature Range, T_A	0°C to +70°C
Storage Temperature Range, T_S	-65°C to +150°C



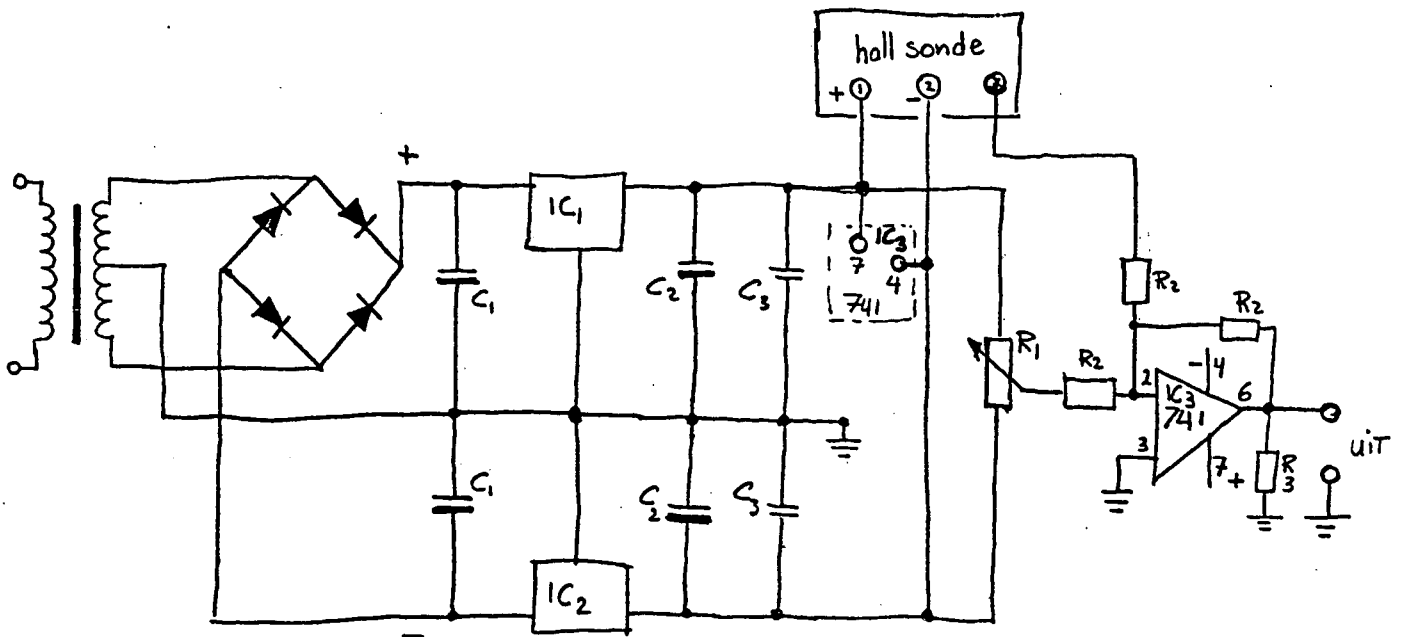
NORMALIZED SENSITIVITY AS A FUNCTION OF TEMPERATURE



OUTPUT VOLTAGE AS A FUNCTION OF MAGNETIC FLUX DENSITY



NORMALIZED SENSITIVITY AS A FUNCTION OF V_{CC}



Trafo : 220 $\rightarrow$ 2 x 9 Volt.

IC₁ = 7805 UC (+5 V voltage reg.)

IC₂ = 7905 UC (- 5V voltage reg.)

IC₃ = 741 (opamp)

2 x C₁ = 1000 μ F.

2 x C₂ = 10 μ F.

2 x C₃ = 10 nF.

3 x R₂ = 10 k Ω

1 x R₁ = 100 k Ω , 10 slags instelpot.

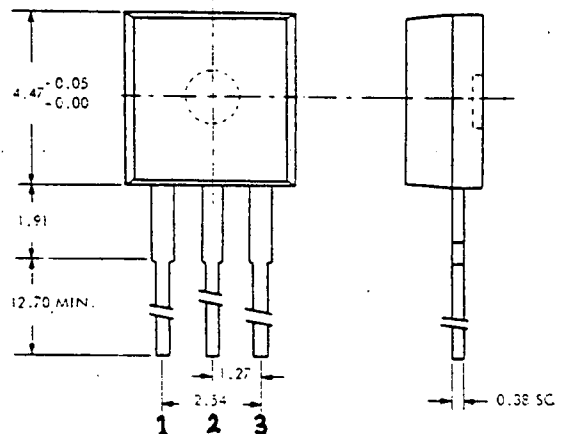
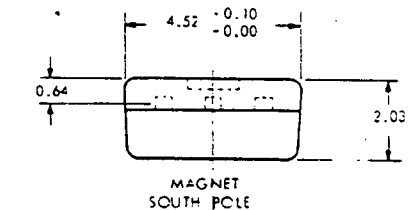
1 x R₃ = 100 k Ω

De aansluitingen van de sensor zelf zijn van links naar rechts, mits de bedrukte zijde boven ligt, respectievelijk :

- 1 VCC
- 2 GND
- 3 OUTPUT

De gevoeligheid van de sensor is ongeveer 7 V/Tesla.

DIMENSIONS IN MILLIMETRES



NOTES: 1. All dimensions are in millimetres.
2. Hall cell is centrally located, on the branded side of the package, 1.07 $\pm$ 0.03 mm below the surface.

Doc. NO. 49761-W

BOUWBESCHRIJVINGEN

DYNAMOMETERS - IDEAS WITHOUT WORDS
VERDERE SUGGESTIES BIJ HOOFDSTUK 3.

