

Hoofdstuk VIII : Elektromagnetische inductie.

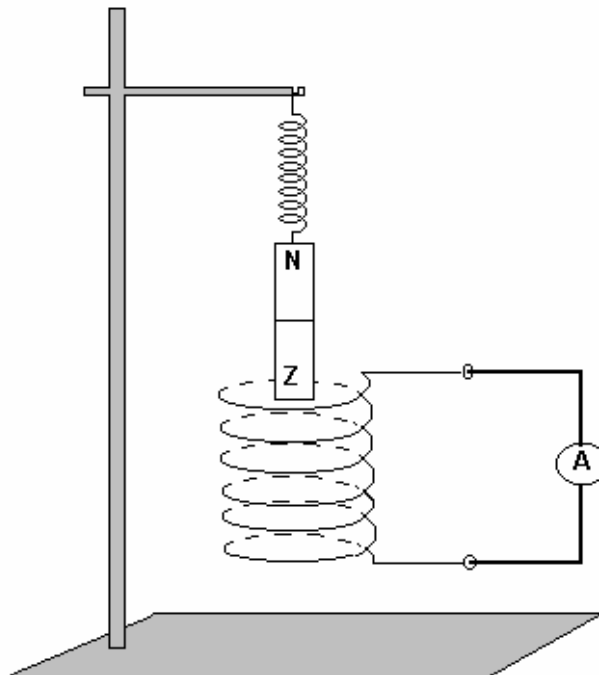
Elektrische ladingen in rust wekken een elektrisch veld op. Het bestaan van een elektrisch veld duidt de aanwezigheid van elektrische lading(en) aan.

Bewegende ladingsdragers (elektrische stroom) wekken een magnetisch veld op. Oersted ontdekte in 1820 dat elektrische stroom begeleidt wordt door een magnetisch veld.

Faraday stelde de omgekeerde vraag : kan een magnetisch veld een elektrische stroom opwekken ? Na negen jaar experimenteren kwam hij in 1831 tot de ontdekking : de verandering van een magnetisch veld in de tijd doet in een geleider een elektrische stroom ontstaan. Dit verschijnsel noemt men inductie.

VIII.1. Probleemstelling

Proef : Een staafmagneet ophangen aan een veer - de veer uitrekken over een bepaalde afstand (bvb. 5 cm) en de magneet een op- en neergaande beweging laten uitvoeren doorheen een solenoïde met veel windingen.



Proefuitvoering en waarnemingen :

- a) de uiteinden van de solenoïde zijn niet met elkaar verbonden (open kring).
De tijd opnemen die de veer nodig heeft om tot rust te komen.

$\Delta t_a =$		s
----------------	--	---

- b) voorgaande proef hernemen - de uiteinden van de solenoïde zijn geleidend verbonden met een A - meter (dit betekent dat de solenoïde in feite kortgesloten is).

$$\Delta t_b = \quad \text{s}$$

Besluit : de energie die men de veer gegeven heeft door uitrekken (= potentiële energie) wordt in proef b sneller in andere energievormen omgezet dan in proef a.

Verklaring :

1. In welke energievorm(en) wordt de potentiële energie, die de veer in uitgerokken toestand bezit, in proef a omgezet ?

2. Vermits in proef b de tijd korter is, die de veer nodig heeft om haar potentiële energie in ander energievorm(en) om te zetten, moet er een bijkomende energievorm ontstaan. Welke ?

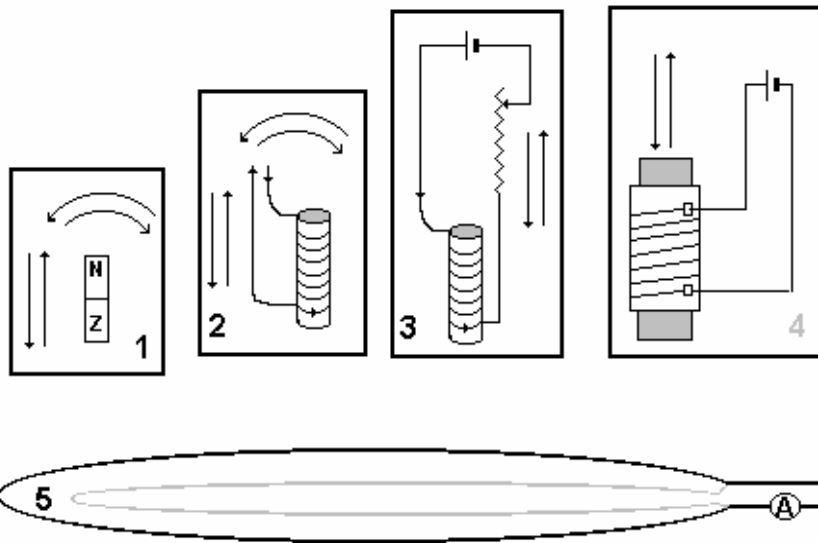
Toepassing :

Ken je voorbeelden uit het dagelijks leven waarbij mechanische energie (potentiële of kinetische) in elektrische energie wordt omgezet ?

VIII.2. Het elektromagnetisch inductieverschijnsel.

a) *Proeven om inductiestromen op te wekken.*

Op volgende blz. vind je een tekening met de aanduiding van 5 proeven waarbij telkens inductiestroom op een of andere wijze wordt opgewekt. Vermeld onder de tekening bij elk nummer op welke wijze bij die proef stroom wordt opgewekt .



1. **Tekening 1 + tekening 5** : een staafmagneet bewegen t.o.v. een gesloten lus (met galvanometer in serie).

Waarneming :

2. **Tekening 2 + tekening 5** : een stroomvoerende solenoïde met weekijzeren kern bewegen t.o.v. een gesloten lus (met galvanometer in serie).

Waarneming :

3. **Tekening 3 + tekening 5** : de stroomintensiteit in een stroomvoerende solenoïde variëren in de nabijheid van een gesloten lus (met galvanometer in serie).

Waarneming :

4. **Tekening 4 + tekening 5** : de weekijzeren kern in een stroomvoerende solenoïde bewegen in de nabijheid van een gesloten lus (met galvanometer in serie).

Waarneming :

5. **Tekening 5 + tekening 2** : het oppervlak van een gesloten lus (met galvanometer in serie) wijzigen in de nabijheid van een stroomvoerende solenoïde met weekijzeren kern

Waarneming :

Besluit : Er wordt in een gesloten kring een inductiestroom geïnduceerd als :

- **het magnetisch veld t.o.v. deze gesloten kring wordt gewijzigd (bij proef nr. :)**
- **het oppervlak van de gesloten kring verandert in aanwezigheid van een magnetisch veld (bij proef nr. :)**

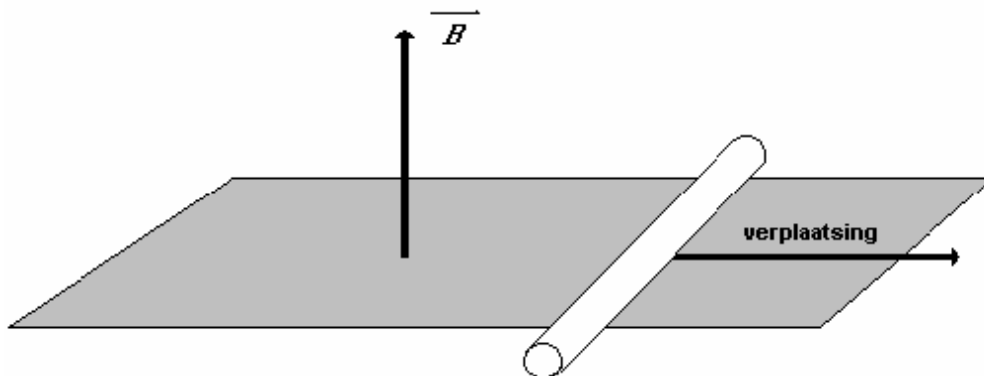
b) Zin van de inductiestroom (= wet van Lenz)

De zin van de inductiestroom is zodanig dat hij de ontstane wijziging tracht tegen te werken.

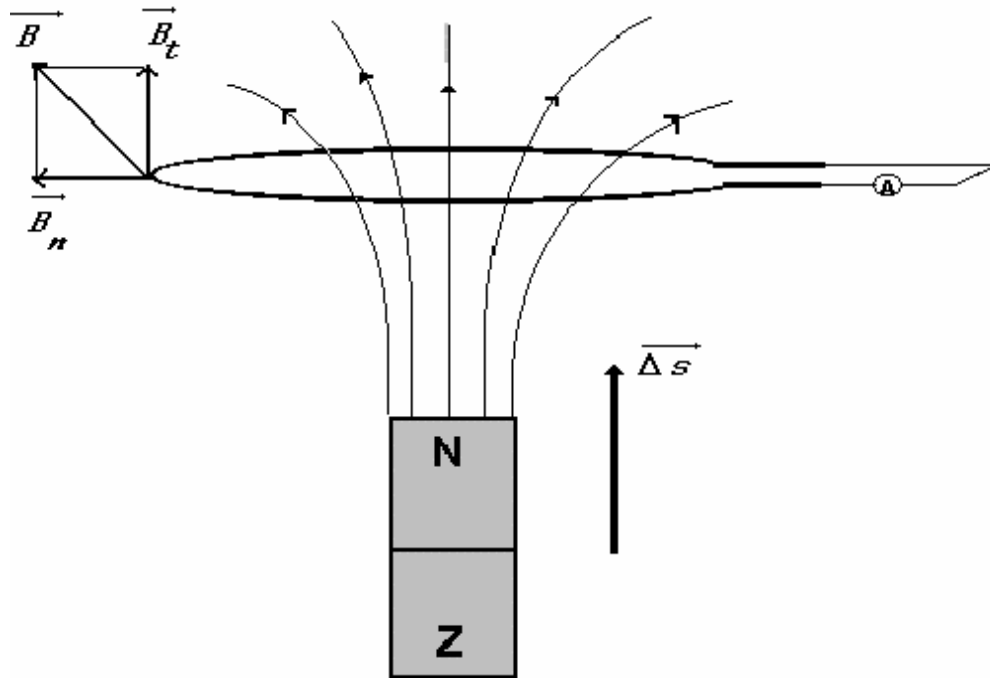
Controleer dit bij elk van bovenstaande proeven !

c) Verklaring van het inductieverschijnsel :

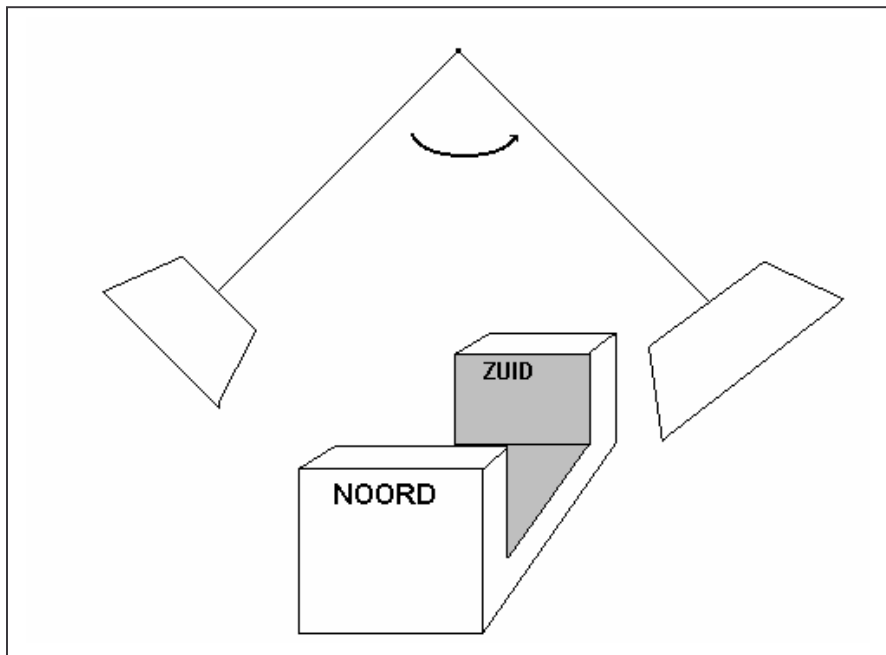
- inductie van een potentiaalverschil



- opwekken van inductiestroom door verplaatsing :



d) Toepassing : *Slinger van Waltenhofen* :



Verklaar op nevenstaande tekening het remmen zonder slijt-effecten.

VIII.3. Het elektromagnetisch inductieverschijnsel en de wet van behoud van energie.

Zolang als er geïnduceerde stroom aanwezig is, kan men deze gebruiken als energiebron. Vermits deze energie niet uit het niets kan ontstaan, moet zij het resultaat zijn van de omzetting van een willekeurige energievorm in elektrische energie.

- a) In het geval van inductie door *verplaatsing* is deze omzetting gemakkelijk te begrijpen.

De operator die een noordpool van een magneet dichterbij een aldus ontstane geïnduceerde noordkant van een solenoïde brengt, moet een afstotingskracht overwinnen; de arbeid die hij verricht tijdens de verplaatsing is gelijk aan de elektrische energie ontwikkeld door de geïnduceerde stroom.

- b) In het geval van inductie *zonder verplaatsing* is deze omzetting minder evident.

Wij aanvaarden nochtans dat de energie die ontwikkeld wordt door de geïnduceerde stroom ontleend is aan de kring die hem opwekt.

VIII.4. De grootte van het geïnduceerd potentiaalverschil (inductiespanning) tussen de contactpunten van de inductiekring.

Vermits er in de inductiekring een stroom ontstaat moet de inductiekring als **stroombron** fungeren. Dit wijst er op dat er tussen de uiteinden van de inductiekring een potentiaalverschil moet ontstaan.

Van welke factoren is deze inductiespanning afhankelijk ?

Proef:

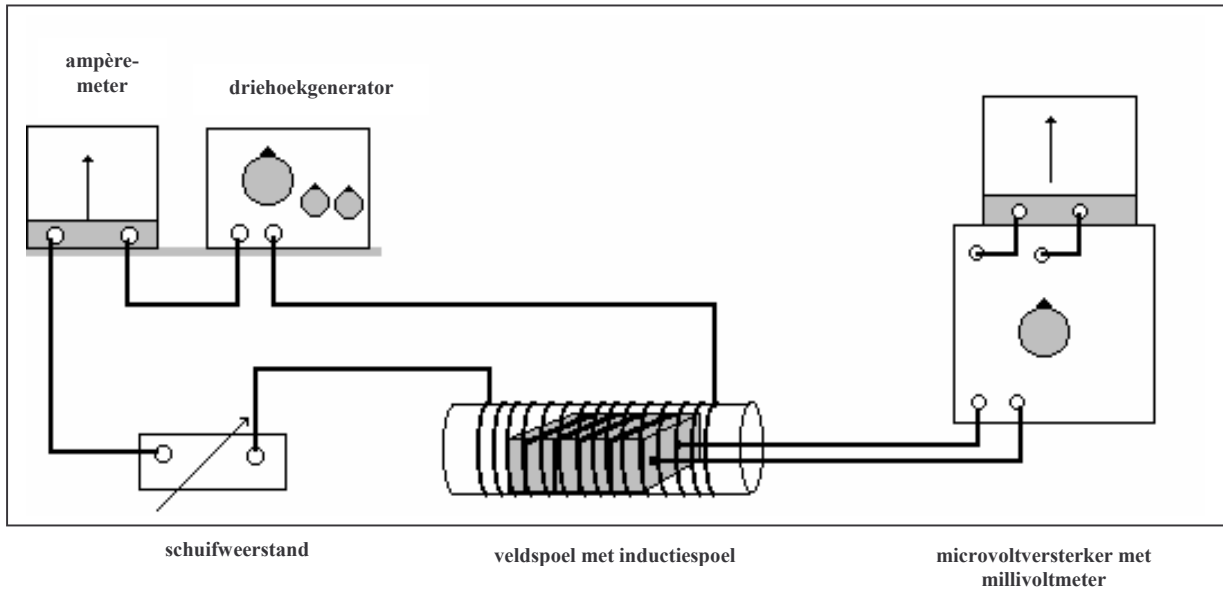
Een veldspool wordt met een driehoekgenerator verbonden. Deze levert een lineair aanstijgende stroom die, bij een bepaalde spanning, plotseling weer lineair daalt zodat het quotiënt $\Delta I / \Delta t$ op het teken na constant blijft. Deze "stroomveranderingssnelheid"

$\Delta I / \Delta t$ kan m.b.v. de generator op verschillende waarden worden ingesteld.

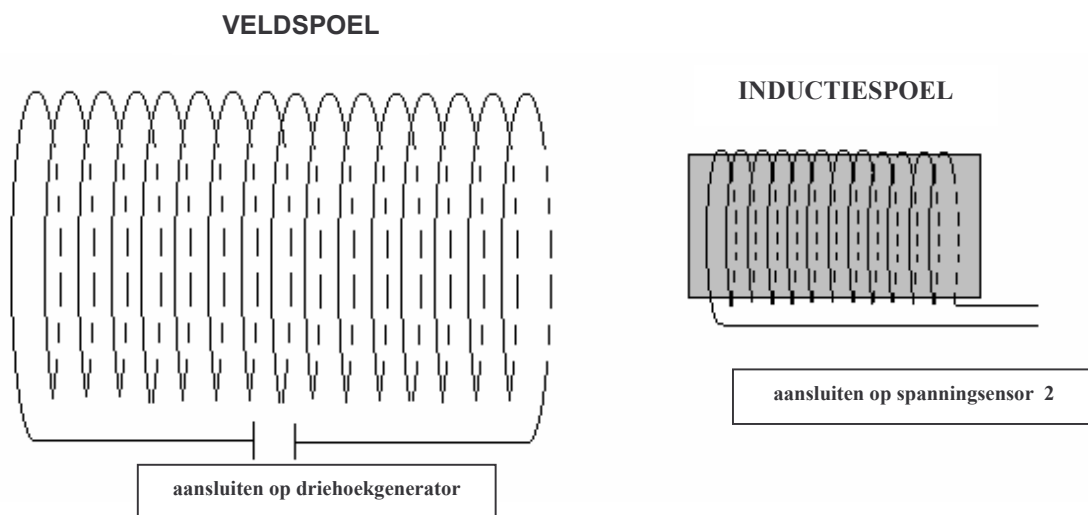
De driehoekgenerator kan eveneens met de PC-interface samengesteld worden. Op de interface wordt een bepaalde versterker aangesloten die softwarematig kan ingesteld worden. Het voordeel van deze opstelling is dat de geleverde stroomsterkte naar de veldspool rechtstreeks gemeten kan worden en grafisch in functie van de tijd kan weergegeven worden.

Binnenin de veldspool bevindt zich een inductiespoel. De geïnduceerde spanning in de inductiespoel wordt met behulp van een microvoltversterker (of m.b.v. eens spanningssensor) gemeten.

Proefopstelling :



Vergrootte weergave het wezenlijke van de proefopstelling :



Proefuitvoering :

1. Invloed van het aantal windingen n van de inductiespoel.

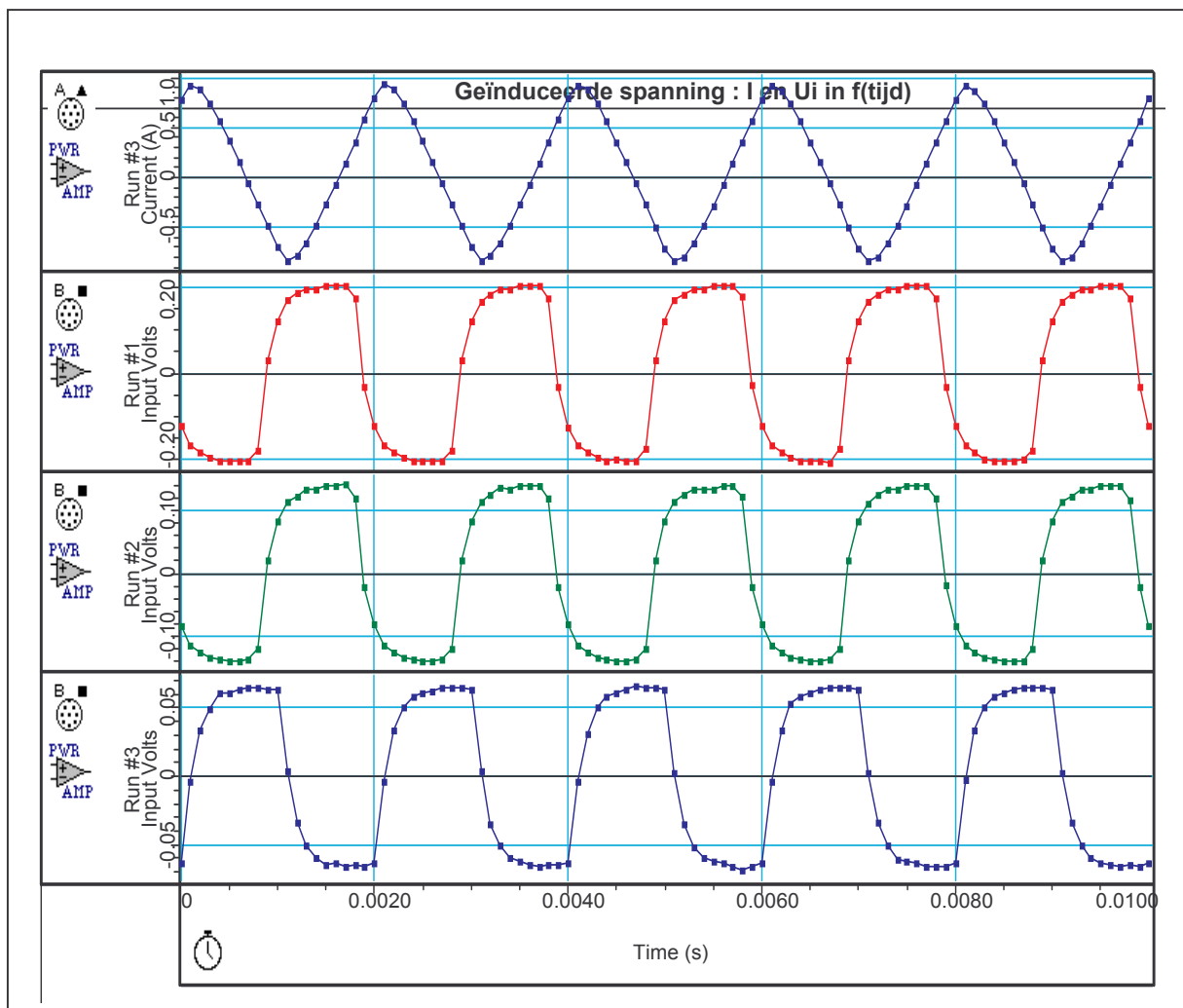
Stel de functiegenerator in op een constante frequentie van ongeveer 300 Hz.
 Leg aan de veldspoel een constante spanning aan van $U_{top-top} : 2,4 \text{ V}$ zodat de stroom een maximale intensiteit van 1,0 A bereikt.

Stel m.b.v. de science workshop software de sampling options in op 10 000 Hz zodat via de interface voldoende metingen per periode worden opgenomen. Laat de PC een grafiek tekenen van $I_{\text{veldspoel}}$ in functie van de tijd.

Bij gebruik van de driehoekgenerator wordt de intensiteit in de veldspoel gemeten m.b.v. de spanningssensor 1.

Tak m.b.v. de spanningssensor 2 achtereenvolgens 150, 100 en 50 windingen af van de inductiespoel en schuif telkens de inductiespoel tot midden in de veldspoel. Laat de PC telkens de geïnduceerde spanning in functie van de tijd tekenen.

Waarnemingen : zie grafieken.



n	150	100	50
$\langle U_i \rangle$ (V)			

Besluit :

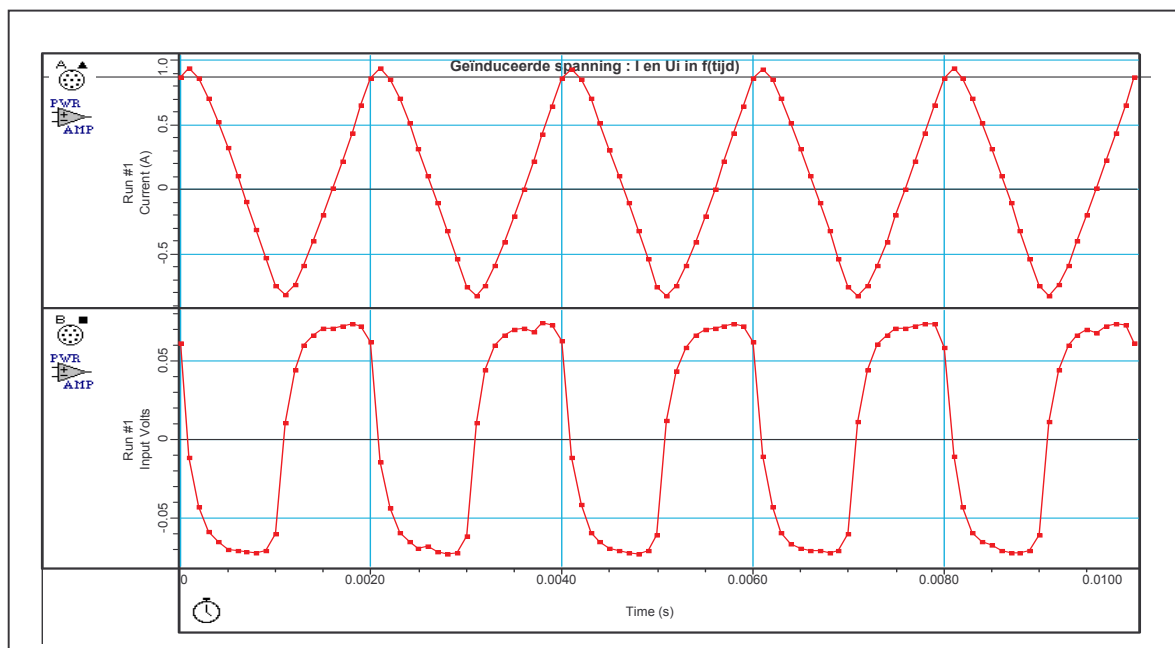


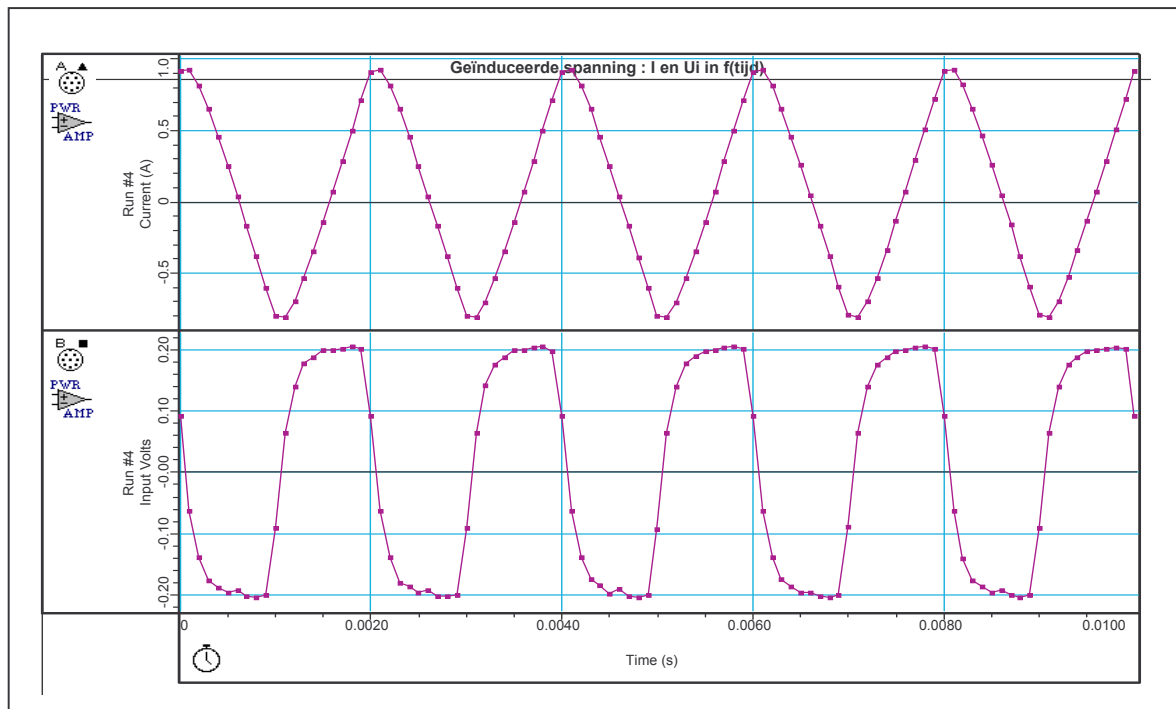
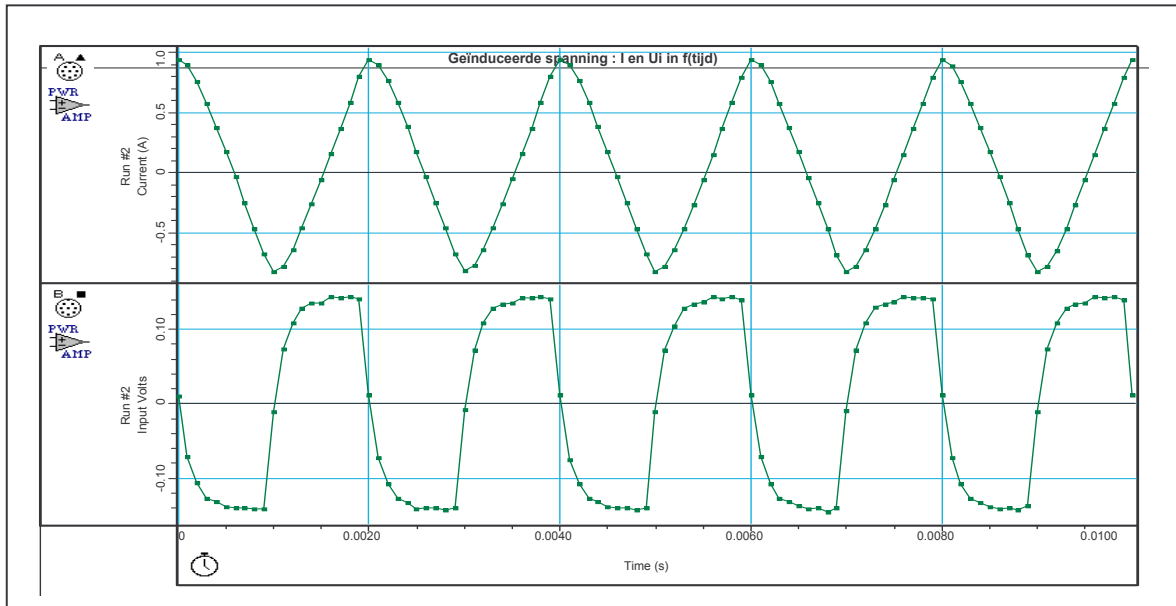
2. Invloed van de oppervlakte van dwarsdoorsnede A van de inductiespoelen

Proefuitvoering : zoals onder punt 1

Gebruik als inductiespoel achtereenvolgens één van de 3 spoelen met 150 windingen die elk een oppervlaktedoorsnedeverhouding hebben van 1 : 2 : 3. Laat de PC telkens de geïnduceerde spanning in functie van de tijd tekenen.

Meetresultaten : zie onderstaande grafieken.





Voor run # 1, run #2 en run #4 werd telkens een inductiespoel met 150 windingen gebruikt maar met als oppervlakte A respectievelijk 6,7 ; 13,5 en 20 cm^2 .

Meettabel :

$A \text{ (cm}^2\text{)}$	6,7	13,5	20
$\langle U_i \rangle \text{ (V)}$			

Besluit :

3. Invloed van de stroomsterkteverandering $\Delta I/\Delta t$ in de veldspoel.

Leg aan de veldspoel een constante spanning aan van $U_{top-top} : 2,6 \text{ V}$.

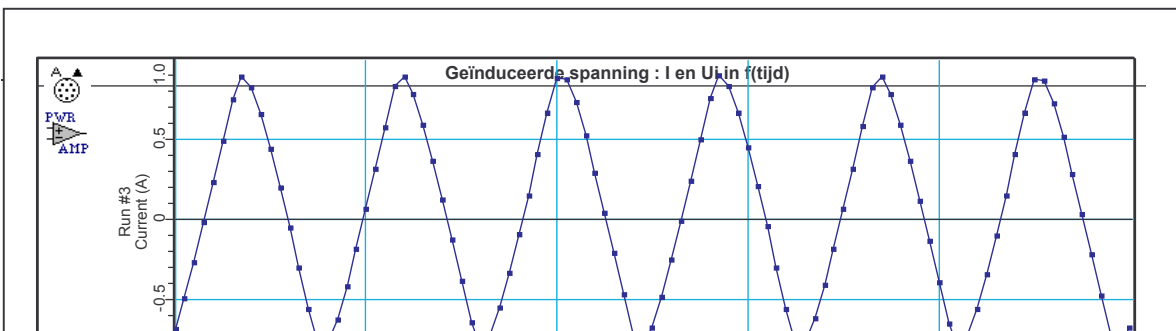
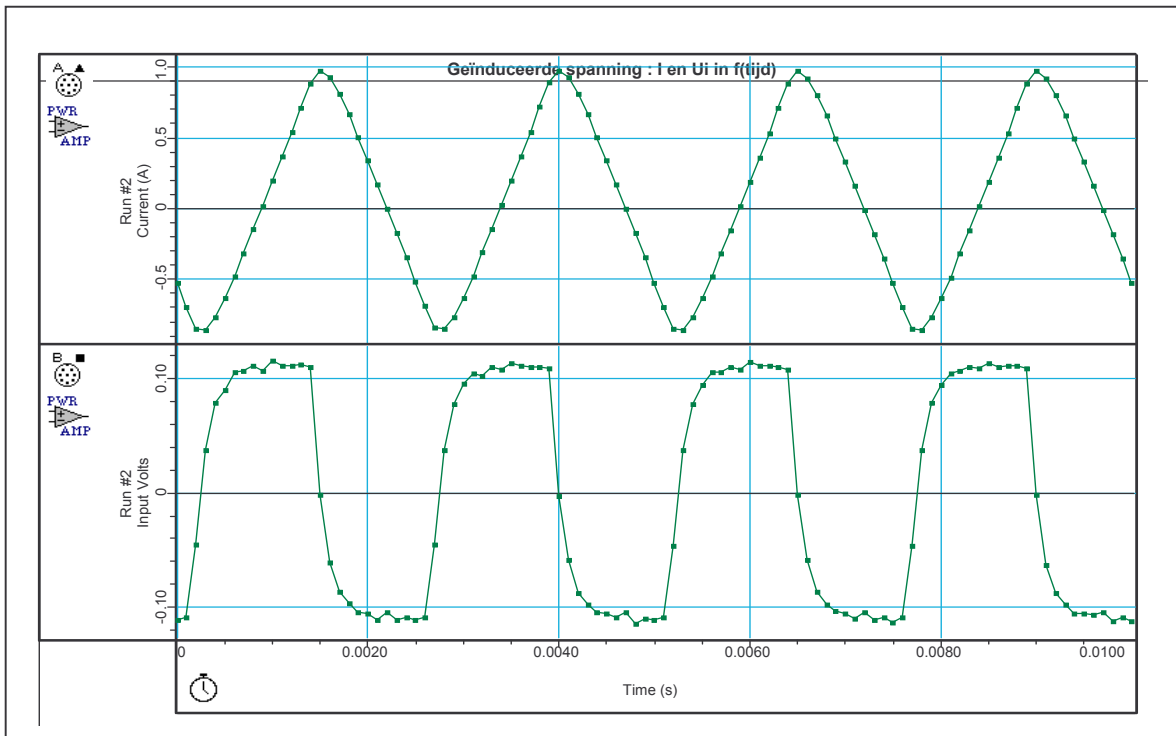
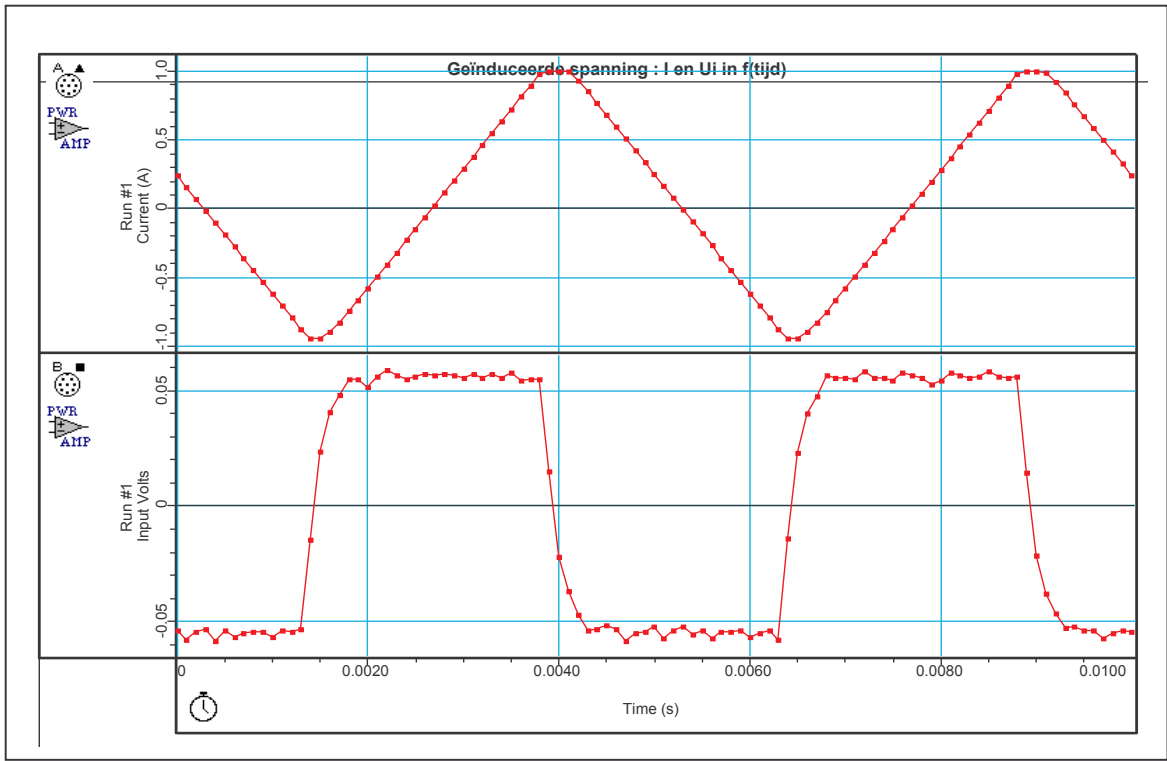
Stel m.b.v. de science workshop software de sampling options in op 10 000 Hz zodat via de interface voldoende metingen per periode worden opgenomen.

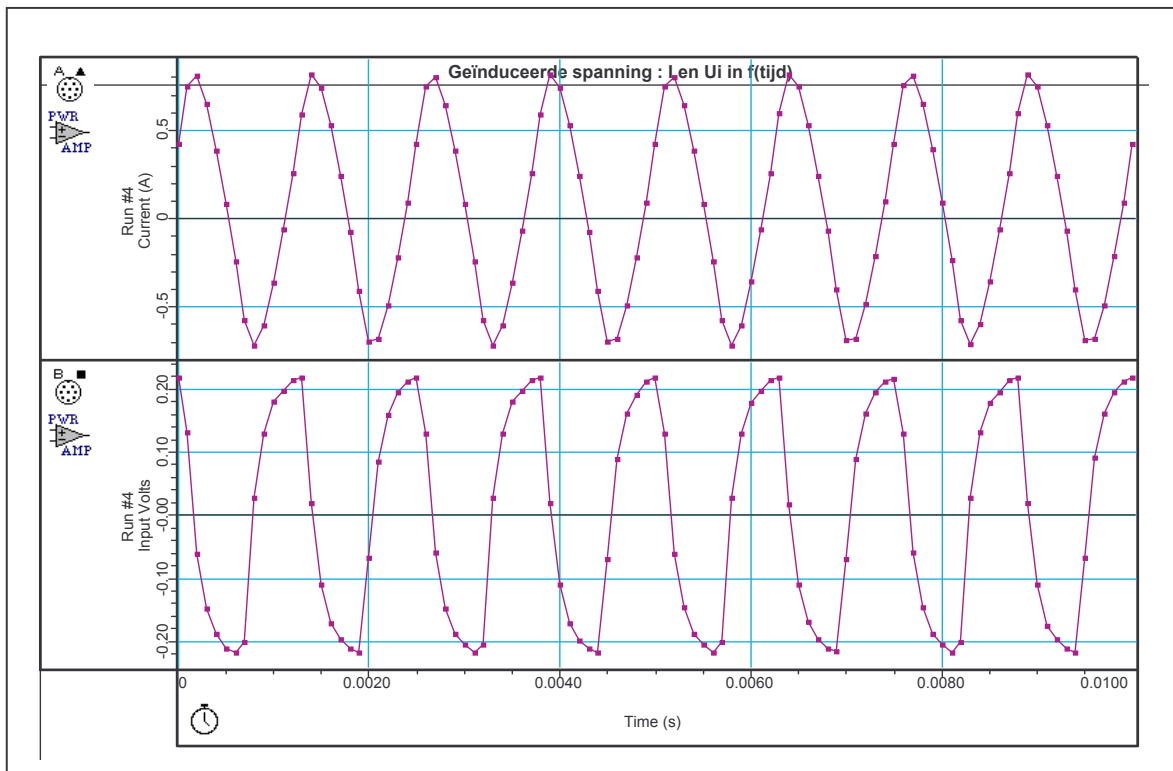
Stel de functiegenerator achtereenvolgens in op een frequentie van 200, 400, 600 en 800 Hz. Laat de PC telkens een grafiek tekenen van $U_{veldspoel}$ in functie van de tijd via de spanningssensor 1 (zie volgende blz.). Bereken uit deze grafieken telkens het exacte tijdsverloop Δt voor één periode. Bij gebruik van de versterker wordt de intensiteit in de veldspoel rechtstreeks uitgezet in functie van de tijd.

Tak m.b.v. de spanningssensor 2 constant 100 windingen af van de inductiespoel en schuif deze in de veldspoel. Laat de PC bij elke gekozen frequentie de geïnduceerde spanning in functie van de tijd tekenen.

Bereken uit deze grafieken telkens de gemiddelde geïnduceerde spanningen en noteer deze waarden in onderstaande meettabel.

Waarnemingen : zie onderstaande grafieken.





Meettabel :

$\Delta I / \Delta t$ (A/s) 200	380	540	640
$\langle U_i \rangle$ (V)			

Besluit :

Opmerking :

1°. *Is het geïnduceerd potentiaalverschil ook afhankelijk van de aard van de middenstof?*

Zoals we bij de bepaling van de grootte van het magnetisch veld hebben gezien (zie VII.3) is de grootte van het magnetisch veld dat wijzigt, in feite een verandering van twee componenten nl. :

- de verandering van het magnetisch veld dat in dat punt als de ruimte er luchtledig was : $\Delta \mathbf{B}_0$
- de verandering van het magnetisch veld in dat punt afkomstig van de de verandering van het geïnduceerd magnetisch veld in de middenstof : $\Delta \mathbf{B}_i$

Deze gedachtengang kan gecontroleerd worden in een experiment zoals hierboven maar waar enkel de aard van de middenstof gewijzigd wordt door een weekijzeren staaf tegen de inductieklos te houden.

2°. *Speelt het oppervlak van de dwarsdoorsnede van de veldspoel ook een rol ?*

Wanneer men bovenstaande proef herneemt met een veldspoel met dezelfde windingsdichtheid als de voorgaande maar met een andere diameter, dan stelt men vast dat de gemeten U_i bij gelijke $\Delta I / \Delta t$ dezelfde is bij gebruik van dezelfde inductiespoel. Dit is onmiddellijk te begrijpen, daar de magnetische inductie \vec{B} binnenin de veldspoel onafhankelijk is van de dwarsdoorsnede van de spoel.

3°. *Speelt de oriëntatie van de inductiespoel in de veldspoel ook een rol ?*

Draait men de inductiespoel t.o.v. de richting van het magnetische veld over een hoek φ , dan kan men uit metingen afleiden dat alléén dat deel van het oppervlak werkzaam is, dat loodrecht staat op de veldlijnen, dus $A_n = A \cdot \cos \varphi$.

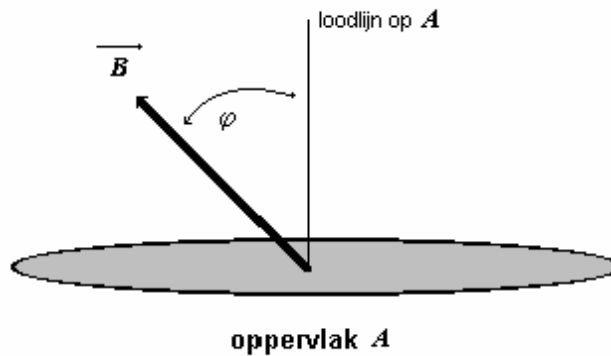
Om deze richting-afhankelijke factor in een wiskundige formule in te calculeren, wordt een nieuwe grootheid ingevoerd : de **magnetische flux** Φ = het scalair product van de magnetische inductie B met het door het magneetveld loodrecht doorstroomde oppervlak A_n .

$$\Phi = B \cdot A$$

als

- \vec{B} loodrecht staat op het oppervlak A
- \vec{B} constant is in alle punten van het oppervlak.

Als \vec{B} constant is en een hoek φ maakt met de loodlijn op A dan geldt :



$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \varphi$$

met als eenheid : 1 tesla. 1 meter² = **1 weber (Wb)**

De afhankelijkheid van de inductiespanning van de loodrechte dwarsdoorsnede van de inductiespoel doet de idee ontstaan om bij een constant blijvend magnetisch veld het werkend oppervlak te veranderen. Dit kan getoond in een proef waarbij enkel door het draaien van de inductiespoel in een constant magnetisch veld een spanning geïnduceerd wordt.

Nota : nu we deze nieuwe grootheid hebben ingevoerd, kunnen we i.p.v. het besluit onder VIII.2.b ook zeggen :

Wanneer men binnen een gesloten kring een magnetische fluxverandering teweeg brengt, dan ontstaat er in die kring een inductiestroom zolang de fluxverandering duurt.

ALGEMEEN BESLUIT :

$$U_i \sim \frac{\Delta B \cdot n \cdot A_n}{\Delta t}$$

of :

$$U_i \sim \frac{n \cdot \Delta \Phi}{\Delta t}$$

waaruit :

$$U_i = k \cdot \frac{n \cdot \Delta \Phi}{\Delta t}$$

Metingen laten vermoeden dat de dimensieloze k gelijk aan 1 is. Theoretische verklaringen bevestigen dit vermoeden. Soms gebruikt men ook - 1 om aan te geven dat de geïnduceerde spanning zijn oorzaak van ontstaan tegenwerkt.

$$U_i = 1 \cdot \frac{n \cdot \Delta \Phi}{\Delta t}$$

Opm. De eenheid van magnetische flux (= **1 weber**) kan ook als volgt gedefiniëerd :

= de magnetisch flux die, wanneer hij stroomt door één enkele winding, tussen de uiteinden van deze winding een spanning van één volt opwekt, wanneer deze flux in één seconde tot nul wordt gebracht door eenparige vermindering van een constante beginwaarde.

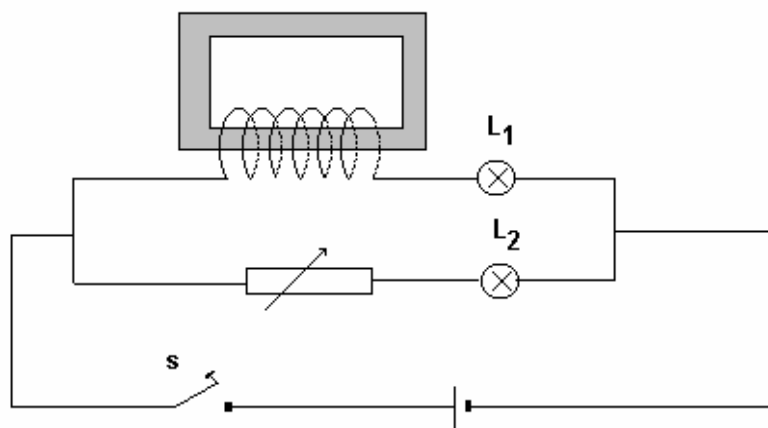
VIII.5. Zelfinductie

Proef 1.

Proefopstelling :

- een spoel geplaatst in een gesloten U-vormige weekijzeren kern in serie met een lampje L_1
- een gewone weerstand in serie met een lampje L_2

zijn parallel met elkaar geschakeld en zijn via een schakelaar (s) verbonden met een (niet-gestabiliseerde) gelijkspanningsbron.



De grootte van de regelbare weerstand wordt zo gekozen dat zijn weerstand gelijk is aan de weerstand van de spoel. Dit heeft als gevolg dat lampjes L_1 en L_2 even fel branden als de stroomkring gesloten is.

Proefuitvoering en waarneming :

Bij het onderbreken van de stroomkring gaat L_2 onmiddellijk uit terwijl L_1 een ogenblik nagloeit.

Bij het sluiten van de stroomkring gaat L_1 iets trager gloeien dan L_2 .

Besluit :

Een vermeerdering van de stroomsterkte in de spoel wekt in deze spoel zelf een potentiaalverschil op dat de hoofdstroom tegenwerkt.

Een vermindering van de stroomsterkte in de spoel wekt in deze spoel een potentiaalverschil op dat de hoofdstroom tracht te versterken.

Dit verschijnsel noemt men het **zelfinductieverschijnsel**.

Verklaring :

- Bij het sluiten van de schakelaar stromen de vrije elektronen, onder invloed van de spanning van de bron, in de eerste winding van de spoel (alsook in de andere windingen) en verwekken terstond een magnetisch veld in de omliggende ruimte. De buurwindingen bevinden zich dus gedurende een ogenblik in een magnetisch veld dat aangroeit : er treedt een fluxstijging op doorheen die windingen. Deze fluxstijging induceert in de buurwindingen een inductiestroom die de fluxstijging tracht tegen te werken en die dus tegengesteld is aan de stroom in de eerste winding opgelegd door de spanningsbron. Deze inductiestroom veroorzaakt daardoor een remming van de hoofdstroom in de spoel. Dit verklaart waarom lampje 1 langzamer oplicht dan lampje 2.
- Bij het onderbreken van de stroomkring wordt de flux doorheen de windingen in zeer korte tijd tot nul herleid. Hierdoor bevinden zich de windingen gedurende een ogenblik in een sterk afnemend magnetisch veld. Deze fluxdaling induceert in dezelfde windingen een inductiestroom die de fluxdaling tracht tegen te houden, en die dus dezelfde zin heeft als de hoofdstroom die oorzaak is dat de flux nu afneemt. Deze inductiestroom zet dus een korte tijd de hoofdstroom verder : dit verklaart het nagloeien van lampje 1.

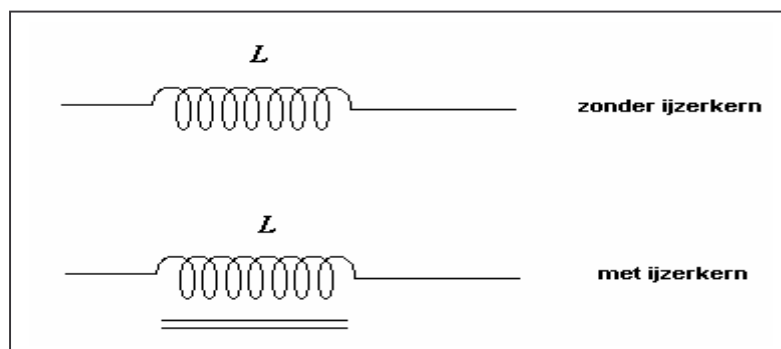
Nota :

Wanneer een klos een ijzeren kern bevat, verwekt elke stijging of daling van stroomsterkte een veel grotere verandering van de magnetische flux, en dus een veel grotere zelfinductie-spanning.

$$\begin{aligned}\Delta \Phi &= \Delta B \cdot A \\ &= (\Delta B_0 + \Delta B_{ijzer}) \cdot A\end{aligned}$$

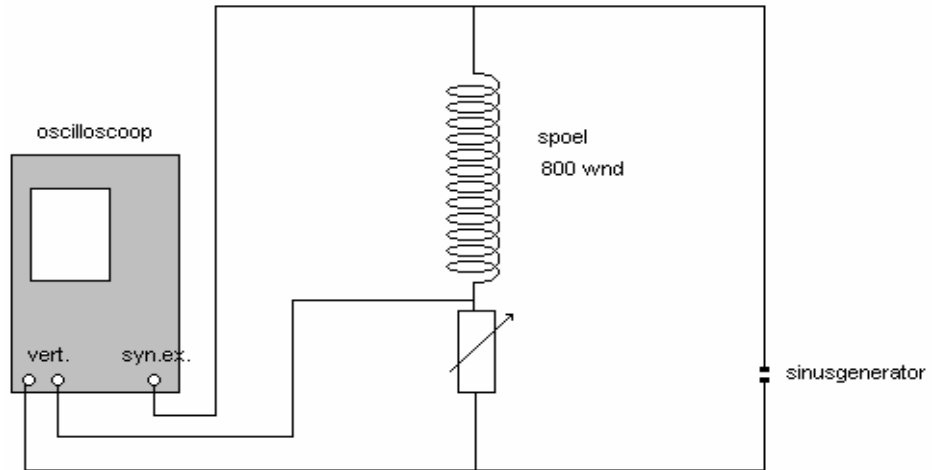
Zulk een spoel wordt daarom ook "**smoorspoel**" of "**self**" genoemd.

Symbolische voorstelling :

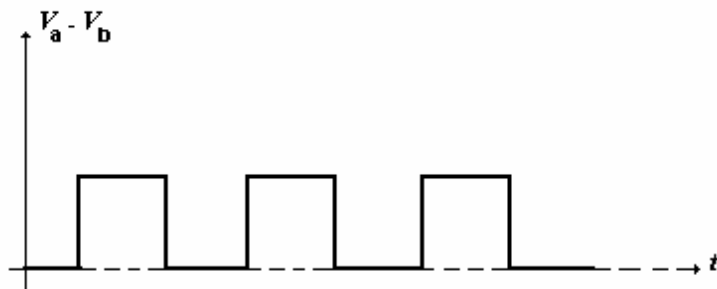


Proef 2 : aantonen van zelfinductie met behulp van een oscilloscoop.

Proefopstelling :



De stroombron doet aan de klemmen een *blokspanning* of een potentiaalverschil ontstaan dat als volgt verandert in functie van de tijd :



Proefuitvoering :

- met behulp van de generator verandert men de frequentie van de "blokgolf" - teken op het onderstaande linkse t, I - diagram het bloksignaal bij drie verschillende frequenties.
- bij constante frequentie van de blokgolf verandert men de opbouw van de spoel

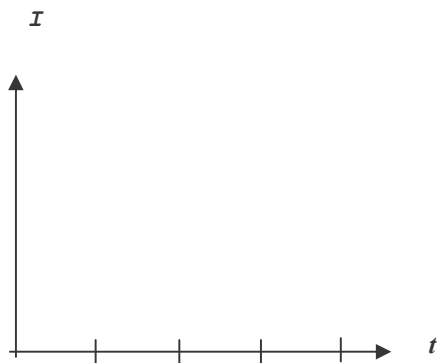
:

- spoel zonder weekijzeren kern;
- spoel met open U - vormige weekijzeren kern;
- spoel met gesloten U - vormige weekijzeren kern.

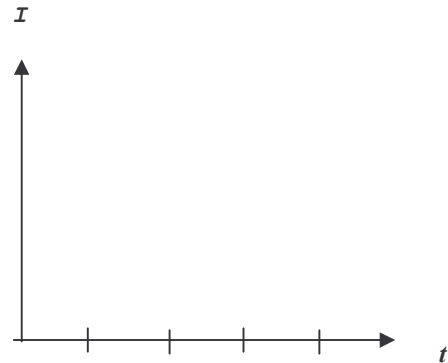
Teken eveneens het bloksignaal van deze drie verschillende spoelen op het rechtse t, I - diagram.

Waarnemingen :

a) bij verschillende frequenties



b) bij verschillende spoelopbouw



Besluit :

In een spoel ontstaat een potentiaalverschil door zelfinductie telkens als de stroomsterkte in die spoel verandert.

$$U_i = - n \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$U_i = - n \cdot A_n \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$$U_i = - n \cdot A_n \cdot \mu \cdot \frac{n \cdot \Delta I}{l \cdot \Delta t}$$

$$U_i = - \mu \cdot \frac{n^2 \cdot A_n \cdot \Delta I}{l \cdot \Delta t}$$

Hieruit leiden we de **zelfinductie - coëfficiënt** of de **inductiviteit L** af :



$$L = - \frac{U_i}{\Delta I / \Delta t} = - \mu \cdot \frac{n^2 \cdot A}{l}$$

met als **eenheid** :

$$[L] = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ A} / 1 \text{ sec.}} = \frac{1 \text{ volt} \cdot 1 \text{ seconde}}{1 \text{ ampère}} = \mathbf{1 \text{ henry} = 1 \text{ H}}$$

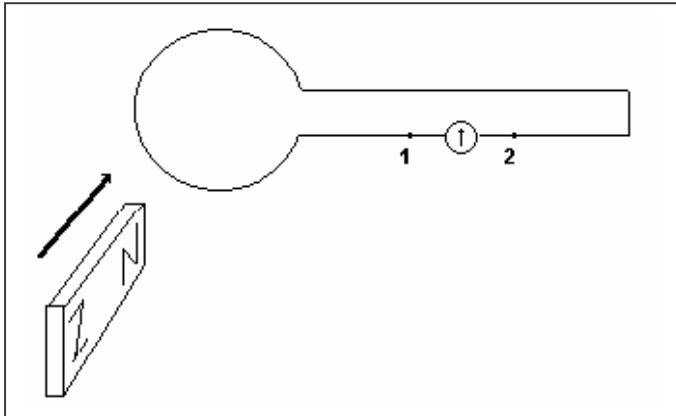
Een spoel heeft een coëfficiënt van zelfinductie van 1 henry als bij de verandering van de stroomintensiteit van 1 ampère / 1 seconde in de spoel een potentiaalverschil door zelfinductie wordt geïnduceerd van 1 volt.

OEFFENINGEN.

1. Bij de volgende opstelling is de ampèremeter (met nulpunt in het midden van de schaal) zo aangesloten dat de naald naar rechts uitwijkt als de klem 1 op hoger potentiaal is dan de klem 2.

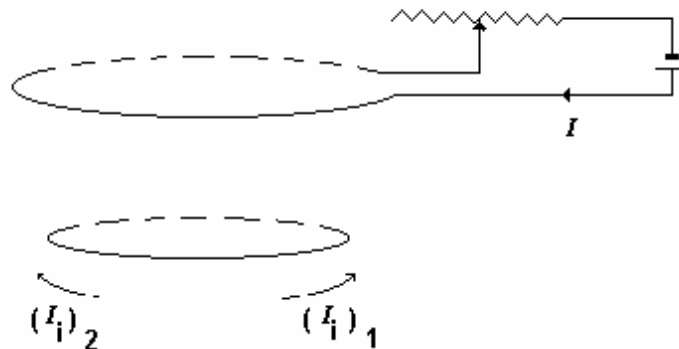
Wat gebeurt er als je een magneet, zoals aangegeven op de tekening, doorheen de verticaal opgestelde lus werpt ?

De naald wijkt uit :



- A. naar rechts en komt terug op nul;
- B. naar links en komt terug op nul;
- C. eerst naar rechts, dan naar links, dan terug op nul;
- D. eerst naar links, dan naar rechts, dan terug op nul.

2. Onderstaande figuur stelt twee vlakke horizontaal opgestelde windingen voor (achterkant van de winding is in streepjeslijn getekend).

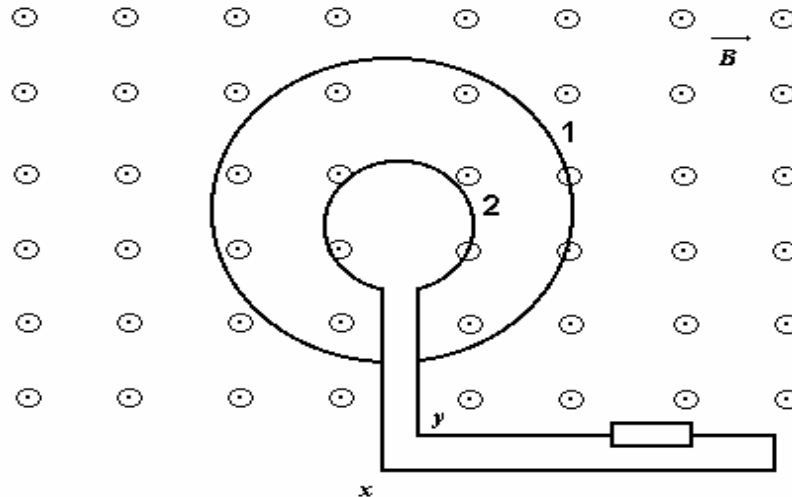


Welke van de onderstaande beweringen is correct ?

- A. als het schuifcontact naar rechts verplaatst wordt is de geïnduceerde stroomzin volgens I_1 ;
- B. als het schuifcontact naar links verplaatst wordt is de geïnduceerde stroomzin volgens I_1 ;
- C. als het schuifcontact naar rechts verplaatst wordt is de geïnduceerde stroomzin volgens I_2 ;

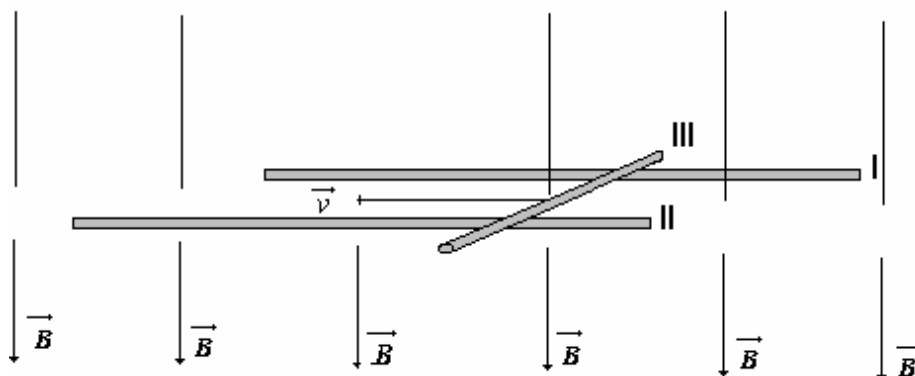
D. de geïnduceerde stroomzin is altijd volgens II of het schuifcontact nu naar links of naar rechts verplaatst wordt.

3. Een geleidende lus is vertikaal opgesteld in een homogeen magnetisch veld \vec{B} dat horizontaal naar voren is gericht (zie fig.). Wanneer men het oppervlak door de lus omsloten plotseling **verkleint** zal, indien de lusuiteinden x en y uitwendig via een weerstand verbonden zijn, tijdens het verkleinen van het oppervlak van positie 1 naar positie 2 :



- A. de uitwendige \vec{B} - vector verkleinen;
 B. de flux doorheen de lus toenemen;
 C. er een inductiestroom ontstaan in de lus in uurwijzerzin;
 D. er een inductiestroom ontstaan in de lus in tegenuurwijzerzin.

4. De statiefstaven I en II zijn parallel aan elkaar opgesteld in een **horizontaal** vlak. Een derde statiefstaaf III verbindt deze twee staven en wordt naar **links** gerold met een constante snelheid \vec{v} . De ganze opstelling bevindt zich in een homogeen magnetisch veld \vec{B} dat **verticaal** naar **beneden** gericht is.



Tijdens het verplaatsen van de staaf III :

- A. komt staaf I op hoger potentiaal dan staaf II;
 B. komt staaf II op hoger potentiaal dan staaf I;
 C. blijven staaf I en II op gelijke potentiaal;
 D. is het potentiaalteken van staaf I en II afhankelijk van de snelheid waarmee staaf III verplaatst wordt.

5. Welke van de volgende vergelijkingen is fout ?

A. $1 \text{ tesla} = 1 \text{ N} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

B. $1 \text{ tesla} = 1 \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$

C. $1 \text{ weber} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}$

D. $1 \text{ weber} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$

6. Welke van de volgende beweringen over de inductiviteit L van een lange spoel met een lengte l met oppervlakte van dwarsdoorsnede A en met windingsaantal n is correct ?

A. L verdubbelt als n tweemaal groter wordt;

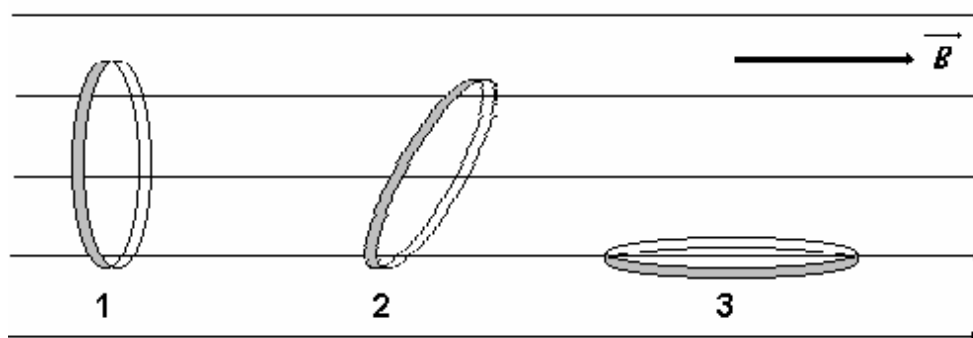
B. L verdubbelt als A tweemaal groter wordt;

C. L verdubbelt als l tweemaal groter wordt;

D. L verdubbelt als de stroomintensiteit I doorheen deze spoel tweemaal groter wordt.

7. Vraagstuk.

Een platte bobijn bestaande uit 100 identieke cirkelvormige windingen met een straal van 10,0 cm, is zo opgesteld in een homogeen magnetisch veld dat zijn as parallel is met de veldvector \vec{B} . De veldsterkte bedraagt 0,20 tesla.



Als de bobijn in $1/50$ seconde valt zoals aangegeven op de tekening zodat haar as uiteindelijk loodrecht staat op de \vec{B} - vector :

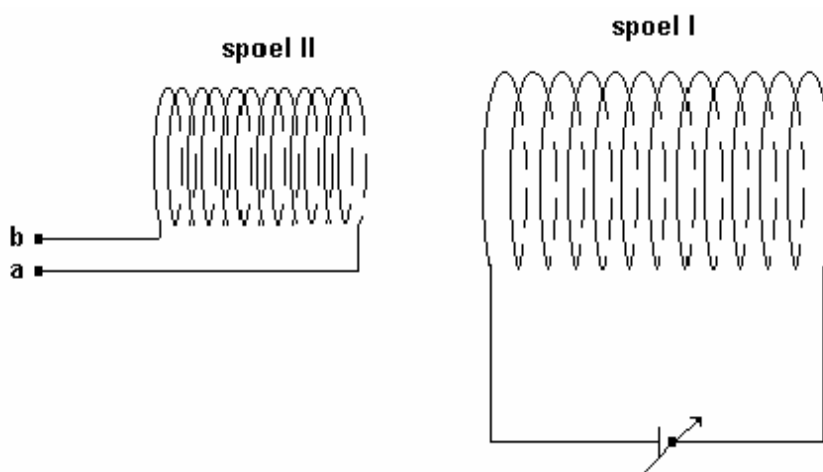
a) geef dan de zin aan van de geïnduceerde stroom tijdens de val;

b) bereken het gemiddelde geïnduceerde potentiaalverschil tussen in- en uitgang van de bobijn tijdens de val.

8. Vraagstuk

Een solenoïde (1) heeft 500 windingen; de oppervlakte van de dwarsdoorsnede bedraagt $10,0 \text{ cm}^2$ en de lengte is 20 cm . Men stuurt er een stroom door die in $2,0$ seconden lineair stijgt van $1,0$ tot $3,0$ ampère; tijdens de volgende $2,0$ seconden daalt de intensiteit weer lineair van $3,0$ tot $1,0$ ampère om vervolgens weer te stijgen.

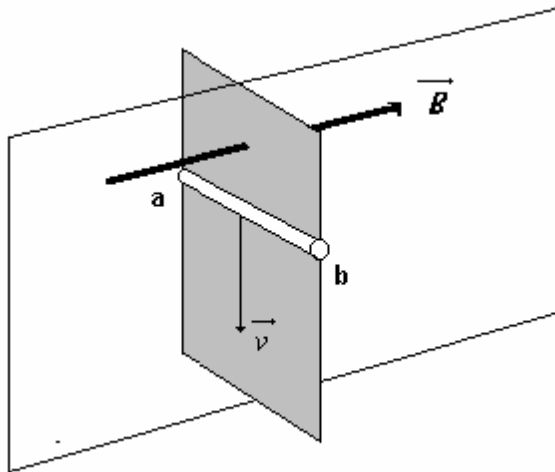
Binnenin solenoïde (1) wordt een tweede solenoïde (2) geschoven zo dat de assen van beide samenvallen. Deze tweede solenoïde telt 100 windingen; de oppervlakte van de dwarsdoorsnede bedraagt $5,0 \text{ cm}^2$ en de lengte $5,0 \text{ cm}$.



- Aan welke kant van de solenoïde (1) zal een magnetische N - kant ontstaan ?
- Bereken de grootte van de magnetische veldsterkte binnenin de solenoïde (1) op het ogenblik dat de stroomintensiteit $3,0$ ampère bedraagt.
 $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ V.s/A.m}$
- Bepaal het ladingsteken van het uiteinde A van solenoïde (2) als de stroomintensiteit in solenoïde (1) daalt van $3,0$ tot $1,0$ ampère. (solenoid 2 steekt binnenin solenoïde 1)
- Bereken het potentiaalverschil dat er op elk ogenblik heerst tussen de uiteinden a en b.

9. Vraagstuk

Een rechte horizontale geleider [a,b] met een lengte van 1,00 meter, wordt met een constante snelheid van 1,00 m/s verticaal naar beneden verplaatst in een homogeen magnetisch veld waarvan de veldvector \vec{B} loodrecht staat op de geleider [a,b]. De veldsterkte bedraagt $0,20 \cdot 10^{-4}$ tesla.



- Wat zal het ladingsteken van het punt A van de geleider zijn tijdens de verplaatsing ?
- Bereken het geïnduceerde potentiaalverschil tussen a en b tijdens de verplaatsing.

10. Vraagstuk

Een spoel met 700 windingen, met een lengte van 30 cm en een straal van 4,0 cm wordt doorlopen door een stroom met een intensiteit van 5,0 A. De relatieve permeabiliteit $\mu_r = 2000$ binnenin de spoel wegens de aanwezigheid van een ijzeren kern (zodat de magnetische permeabiliteit $\mu = \mu_r \cdot \mu_0 = 2000 \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ V.s/A.m}$).

- Bereken de zelfinductiecoëfficiënt (inductiviteit) van deze spoel;
- Bereken het geïnduceerde potentiaalverschil bij het uitschakelen van de stroom ($\Delta t = 0,020$ seconden).

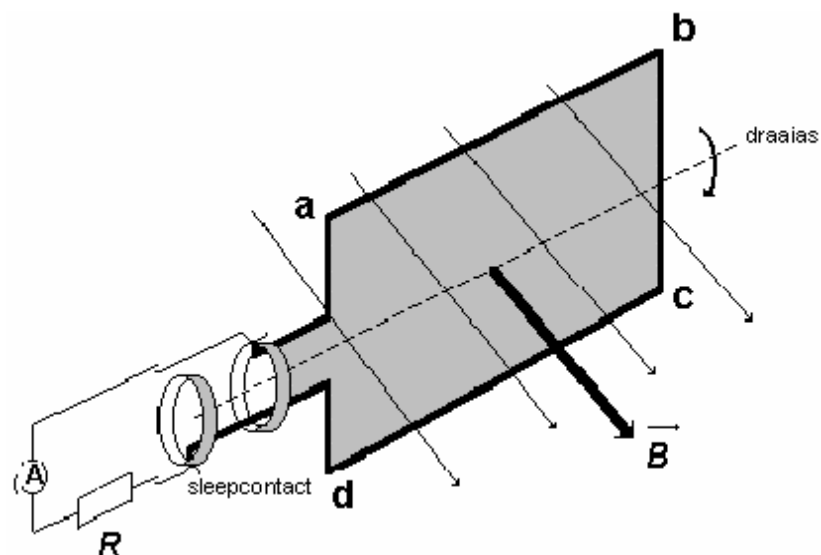
TOEPASSINGEN.

Toepassing 1 : de werking van een wisselstroomgenerator of alternator.

Proefopstelling :

Een draadraam **abcd** draait met een constante snelheid in een homogeen magnetisch veld. De uiteinden van het raam zijn verbonden met twee metalen ringen waaraan d.m.v. sleepcontacten of glijdende borstels een A - meter verbonden is via een uitwendige weerstand R . De A - meter mag vervangen worden door een oscilloscoop.

Als het kader draait zullen de voorste en de achterste sleepring meedraaien ; de borstels blijven uiteraard ter plaatse.



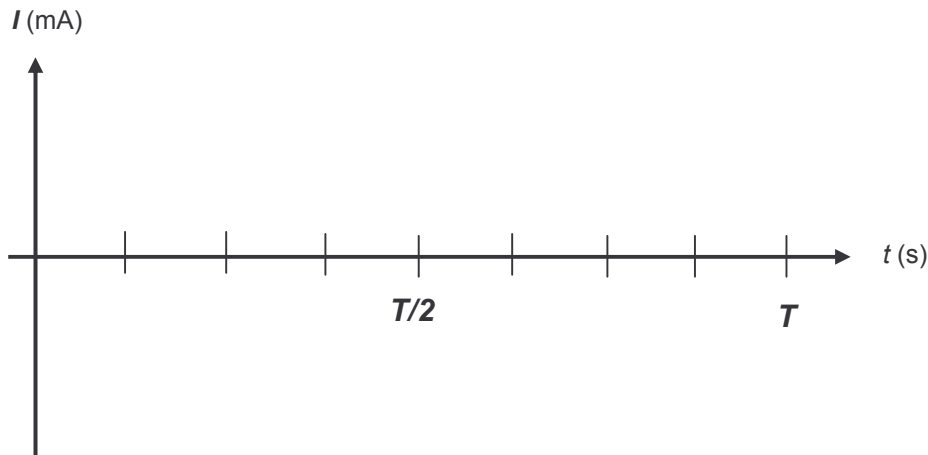
Het constant homogeen magnetisch veld \vec{B} wordt verwekt door :

- permanente magneten
- of door elektromagneten

Het systeem dat het magnetisch veld verwekt noemt men de "inductor".

Waarneming :

Verloop van de stroomintensiteit in functie van de tijd als het draadraam draait rondom de draaias.



Als T = de tijd die het draadraam nodig heeft om één volledige omwenteling te doen

= periode

Tijdens één volledige omwenteling veranderen de collectoringen dus **éénmaal** van polariteit.

Besluit :

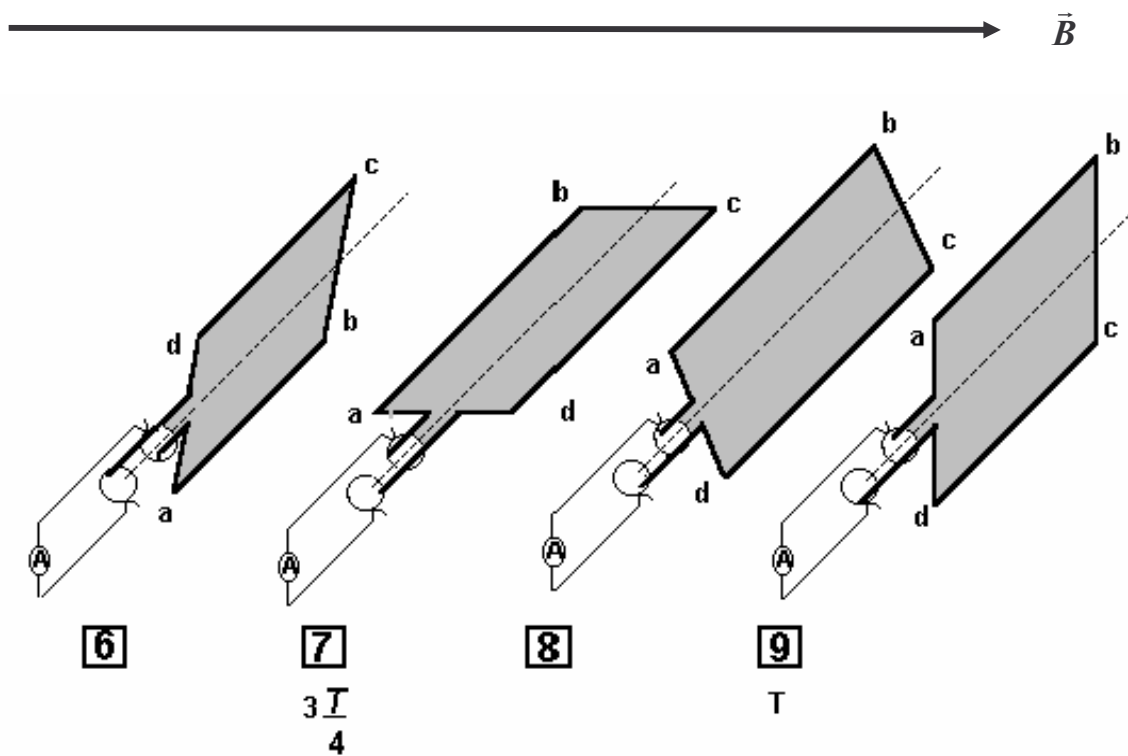
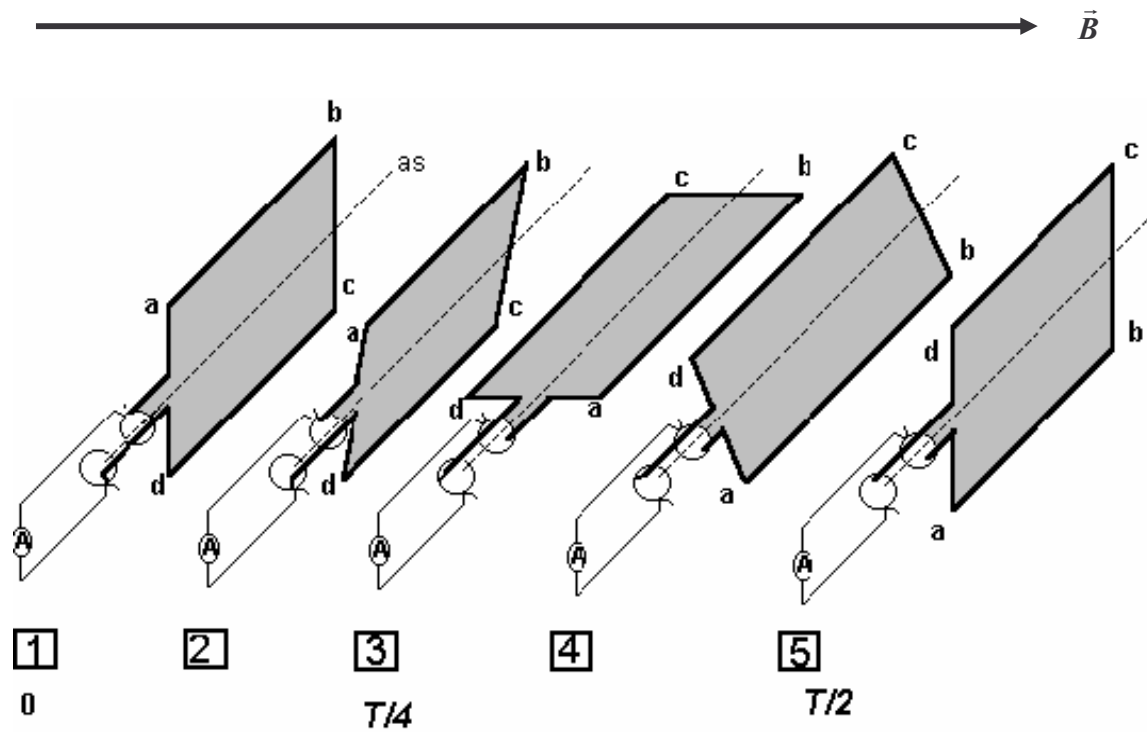
De draaiing van het draadraam doet een inductiestroom ontstaan die na elke halve draai van zin verandert = **WISSELSTROOM**.

De windingen waarin de elektrische stroom wordt opgewekt noemt men het "*anker*".

In een generator wordt mechanische energie (bewegingsenergie) omgezet in elektrische energie.

Verklaring :

Beschouwen we een reeks opeenvolgende standen van het draadraam (zie tekeningen op volgend blz.) :



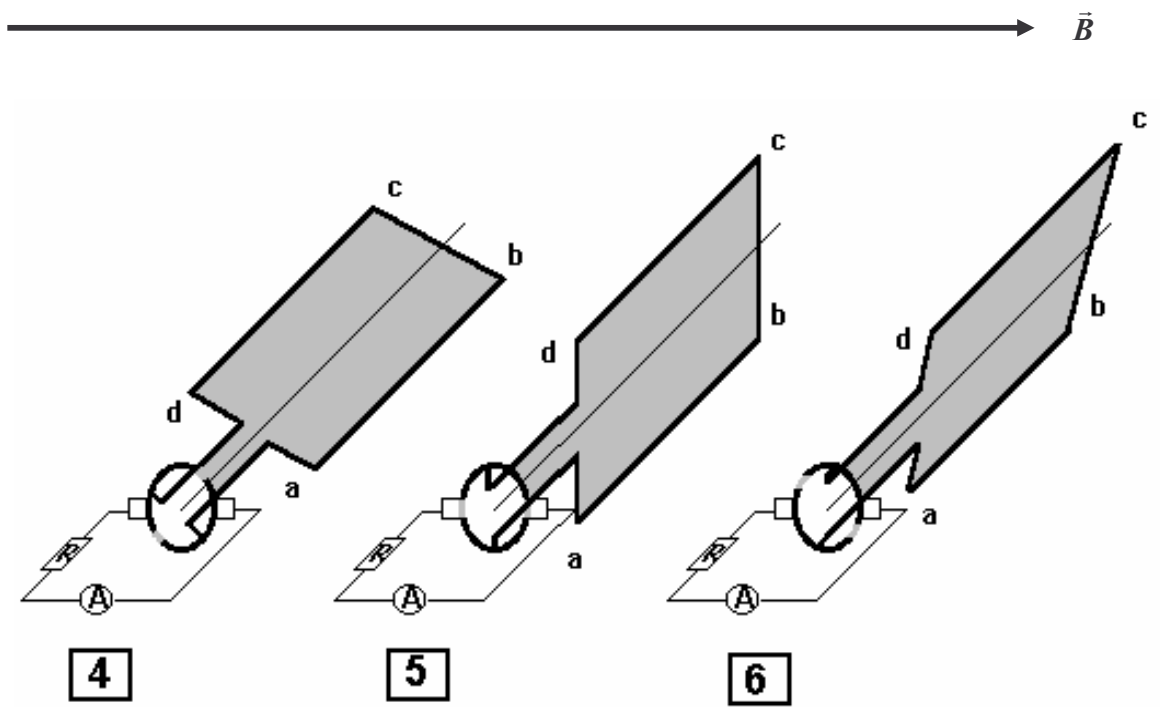
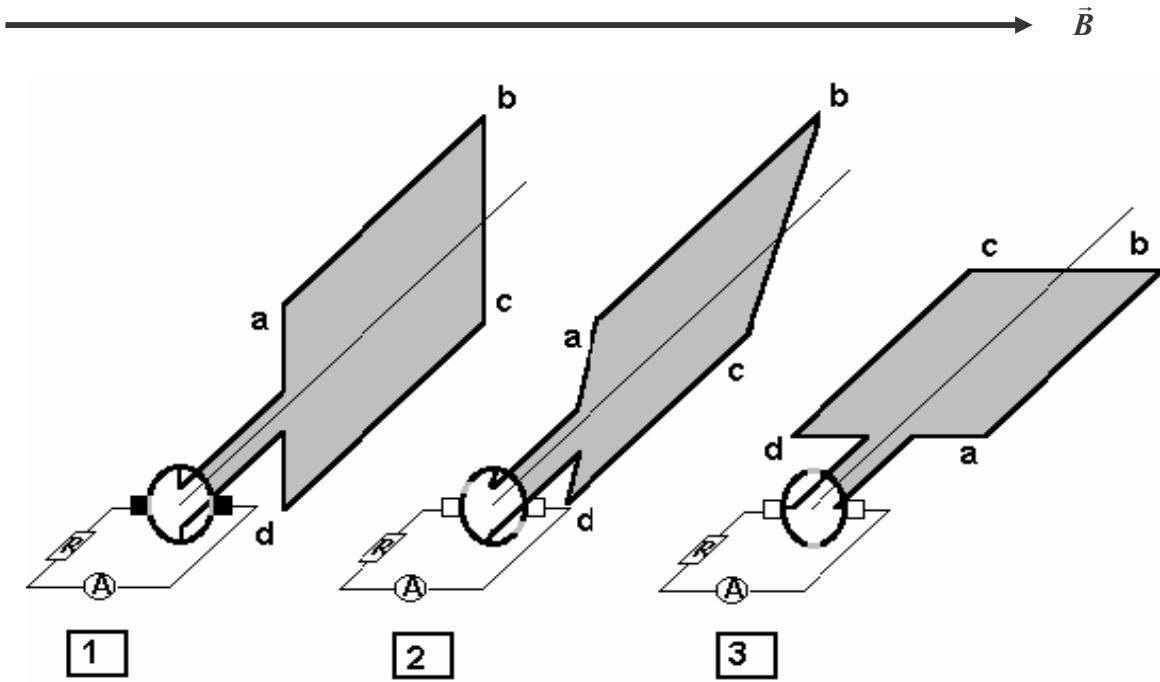
- 1 ----> 3 : daling van de flux doorheen het draadraam -----> de opgewekte inductiestroom tracht deze fluxdaling teniet te doen -----> het magnetisch veld van deze inductiestroom \vec{B}_i is naar rechts georiënteerd -----> de zin van de inductiestroom is van **d** ----> **c** -----> **b** -----> **a** zodat de **voorste collectorring de negatieve pool is, de achterste de positieve.**
- 3 ----> 5 : stijging van de flux doorheen het draadraam -----> de opgewekte inductiestroom tracht deze stijging teniet te doen -----> het magnetisch veld van deze inductiestroom \vec{B}_i is naar links georiënteerd -----> de zin van de inductiestroom is van **d** ----> **c** -----> **b** -----> **a** zodat de **voorste collectorring de negatieve pool blijft, de achterste de positieve.**
- 5 ----> 7 : daling van de flux doorheen het draadraam -----> de opgewekte inductiestroom tracht deze daling teniet te doen -----> het magnetisch veld van deze inductiestroom \vec{B}_i is naar rechts georiënteerd -----> de zin van de inductiestroom is van **a** ----> **b** -----> **c** -----> **d** zodat de **voorste collectorring de positieve pool wordt, de achterste de negatieve.**
- 7 ----> 9 : stijging van de flux doorheen het draadraam -----> de opgewekte inductiestroom tracht deze daling teniet te doen -----> het magnetisch veld van deze inductiestroom \vec{B}_i is naar links georiënteerd -----> de zin van de inductiestroom is van **a** ----> **b** -----> **c** -----> **d** zodat de **voorste collectorring de positieve pool blijft, de achterste de negatieve.**

Toepassing 2 : de werking van een gelijkstroomgenerator of dynamo.

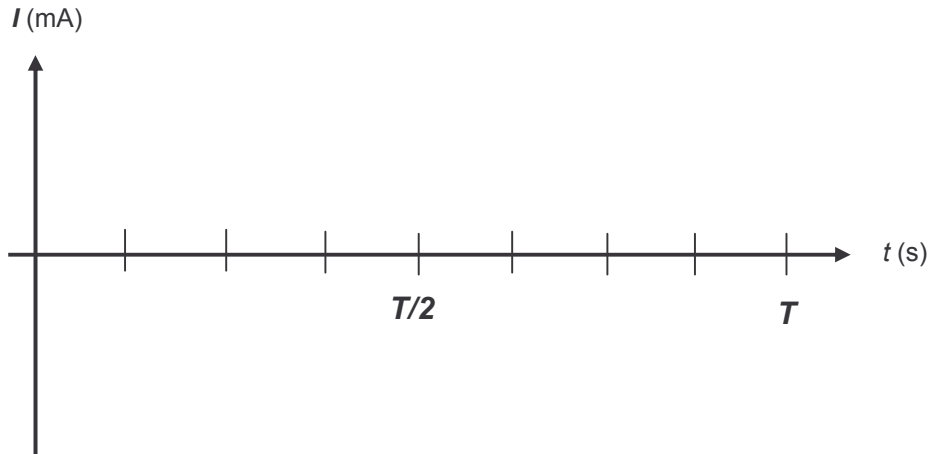
De bouw van dit toestel verschilt van de wisselstroomgenerator doordat de collector uit één sleepring is opgebouwd die met het kader meedraait i.p.v. twee.

Deze sleepring is opgebouwd uit twee geleidende halve cilinders die van elkaar gescheiden zijn door een niet geleidende stof.

Op deze sleepring takken twee borstels, die in een vaste positie geplaatst zijn, de geïnduceerde spanning af. Hierop kan een weerstand met een ampèremeter of een oscilloscoop aangesloten worden.



Waarneming :



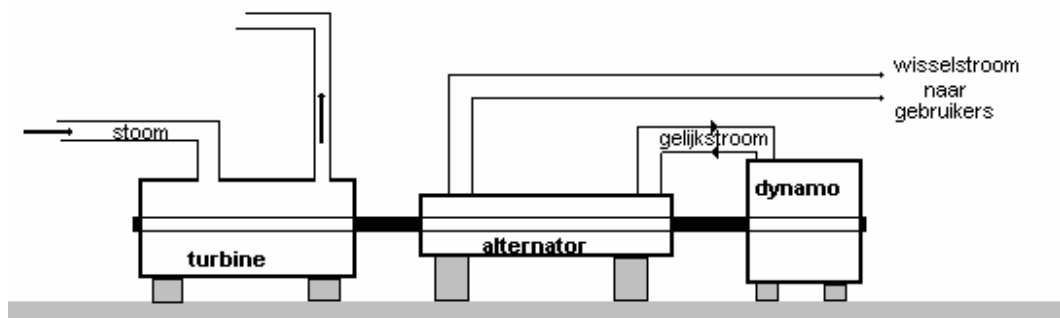
Tijdens één volledige omwenteling veranderen de collectoringen dus **niet** van polariteit.

In het draadraam is de inductiestroom een wisselstroom zoals in toepassing 1.

Na een halve toer treedt er een omwisseling op van de borstels op de twee halve cilinders zodat **de stroomzin in de buitenkring dezelfde blijft**.

Nota : In werkelijkheid gebruikt men bij de gelijk- en wisselstroomgeneratoren niet één winding, maar kaders met veel windingen om een groter geïnduceerd potentiaalverschil te verkrijgen.

In een **elektrisch centrale** produceert men (door verbranding van steenkool, aardolie, gas of d.m.v. kernenergie) stoom. Deze stoom brengt een turbine aan het draaien. Op dezelfde als van de stoomturbine staan achtereenvolgens een alternator en een dynamo. De dynamo produceert gelijkstroom waarmee de elektromagneten gevoed worden welke het magnetisch veld in stand houden waarin het stroomkader van de alternator draait. De alternator produceert de wisselstroom die aan de gebruikers geleverd wordt.



IX. Literatuur.

- J. GREHN Metzler Physik
J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung - Stuttgart
- A. HELMS/ A. MAY Physik in Demonstrationsversuchen
Elektrik : Teil 1 un Teil 2. (PHYWE - Schriftenreihe)
- R. FAUCHER Physique - Classe de première
Librairie A. Hatier, Paris
- J. PERGOOT, L. THYS, E. VANDERSTAPPEN
Natuurkunde 5 - elektriciteit
- A. DELARUELLE, A.I. CLAES Natuurkunde deel III
- W. VAN DINGENEN, C. NEPPER, W. VEREYCKEN, A. CARRON
Moderne Natuurkunde : elektriciteit, magnetisme en
elektromagnetisme.
- A. VERHAEGEN, S.DAEMS, R. BRODDIN, H. VAN ENGELLEN
Natuurkunde deel 3 : elektriciteit
- D. HALLIDAY, R. RESNICK Physics : parts I an II
- KRONCKE Mikrovoltversterker, Hallgenerator
Versuchsbeschreibungen
Sinusgenerator
Versuche
- J. DREEZEN Experimenten met de Hall-sonde
Didactische werkgroep Natuurkunde - Chemie nr 767/03 - PUC
- J. DREEZEN Elektromagnetisme
Didactische werkgroep Natuurkunde – Chemie - PUC
- D. C. GIANCOLI Natuurkunde voor wetenschap en techniek

Deel II : Golven en geluid
 Kinetische theorie en Thermodynamica
 Elektriciteit en magnetisme
 Licht

H.W. KIRCHHOFF

Klausur- und Abiturtraining
Physik 2 : Elektrizitätslehre
 Optik
 Atomphysik
 Relativitätstheorie