

Typen van gelijkstroomgeneratoren met hun karakteristieken

Wegwijzer

De vorige leereenheid handelde over het schakelen van de wikkelementen tot een ankerwikkeling. Daaruit volgde een formule die het mogelijk maakte de gegenereerde spanning te berekenen. We onderzochten de reactie van de stroomvoerende ankerwikkeling op het hoofdveld en trachtten de nadelige invloeden uit te schakelen. De problemen met de 'gelijkrichting' van de stromen werden geschetst én de mogelijkheden om die problemen op te heffen.

Waar we geen aandacht aan schonken, was de voedingsbron van de bekrachtigingswikkeling rond de hoofdpolen. Het is namelijk zo dat - naargelang de herkomst van de bekrachtigingsstroom en de schakeling van de bekrachtigingswikkeling - een generatortype met typische eigenschappen ontstaat.

In het eerste gedeelte van deze leereenheid bestuderen we de schakelingen en karakteristieken van de onderscheiden generatortypes.

In het tweede gedeelte bekijken we het vermogen en het rendement van de onderscheiden gelijkstroomgeneratoren. Het gebruik van de verschillende generatoren in de praktijk zal met die achtergrondkennis dan ook duidelijk moeten zijn.

9121

ENKEL VOOR KLASGEBRUIK

2.1 Generatortypes

2.1.1 Algemene indeling

Doelstelling

- De generatortypes indelen volgens de manier van bekrachtigen.

We delen de generatoren in volgens de manier van bekrachtiging of excitatie. *Onder bekrachtiging of excitatie verstaan we het opwekken van een magnetische krachtstroom in de magnetische keten van een gelijkstroomgenerator.*

$$\phi = \frac{NI}{R_m}$$

Dat zal gebeuren door een elektrische stroom te sturen door de windingen die rond de poolkernen zijn aangebracht. Zo onderscheiden we generatoren met:

a Onafhankelijke bekrachtiging

De generator wordt bekrachtigd door een spanningsbron, onafhankelijk van de generator, bv. een batterij, accumulatoren, een wisselspanningsbron met gelijkrichter of een andere gelijkstroomgenerator.

b Zelfbekrachtiging

De bekrachtigingswikkeling wordt doorlopen door een stroom die de generator zelf levert. De zelfbekrachtiging van een generator is slechts mogelijk als de polen een voldoende groot remanent magnetisme bezitten. Bij draaien van het anker zal hierin een kleine spanning worden opgewekt. Die kleine spanning is oorzaak van een kleine stroom die door de bekrachtigingswikkeling vloeit. Die kleine stroom zal het remanent magnetisme in dezelfde zin moeten versterken, zodat de spanning ($E = k \cdot \phi \cdot n$) toeneemt. Die hogere spanning levert meer stroom aan de bekrachtigingswikkeling waardoor de spanning weer stijgt enz. Op die wijze genereert de generator, geleidelijk aan, zijn eigen spanning.

Dat doet zich voor tot de verzadiging van de polen wordt bereikt.

Bij de generatoren met zelfbekrachtiging onderscheiden we:

- *shuntgeneratoren*: de bekrachtigingswikkeling staat parallel met de ankerwikkeling.
- *seriegeneratoren*: de bekrachtigingswikkeling staat in serie met de ankerwikkeling.
- *compoundgeneratoren*: is een combinatie van de shunt- en seriegenerator. De generator bevat twee bekrachtigingswikkelingen waarvan de ene in serie en de andere in parallel met de ankerwikkeling staat.

c Combinatietype (speciale generatoren)

De speciale generatoren bevatten meerdere bekrachtigingswikkelingen waarvan de bekrachtiging deels door zelfbekrachtiging en deels door onafhankelijke bekrachtiging wordt opgewekt. Als voorbeeld behandelen we de Krämer-generator.

Toelichting

Er bestaan ook generatoren met *permanente magneten*. Ze komen voor in de stuur- en regeltechniek; men noemt ze daar *tachogeneratoren*. Het zijn generatoren voor klein vermogen. Zonder verder in te gaan op bijzonderheden kunnen we stellen dat de opgewekte spanning recht evenredig is met de rotatiefrequentie.

2.1.2 Generator karakteristieken

Doelstelling

- Van de onderscheiden generator karakteristieken de constante en veranderlijke grootheden in onderling verband brengen.

Om de genoemde generatortypes te onderscheiden vergelijken we het 'karakter' van de machines. In een assenstelsel gaan we het verband tussen twee veranderlijke grootheden tekenen, terwijl we de andere grootheden constant houden. Om onderlinge vergelijking mogelijk te maken zullen we voor de verschillende generatortypes dezelfde karakteristieke grootheden onderzoeken en met elkaar vergelijken. Zo onderscheiden we de volgende karakteristieken:

a Nullastkarakteristiek of magnetische karakteristiek

Deze karakteristiek geeft het verband tussen de gegenereerde spanning E en de bekrachtigingsstroom I_f . De rotatiefrequentie wordt constant gehouden en het anker levert geen stroom (nullast).

We zullen opmerken dat deze karakteristiek voor alle generatortypes hetzelfde verloop kent. In dat verloop zullen we de magnetische kromme (deel IB - 16.2.3) herkennen.

Samengevat: $E = f(I_f)$

met

$$I_a = 0$$

$n = \text{constant}$

I_f : stroom door de wikkeling $F_1 - F_2$ (onafhankelijke bekrachtiging)

b Belastingskarakteristiek

De belastingskarakteristiek geeft het verband tussen de klemspanning U en de bekrachtigingsstroom I_f , I_d of I_e (naargelang het generatortype).

Samengevat: $U = f(I_f, I_d \text{ of } I_e)$

met

$n = \text{constant}$

$I = \text{constant}$

I_f : stroom door wikkeling $F_1 - F_2$ (onafhankelijke bekrachtiging)

I_d : stroom door wikkeling $D_1 - D_2$ (seriewikkeling)

I_e : stroom door wikkeling $E_1 - E_2$ (shuntwikkeling)

c Uitwendige karakteristiek

De uitwendige karakteristiek geeft het verband tussen de klemspanning U en de belastingsstroom I . De rotatiefrequentie van de generator en de weerstand van de bekrachtigingsketen (R_f , R_d of R_e) moeten constant blijven.

Samengevat: $U = f(I)$

met

$n = \text{constant}$

R_f , R_d of $R_e = \text{constant}$

R_f : weerstand van de bekrachtigingsketen bij onafhankelijke bekrachtiging

R_d : weerstand van de bekrachtigingsketen bij seriegenerator

R_e : weerstand van de bekrachtigingsketen bij shuntgenerator

d Inwendige karakteristiek

De inwendige karakteristiek geeft het verband tussen de gegenereerde spanning E en de uitwendige stroomsterkte I . De snelheid en de weerstand van de bekrachtigingsketen (R_f , R_d of R_e) moeten constant blijven.

Samengevat: $E = f(I)$

met

$n = \text{constant}$

R_f , R_d of $R_e = \text{constant}$

e Kortsluitkarakteristiek

De kortsluitkarakteristiek geeft het verband tussen de kortsluitstroom I_k en de bekrachtigingsstroom I_f .

De rotatiefrequentie moet constant gehouden worden bij kortgesloten anker (klemspanning nul).

Samengevat: $I_k = f(I_f)$

met

$n = \text{constant}$

$U = 0$

f Regelkarakteristiek

De regelkarakteristiek geeft het verband tussen de bekrachtigingsstroom I_f of I_e en de belastingsstroom I . De snelheid en de klemspanning moeten constant blijven.

Samengevat: $I_f = f(I)$

met

$n = \text{constant}$

$U = \text{constant}$

De vermelde karakteristieken zijn bij de diverse generatortypes niet alle van even groot praktisch nut. Bij sommige types is het zelfs onmogelijk deze karakteristieken op te nemen.

Bij de bespreking van de verschillende generatortypes zullen we dan ook vooral aandacht besteden aan de meest praktisch bruikbare karakteristieken. De uitwendige karakteristiek is dan zonder twijfel de belangrijkste.

2.1.3 Gebruikte symbolen

Doelstelling

- De gebruikte symbolen met hun juiste betekenis weergeven.

In de onderstaande tabel vinden we een overzicht van de klemmenaanduiding van de wikkelingen bij gelijkstroommachines volgens verschillende normalisatiestelsels. We gebruiken verder in dit leerboek de aanduidingen die momenteel de voorkeur genieten omdat ze volgens een strikte logica werden opgebouwd.

In dezelfde tabel geven we ook de symboliek die we verder zullen gebruiken om de stromen en de weerstanden van de onderscheiden wikkelingen aan te duiden.

	Anker-wikkeling	Hulppool-wikkeling	Compensatie-wikkeling	Seriewikkeling	Shunt-wikkeling	Onafh. bekr. wikkeling
VOORKEUR	$A_1 - A_2$	$B_1 - B_2$	$C_1 - C_2$	$D_1 - D_2$	$E_1 - E_2$	$F_1 - F_2$
VDE	A - B	G - H	G - H	E - F	C - D	J - K
Frans	A - AA	C - CC	K - KK	S - SS	F - FF	
VEMET	B - b	C - c	K - k	S - s	F - f	
Engels	A - AA	H - HH	H - HH	Y - YY	Z - ZZ	
VS	$A_1 - A_2$	$C_1 - C_2$	$C_1 - C_2$	$S_1 - S_2$	$F_1 - F_2$	
Weerstand-wikkeling (Ω)	R_a	R_b	R_c	R_d	R_e	R_f
Stroomsterkte-wikkeling (A)	I_a	I_a	I_a	I_d	I_e	I_f
Aantal windingen	N_a	N_b	N_c	N_d	N_e	N_f

2.2 De generator met onafhankelijke bekrachtiging

2.2.1 Principewerking

Doelstelling

- Aan de hand van een schema de principewerking van de onafhankelijk bekrachtigde generator toelichten.

In fig. 52 zijn de bekrachtigingswikkeling en de ankerwikkeling van de generator getekend zoals ze in werkelijkheid voorkomen bij generatorconstructies. De aansluiting op buitenketens gebeurt altijd via een klemmenbord. In fig. 53 tekenen we het schakelschema dat de schakeling op elektrisch gebied overzichtelijker maakt.

Om de principeschema's zo overzichtelijk mogelijk te houden zullen we verder de hulppool- en compensatiewikkeling niet tekenen, tenzij de studie dat vereist. Ook aan technologische bijzonderheden (schakelaars en veiligheids bv.) wordt in de theoretische benadering van deze leereenheid geen bijzondere aandacht besteed.

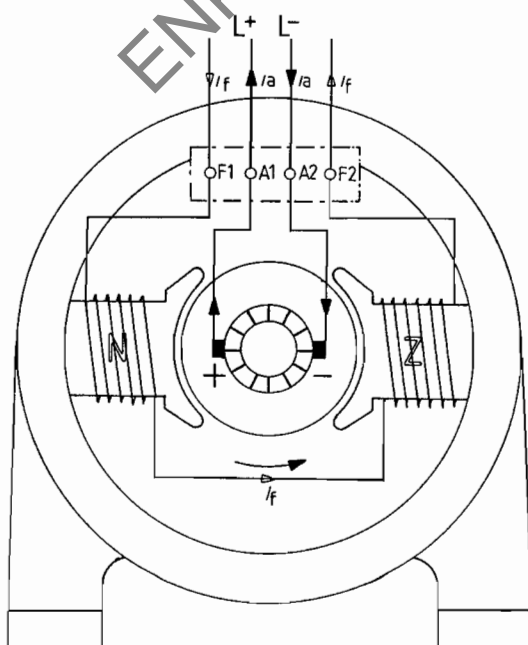


fig. 52

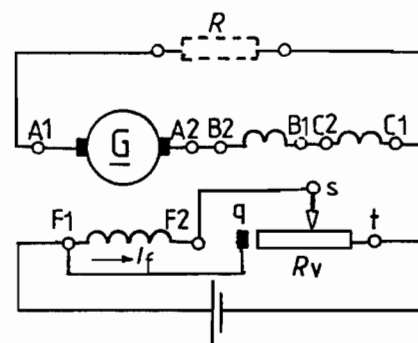


fig. 53

De bekrachtigingswikkeling F_1F_2 wordt gevoed door een onafhankelijke spanningsbron. De grootte van de flux heeft als waarde

$$\phi = \frac{N_f \cdot I_f}{R_m}$$

waarin $N_f \cdot I_f$ de magnetomotorische kracht of M.M.K. voorstelt.

Uit praktisch economisch standpunt houden we de stroomsterkte in de bekrachtigingswikkeling (I_f) zo klein mogelijk (denk aan jouleverlies $R_f \cdot I_f^2$ en aan de voedingsbron die deze stroomsterkte moet leveren).

Vermits we toch over een welbepaalde flux ϕ moeten beschikken, zal bij kleine stroomsterkte het aantal windingen N groot moeten zijn, hetgeen een hoge zelfinductiecoëfficiënt van de spoel meebrengt:

$$L = \frac{N^2}{R_m}$$

De draaddoorsnede van de wikkelementen is klein, waardoor de ohmse weerstand (R_f) relatief groot is.

Om de flux veranderlijk te maken, plaatsen we een regelweerstand in serie met de bekrachtigingswikkeling. We zullen deze verder veldregelaar R_v noemen. Omdat de bekrachtigingswikkeling erg inductief is, zijn er problemen bij het onderbreken van de stroomketen. De hierbij ontstane hoge inductiespanning kan doorslag van de isolatie tussen de wikkelingen tot gevolg hebben. Om dat te vermijden is de veldregelaar R_v uitgevoerd met een derde contact q (kortsluitcontact, fig. 53).

Alvorens de stroomkring te onderbreken komt dan schuifcontact 's' in verbinding met q . Hierdoor wordt de veldwikkeling F_1F_2 kortgesloten en zal de opgehoopte magnetische energie $\left(\frac{LI^2}{2}\right)$ vrijkomen onder de vorm van warmte in de bekrachtigingswikkeling (zie eveneens 1B - 19.4.3).

2.2.2 Generatorkarakteristieken

Doelstellingen

- Van de onafhankelijk bekrachtigde generator het prinsipeschema voor het opnemen van de onderscheiden karakteristieken tekenen.
- Het verloop van de onderscheiden karakteristieken tekenen en verduidelijken.
- Uit gekende formules het wiskundig verloop tussen de veranderlijke grootheden van de onderscheiden karakteristieken afleiden.

a Nullastkarakteristiek

$$E = f(I_f)$$

met

$n = \text{constant}$

$I_a = 0$

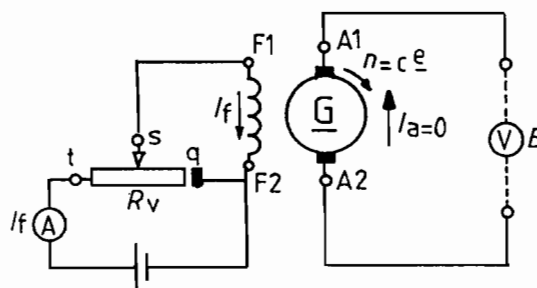


fig. 54

Met een tachometer controleren we de rotatiefrequentie en houden die constant gedurende het opnemen van de karakteristiek. Met een A-meter meten we de te regelen stroomsterkte I_f terwijl de V-meter de gegenereerde spanning E aangeeft. Er wordt geen belasting aangesloten vermits I_a nul moet zijn.

Bij elke waarde van I_f stijgend van 0 naar $I_f \text{ max}$) noteren we de overeenstemmende waarde van E . Dit geeft ons de karakteristiek van fig. 55.

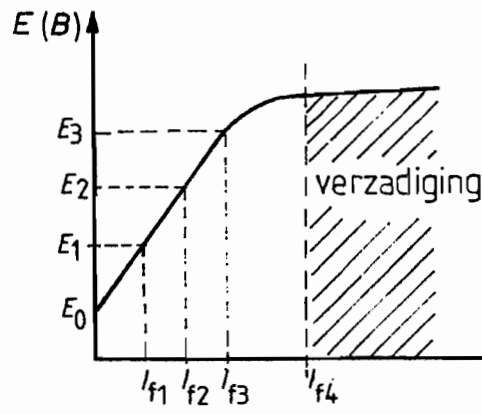


fig. 55

Zolang de polen niet verzadigd zijn, neemt de spanning lineair toe met de bekrachtigingsstroom ($E = k \cdot \phi \cdot n = k_1 \cdot \phi$). Zodra het verzadigingsverschijnsel optreedt neemt de spanning niet meer lineair toe. In het verzadigingsgebied blijft de spanning bij toenemende stroomsterkte constant.

In het verloop herkennen we de vroegere magnetisatiekromme (1B - 16.2.3).

De spanning E_0 bij $I_f = 0$ is afkomstig van het remanent magnetisme. Bij een machine die nog nooit gemagnetiseerd werd en geen remanente flux bezit zal bij $I_f = 0$ ook $E_0 = 0$ zijn.

Wiskundige benadering:

$$E = f(I_f)$$

met

$n = \text{constant}$

$I_a = 0$

$$E = k \cdot \phi \cdot n$$

$$E = k \cdot \frac{N_f \cdot I_f}{R_m} \cdot n$$

Vermits k , N_f , n en R_m constant zijn is:

$$E = k' \cdot I_f$$

Wiskundig vertaald:

$y = ax$ waarin hier $y = E$ en $x = I_f$ gesteld worden.

Dit stelt een rechte door de oorsprong voor.

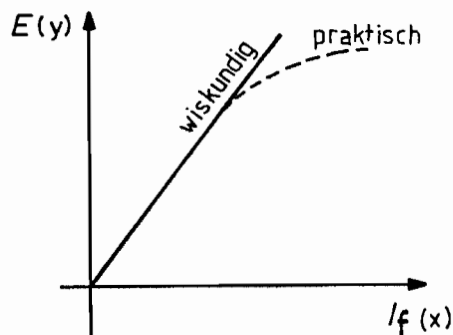


fig. 56a

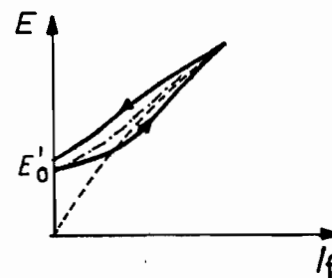


fig. 56b

Dat het verloop gelijkvormig is met de B.H.-kromme zien we in de volgende omvorming:

$$E = k \cdot \phi \cdot n = k \cdot B \cdot A \cdot n = k' \cdot B$$

en

$$I_f = \frac{H \cdot l}{N_f} = k'' \cdot H$$

Toelichting

Dalende waarden van I_f (fig. 56b)

Als we, bij het opnemen van $E = f(I_f)$, de waarden van E noteren bij dalende I_f -waarden, dan stellen we vast dat die kromme hoger ligt. Dat is te wijten aan het *hysteresis*-verschijnsel (zie 1B - 16.2.4). Bij $I_f = 0$ krijgen we dan E_0 . Na een tijd verdwijnt deze hogere inductie vanzelf en zullen we bij het opnemen van een volgende karakteristiek opnieuw de oorspronkelijke waarden aflezen.

b Belastingskarakteristiek

$$U = f(I_f)$$

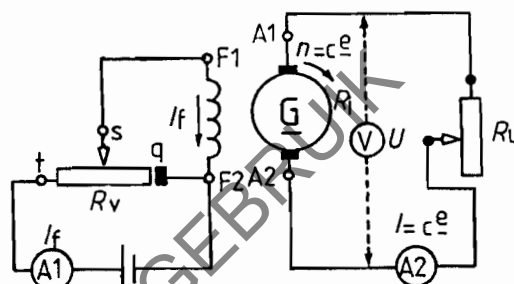
met

$n = \text{constant}$

$I = \text{constant}$

Aansluitschema:

fig. 57



Vermits hier hulppolen en compensatiepolen aanwezig kunnen zijn, noemen we

$$R_i = R_a + R_b + R_c$$

de inwendige weerstand van de generator. I en n worden constant gehouden door regeling van R_u . Met de A-meter A_2 en een tachometer controleren we de stroomsterkte en het toerental. Het praktisch resultaat ziet eruit als op fig. 58.

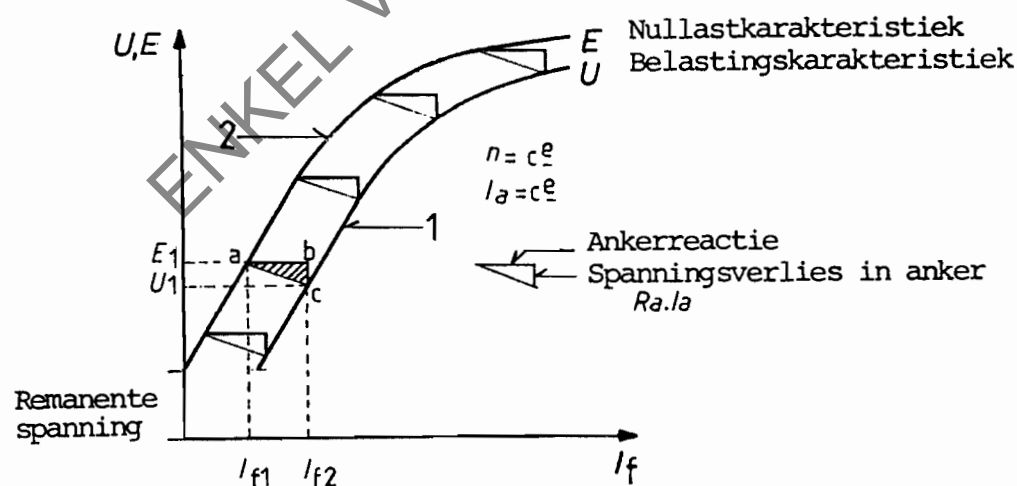


fig. 58

Deze karakteristiek zouden we ook kunnen afleiden uit de nullastkarakteristiekcurve 2 op fig. 58. Vermits I en R_i constanten zijn, is ook de waarde van de inwendige spanningsval en het ankerdwarsveld constant. Door het ankerdwarsveld zal het hoofdveld verzwakken. Om eenzelfde spanning te genereren moet de magnetisatiestroom toenemen met waarde $(I_{f2} - I_{f1})$ of lengte ab .

Om de klemspanning 'U' te bekomen moet $R_i \cdot I_a$ van de bekomen spanning afgetrokken worden (bc). Past men beide verminderingen toe voor elke waarde van de bekrachtigingsstroom, dan verkrijgen we $U = f(I_f)$. Zie curve 1.

Het praktisch nut van deze karakteristiek is niet erg groot, maar de studie ervan zal ons meer inzicht in de generatorwerking verschaffen.

Wiskundige benadering:

$$U = f(I_f)$$

met

$n = \text{constant}$

$I = \text{constant}$

$$U = E - U_{vi}$$

$$U = k \cdot \phi \cdot n - R_i \cdot I$$

$$= k \cdot \frac{N_f \cdot I_f}{R_m} \cdot n - R_i \cdot I$$

Vermits L , N_f , n , R_m , R_i en I theoretisch constanten zijn, wordt

$$U = K \cdot I_f - K''$$

Naar de wiskunde vertaald: $y = ax - b$; dit is een rechte niet door de oorsprong (fig. 59).

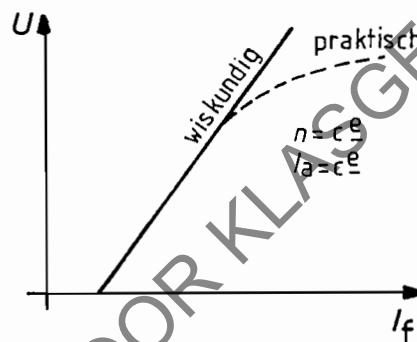


fig. 59

c Uitwendige karakteristiek

$$U = f(I)$$

met

$n = \text{constant}$

$R_f + R_v = \text{constant}$

Aansluitschema:

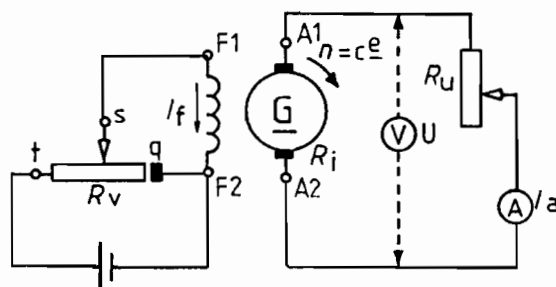


fig. 60

Vermits U en $R_v + R_f$ constant zijn, kunnen we stellen dat I_f constant blijft. We belasten de generator vanaf nul tot maximumwaarde en noteren bij elke stroomwaarde I de bijbehorende klemspanning U . Het resultaat zien we in fig. 61.

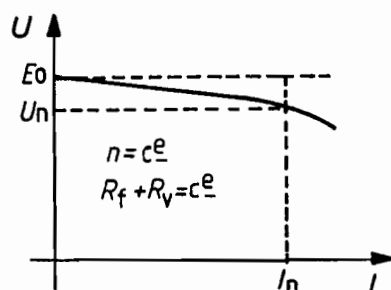


fig. 61

We stellen vast dat de klemspanning U daalt bij stijgende belasting.
De spanningsdaling is het gevolg van de toenemende:

- spanningsval in het anker $U_{vi} = R_i \cdot I$
met $R_i = R_a + R_b + R_c$;
- invloed van de ankerreactie die een globale fluxdaling (ook daling van de gegeneerde spanning) tot gevolg heeft.

De daling van de klemspanning zal, naar gelang van de grootte van de machine, schommelen tussen de 4 en 10 % van de nullastspanning E_0 . Deze karakteristiek is praktisch van zeer groot nut.

Wiskundige benadering:

$$U = f(I)$$

met

$n = \text{constant}$

$R_f + R_v = \text{constant}$

$$U = E - R_i \cdot I$$

$$U = k \cdot \phi \cdot n - R_i \cdot I$$

$$= k \cdot \frac{N_f \cdot I_f}{R_m} \cdot n - R_i \cdot I$$

Vermits theoretisch k , N_f , I_f , n , R_m en R_i constant zijn, is:

$$U = K - K' I$$

Naar de wiskunde vertaald: $y = -ax + b$; dat is een rechte met negatieve richtingscoëfficiënt, niet door de oorsprong (fig. 62).

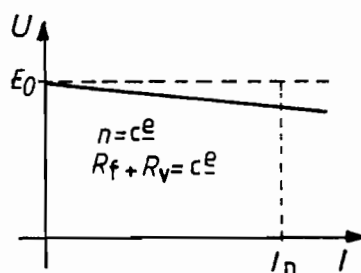


fig. 62

Bij $I = 0$ wordt $U = E_0$

d Inwendige karakteristiek

$$E = f(I)$$

met

$n = \text{constant}$

$R_f + R_v = \text{constant}$

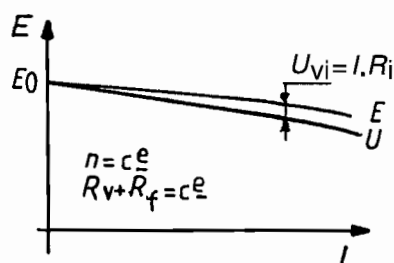


fig. 63

Aansluitschema:

Het aansluitschema voor het opnemen van de inwendige karakteristiek (fig. 60) is hier integraal van toepassing. De karakteristiek $E = f(I)$ wordt afgeleid uit $U = f(I)$. Dat gebeurt door bij de klemspanning U de inwendige spanningsval op te tellen.

$$E = U + R_i \cdot I$$

met

$$R_i = R_a + R_b + R_c$$

Dat resulteert in de curve van fig. 63.

Wiskundige benadering:

Daar we ϕ constant nemen bij de wiskundige bewerkingen, omdat er slechts 2 veranderlijken mogen zijn, gaat de wiskundige benadering hier niet meer op. De daling van E is nog enkel het gevolg van deze 'verwaarloosde' ankerreactie.

e Kortsluitkarakteristiek

$$I_k = f(I_f)$$

met

$n = \text{constant}$

$U = 0$

Aansluitschema:

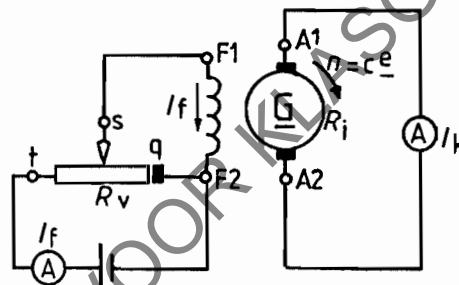


fig. 64

We sluiten de ankerklemmen kort via een A-meter die de kortsluitstroom zal meten ($U = 0$). De stroomsterkte zal hier zeer snel toenemen. Al bij geringe bekrachtigingsstroom I_f wordt de maximum toelaatbare stroomsterkte bereikt.

Heeft de generator geen remanent magnetisme, dan begint de curve vanaf het nulpunt; zo niet, dan vloeit al een kortsluitstroom bij $I_f = 0$.

De kortsluitkarakteristiek verloopt zoals fig. 65 weergeeft.

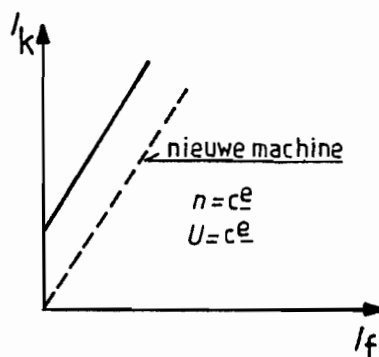


fig. 65

Vermits we hier ver van de verzadigingstoestand verwijderd blijven, zal het verloop praktisch lineair zijn.

Wiskundige benadering:

$$I_k = f(I_f)$$

met

$$n = \text{constant}$$

$$U = 0$$

$$U + R_i \cdot I_k = k \cdot \frac{N_f \cdot I_f}{R_m} \cdot n$$

Vermits R_i , k , N_f , R_m en n constanten zijn, is:

$$k' \cdot I_k = k'' \cdot I_f$$

of

$$I_k = \frac{k''}{k'} \cdot I_f$$

of

$$I_k = k \cdot I_f$$

Dat is een rechte door de oorsprong, zoals de kromme in fig. 65, voor een nieuwe machine.

f Regelkarakteristiek

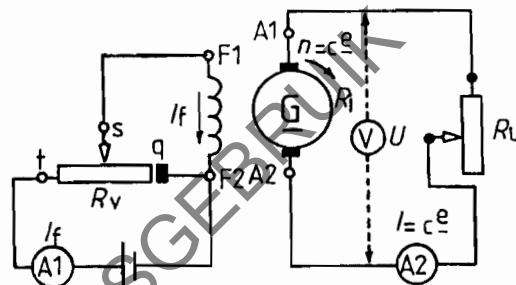
$$I_f = f(I)$$

met

$$n = \text{constant}$$

$$U = \text{constant}$$

fig. 66



Aansluitschema:

Bij deze karakteristiek, die ons eveneens een inzicht geeft in het gedrag van de machine, regelen we de bekrachtigingsstroom zodanig dat de klemspanning bij toenemende belasting constant blijft. Het resultaat is weergegeven in fig. 67.

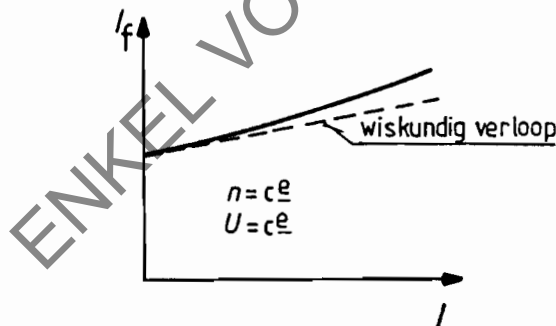


fig. 67

Wiskundige benadering:

$$I_f = f(I)$$

$$E = U + R_i \cdot I$$

$$k \cdot \frac{N_f \cdot I_f}{R_m} \cdot n = U + R_i \cdot I$$

Vermits k , N_f , R_m , U en R_i constant zijn, is:

$$k' I_f = k'' + k''' I$$

$$I_f = \frac{k''}{k'} + \frac{k'''}{k'} \cdot I$$

of

$$I_f = K + K' I$$

Dat is een rechte, niet door de oorsprong, met positieve richtingscoëfficiënt.

2.2.3 Algemene toelichting

Doelstelling

- Enkele specifieke aandachtspunten in verband met bekrachtigingswikkeling, karakteristieken, wiskundige benadering en gebruik van de onafhankelijk bekrachtigde generator, toelichten.

Bekrachtigingswikkeling

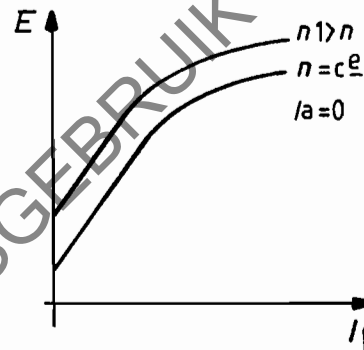
De bekrachtigingswikkeling wordt soms ook excitatiewikkeling of inductorenwikkeling genoemd.

– Karakteristieken

Bij de onderscheiden karakteristieken vinden we slechts één kromme terug. Door constante grootheden in te stellen, is het altijd mogelijk een reeks krommen op te nemen, bv.

$$E = f(I_f)$$

met
 $I_a = 0$
 $n = \text{constant}$ (voor één reeks opmetingen)



Nemen we deze karakteristiek op voor een rotatiefrequentie n_1 die groter is dan n , dan krijgen we een tweede karakteristiek enz.

Deze toelichting is toepasselijk op alle karakteristieken.

– Wiskundige benadering

De wiskundige benadering geeft ons een theoretisch verloop. De invloed van de verzadiging is echter niet in formulevorm te verwerken. Nochtans betekent het wiskundig verloop een belangrijk hulpmiddel om het verloop van de onderscheiden karakteristieken terug te vinden.

– Gebruik van de onafhankelijk bekrachtigde generator

Het gebruik van de generatoren loopt erg terug als gevolg van de evolutie in de gelijkrichtingstechniek. We onthouden voornamelijk dat spanningsregeling bij de onafhankelijk bekrachtigde generator op een soepele wijze gebeurt. Hij laat eveneens toe bij relatief kleine spanningen grote stromen te leveren. Dat maakt hem vooral nuttig in de chemische industrie en bij voeding van gelijkstroommotoren met erg veranderlijke belasting.

2.3 De shuntgenerator

2.3.1 Principewerking

Doelstellingen

- Aan de hand van het principeschema de principewerking van de shuntgenerator verklaren.
- Uit de principewerking de constructiebijzonderheden van de bekrachtigingswikkeling afleiden.

In fig. 69 is de shuntgenerator, in fig. 70 het prinsieschema getekend.

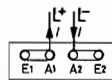
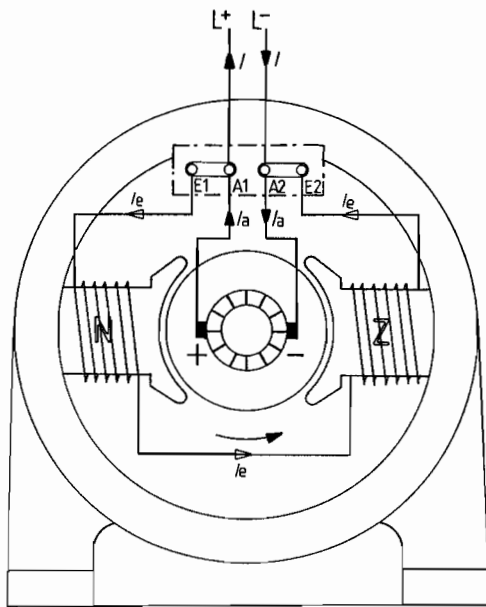


fig. 70

fig. 69

De shuntgenerator wordt ook generator met parallelbetrachting genoemd. De betrachtingswikkeling ($E_1 - E_2$) staat parallel met het anker. De constructieve samenstelling (fig. 69) is identiek aan die van de onafhankelijk betrachte generator. Het schakelschema laat zien dat de betrachtingswikkeling wordt gevoed door de afgeleverde spanning van de generator zelf. Door dit feit rangschikken we de shuntgenerator bij de machines met zelfbetrachting. De betrachtingsstroom I_e moet door de generator zelf worden geleverd en mag de generator niet te hoog belasten. We houden de betrachtingsstroom I_e daarom beperkt (2 à 5 % van I_a). Om met deze stroom de nodige flux

$$\phi = \frac{N_e I_e}{R_m}$$

op te wekken moet ook hier het aantal windingen van de betrachtingswikkeling groot zijn. Dus ook hier komen veel windingen van dunne draad, relatief hoge weerstand, hoge zelfinductiecoëfficiënt en kortsluitcontact bij de veldregelaar voor.

De hulppool- en compensatiewikkeling vervult hier dezelfde rol als bij de onafhankelijk betrachte generator.

De stroomregeling in de betrachtingsketen gebeurt met een veldregelaar zoals dat ook bij de generator met onafhankelijke betrachting het geval was.

Bij de shuntgenerator is

$$I_a = I + I_e$$

2.3.2 Op spanning brengen van de shuntgenerator

Doelstellingen

- Het op spanning komen van de shuntgenerator uitleggen.
- De onderscheiden factoren die het werkpunt van de generator bepalen, verduidelijken.

Veronderstellen we dat de veldketen onderbroken is (s op q) en dat het anker de nominale rotatiefrequentie heeft. De kleine spanning die wordt gegenereerd, is een gevolg van het remanent magnetisme

$$E_r = k \cdot \phi_r \cdot n$$

Sluiten we de veldketen d.m.v. veldregelaar R_v , dan zal als gevolg van E_r een kleine stroomsterkte I_e ontstaan die de bekrachtigingsflux moet versterken (de stroomzin moet goed zijn). Deze zal de gegenereerde spanning doen stijgen waardoor op zijn beurt de bekrachtigingsstroom toeneemt. Dit proces herhaalt zich voortdurend totdat de generator zijn overeenkomstig werkpunt inneemt. Het werkpunt hangt af van de draaisnelheid, de magnetische karakteristiek en de totale weerstandswaarde van de bekrachtigingsketen.

Schakelen we de veldregelaar ' R_v ' verder uit, dan zal de gegenereerde spanning verder toenemen.

Toelichting

Doelstelling

- Enkele specifieke aandachtspunten in verband met een nieuwe machine, stroomzin I_e , op spanning komen en stabiliteit van een shuntgenerator toelichten.

a Nieuwe machine

Als het remanent magnetisme ontbreekt, kan de generator niet op spanning komen. In dat geval wekken we een remanent magnetisme op door de bekrachtigingswikkeling op een vreemde gelijkspanningsbron aan te sluiten en er kortstondig een voldoende grote stroomsterkte door te sturen.

b Stroomzin I_e bij het op spanning brengen

Wanneer de veldketen wordt gesloten, moet de zin van I_e zodanig gericht zijn dat de remanente flux en dus ook de gegenereerde spanning stijgt. Is dat niet het geval, dan zal het remanent magnetisme afgebroken worden. De remanente spanning daalt dan. Om dat te verhelpen volstaat het de schakeling van de shuntwikkeling t.o.v. het anker om te polen.

c Snelheid van het op spanning komen

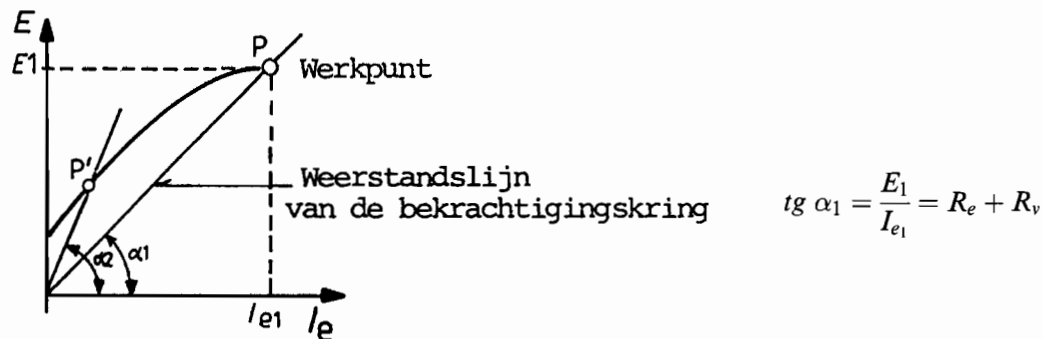
Het op spanning komen gebeurt niet plots, maar vertraagd. De vertraging wordt veroorzaakt door de inductiviteit van de bekrachtigingsketen.

De zelfinductiespanning

$$e = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

verzet zich immers tegen de stroomstijging.

d Werkpunt van de generator



Het werkpunt P van de generator volgt uit het snijpunt van de weerstandslijn van de veldketen en de nullastkarakteristiek. Die nullastkarakteristiek wordt opgenomen als onafhankelijk bekrachtigde generator (zie verder).

e Stabiliteit

Het werkpunt is stabielere naarmate de verzadiging toeneemt. Een lichte variatie van de weerstand in de veldketen veroorzaakt slechts een kleine spanningsvariatie bij de generator.

Valt de weerstandslijn van de bekrachtigingsketen ongeveer samen met het lineair gedeelte van de nullastkarakteristiek, dan is het snijpunt erg veranderlijk. Bij kleine spanningen zal de shuntgenerator een onstabiele werking vertonen.

f Te grote weerstand van de veldketen

Bij een te grote weerstand van de veldketen is $\tan \alpha$ zo groot dat de generator niet op nominale spanning kan komen (fig. 71).

2.3.3 Karakteristieken van de shuntgenerator

Doelstellingen

- Van een shuntgenerator het prinsipschema voor het opnemen van de onderscheiden karakteristieken tekenen.
- Het verloop van de onderscheiden karakteristieken tekenen en verduidelijken.
- Uit gepaste formules het wiskundig verloop van de veranderlijke grootheden van de onderscheiden karakteristieken afleiden.

a Nullastkarakteristiek

$$E_0 = f(I_e)$$

met

$n = \text{constant}$

$I_a = 0$

De bekrachtigingsstroom I_e wordt geleverd door de generator zelf. Vermits I_a gelijk moet zijn aan nul kan deze nullastkarakteristiek niet worden opgenomen als shuntgenerator. We lossen dat op door de bekrachtigingswikkeling met een onafhankelijke bron te voeden. Het verloop van de karakteristiek en de schakelingen is dan identiek aan de nullastkarakteristiek van een onafhankelijk bekrachtigde generator (zie paragraaf 2.2.2a).

Indien we echter de nullastkarakteristiek als shuntgenerator opnemen, zal die een benaderend verloop kennen. De bekrachtigingsstroom veroorzaakt een kleine spanningsval in de ankerwikkelingen waardoor de spanningen iets lager liggen dan bij de onafhankelijk bekrachtigde generator.

b Belastingskarakteristiek

$$U = f(I_e)$$

met

$n = \text{constant}$

$I = \text{constant}$

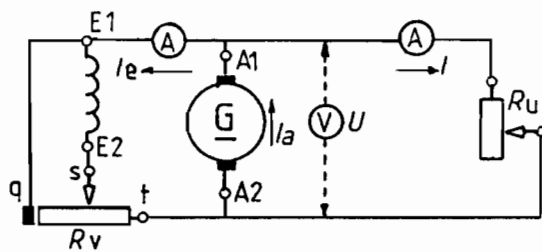


fig. 72

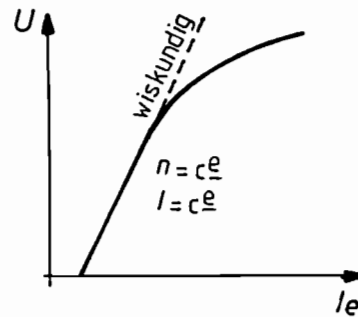


fig. 73

De belastingskarakteristiek zal hier iets minder steil verlopen dan het geval was bij de onafhankelijk bekrachtigde generator, omdat de toenemende bekrachtigingsstroom een bijkomende spanningsval en ankerreactie veroorzaakt. Het praktisch nut van deze karakteristiek is niet groot.

Wiskundige benadering:

$$U = E = U_{vi}$$

$$= k \cdot \frac{N_e I_e}{R_m} \cdot n - R_i (I + I_e)$$

$$= \left(k \cdot \frac{N_e}{R_m} \cdot n - R_i \right) I_e - R_i \cdot I$$

$$= K \cdot I_e - K \quad (\text{zie fig. 73})$$

c Uitwendige karakteristiek

$$U = f(I)$$

met

$n = \text{constant}$

$(R_e + R_v) = \text{constant}$

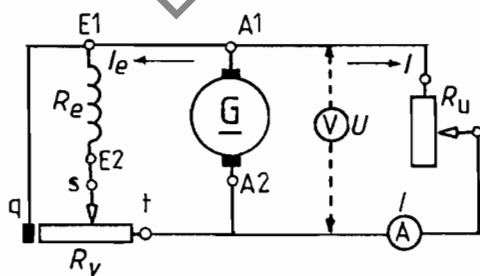


fig. 74

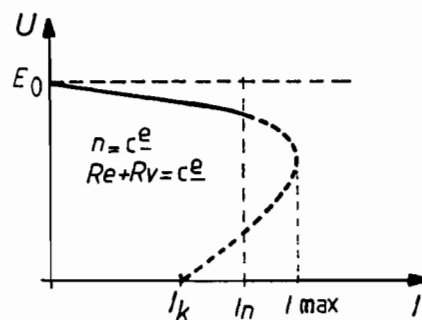


fig. 75

Deze karakteristiek is zonder twijfel de voornaamste van de shuntgenerator. De bekomen uitwendige karakteristiek heeft een meer dalend verloop dan de uitwendige karakteristiek van een onafhankelijk bekrachtigde generator. Dit om de volgende redenen:

- de inwendige spanningsval is groter omdat
$$U_{vi} = (I + I_e)R_i,$$
met
$$R_i = R_a + R_b + R_c;$$
- de ankerreactie neemt eveneens een weinig toe, vermits de ankerstroom ook de bekrachtigingsstroom I_e bevat;
- de bekrachtigingsstroom I_e is niet constant omdat hij samen met U daalt

$$I_e = \frac{U}{R_v + R_c}$$

Omdat de bekrachtigingsstroom I_e daalt zal ϕ dalen. Ook E zal dalen en op zijn beurt weer U enz.

Gaan we de shuntgenerator overbelasten, dan zal dit verschijnsel tot gevolg hebben dat, vanaf een bepaalde stroomwaarde (kritische stroomsterkte), bij kleiner wordende uitwendige weerstand, de stroomsterkte afneemt. We kunnen hier gaan tot een geleidelijk kortsluiten van de generator. U en I_e worden dan nul. De kortsluitstroomsterkte zal dan bepaald zijn door de weerstand van de ankerketen en de gegenereerde spanning als gevolg van het remanent magnetisme

$$I_k = \frac{E}{R_i}$$

De kortsluiting van een shuntgenerator is dus mogelijk onder voorwaarde dat het niet plots gebeurt. De stroom I_e kan niet plots verminderen tot nul wegens de zelfinductiespanning. De kritische stroomsterkte moet in voldoende mate de nominale stroomwaarde overtreffen om de normale werking niet te schaden.

Wiskundige benadering:

$$\begin{aligned} U &= E - R_i(I + I_e) \\ &= k \cdot \frac{N_e I_e}{R_m} \cdot n - R_i(I + I_e) \\ &= k \cdot \left[\frac{N_e \cdot n}{R_m} - R_i \right] I_e - R_i I \end{aligned}$$

Zoals we vooraf al hebben opgemerkt, zal I_e samen met U veranderen. Wiskundig gesteld mogen slechts U en I wijzigen. We veronderstellen dan ook dat I_e constant is.

$$U = K - R_i I$$

In dit geval komen we tot een verloop zoals bij de onafhankelijk bekrachtigde generator. De rechte zal iets lager liggen door de inwendige spanningsval, veroorzaakt door de supplementaire bekrachtigingsstroom I_e .

d Inwendige karakteristiek

$$E = f(I)$$

met

$n = \text{constant}$

$R_e + R_v = \text{constant}$

$$E = U + R_i(I + I_e)$$

Deze karakteristiek is af te leiden uit de uitwendige karakteristiek $U = f(I)$. Dat doen we door bij elke spanningswaarde die bij een bepaalde belastingsstroom hoort, het spanningsverlies in het anker op te stellen.

e Kortsluitkarakteristiek

$$I_k = f(I_e)$$

met

$$n = \text{constant}$$

$$U = 0$$

Als shuntgenerator kan deze karakteristiek niet worden opgenomen omdat bij $U = 0$ geen I_e mogelijk is. Willen we een idee hebben over het gedrag van de machine bij kortsluiting, dan moeten we onafhankelijk bekrachtigen. Dat geval is besproken in paragraaf 2.2.2e.

f Regelkarakteristiek

$$I_e = f(I)$$

met

$$n = \text{constant}$$

$$U = \text{constant}$$

Aansluitschema

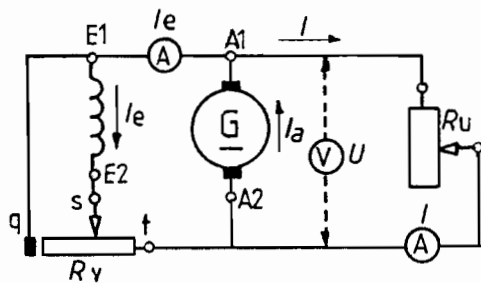


fig. 76

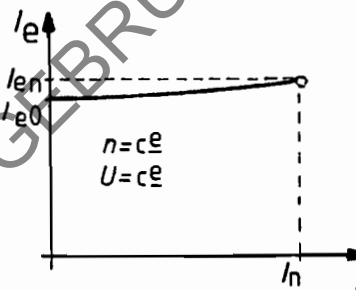


fig. 77

Bij toenemende belasting regelen we I_e zodanig dat U constant blijft.

Het verloop is getekend in fig. 77.

De spanningsdaling wordt hier gecompenseerd door de stijging van de gegenereerde spanning. Met de waarden I_{e0} en I_{en} kunnen we eveneens de maximum- en de minimumweerstandswaarden van de veldregelaar berekenen.

$$R_{\text{max}} = \frac{U}{I_{e0}} - R_e$$

$$R_{\text{min}} = \frac{U}{I_{en}} - R_e$$

Wiskundige benadering:

$$E = U + R_i I$$

$$k \cdot \frac{N_e I_e}{R_m} \cdot n = U + R_i I$$

$$k' I_e = k'' + k''' I$$

$$I_e = \frac{k''}{k'} + \frac{k'''}{k'} \cdot I$$

$$I_e = K + K' I$$

2.3.4 Algemene toelichting

Doelstellingen

- Problemen in verband met het op spanning komen van een shuntgenerator toelichten.
- De equivalente keten van een shuntgenerator tekenen en toelichten.

a De shuntgenerator komt niet op spanning

Oorzaken kunnen zijn:

- er is geen remanent magnetisme aanwezig;
- de stroom door de veldwikkeling vernietigt het remanent magnetisme;
- de weerstand van de bekrachtigingsketen is te hoog. Hierin is de overgangsweerstand van de collector naar borstels begrepen, nl. R_e en R_v .

b Equivalente keten van een shuntgenerator

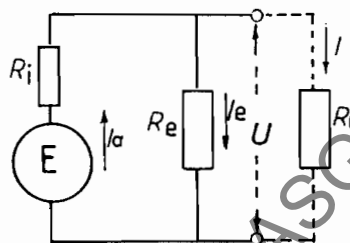


fig. 78

De ankerstroom I_a verdeelt zich over twee parallelle takken, nl. I en I_e . Het overgrote deel gaat door de belastingsweerstand R_u , het overige deel door de bekrachtigingsketen R_e .

2.3.5 Parallelwerking van shuntgeneratoren

Doelstellingen

- Het doel van de parallelwerking uitleggen.
- De voorwaarden voor het parallel schakelen verduidelijken.
- Het prinseschema van twee parallel werkende generatoren tekenen.
- De stroomverdeling en stabiliteit van twee parallel geschakelde shuntgeneratoren toelichten aan de hand van grafieken.

Het parallel schakelen van shuntgeneratoren wordt toegepast waar men een groter vermogen ter beschikking van verbruikers wil stellen.

a Voorwaarden tot parallel schakelen

- De klemmen met dezelfde polariteit moeten onderling verbonden worden.
- De gegenereerde spanning van de bij te schakelen generator moet gelijk zijn aan de klemspanning van de generator in bedrijf.

Als aan de eerste voorwaarde niet is voldaan, dan staan beide generatoren in serie en in kortsluiting. Als aan de tweede voorwaarde niet is voldaan, dan ontstaan tussen beide generatoren circulatiestromen.

b Schakelschema

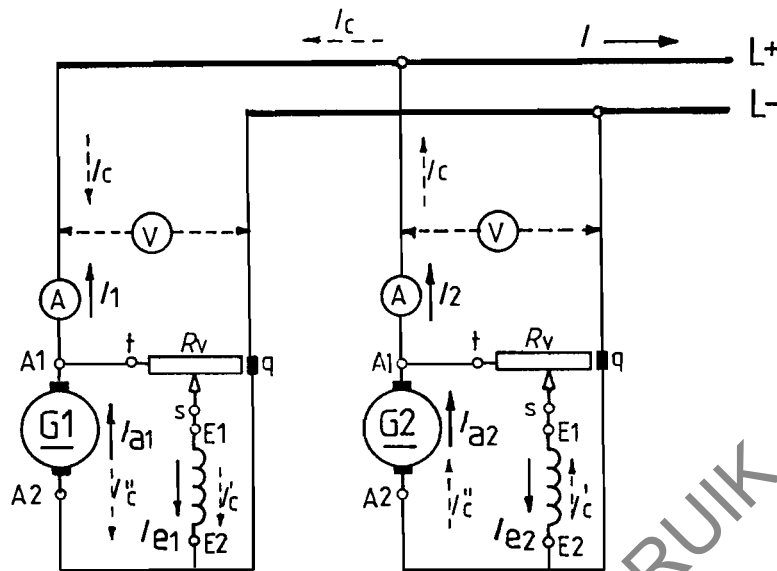


fig. 79

Als beide parallel geschakelde generatoren identiek zijn, dan zal bij parallelwerking elke generator een even grote stroomsterkte aan het net leveren. Dat wordt duidelijk in fig. 80. We tekenen de uitwendige karakteristieken van beide generatoren. De eerste generator heeft 0 als oorsprong. De uitwendige karakteristiek van de tweede generator heeft als oorsprong 0' en de abscis is naar links gericht. De afstand 00' komt overeen met de totaal te leveren netstroom. Het snijpunt 'S' van beide uitwendige karakteristieken geeft het werkpunt aan voor beide generatoren en we zien dat

$$I_1 = I_2 = \frac{I}{2}$$

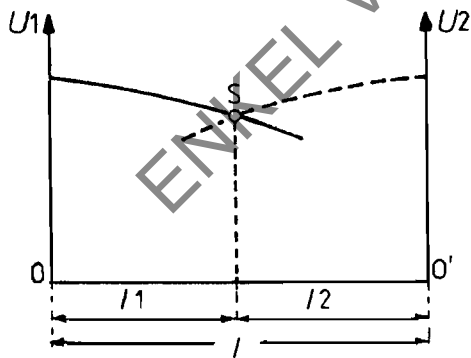


fig. 80

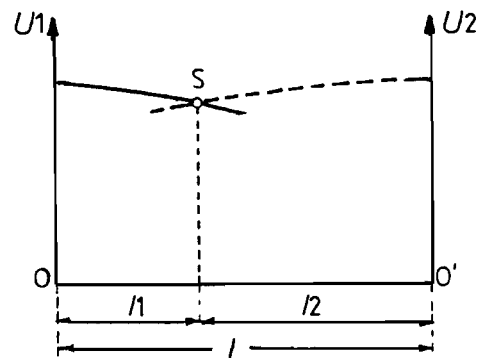


fig. 81

Zijn beide generatoren niet gelijk, wat meestal het geval is, dan zal de belastingsstroom zich ongelijk verdelen. Die toestand is weergegeven in fig. 81.

Hier is $I_1 \neq I_2 \neq \frac{I}{2}$

c Stabiliteit

We noemen de parallelwerking van twee shuntgeneratoren stabiel als bij een optredende storing beide generatoren de neiging hebben om hun oorspronkelijk werkpunt opnieuw in te nemen. Om de stabiliteit te onderzoeken, veronderstellen we gemakkelijksheidshalve dat beide machines identiek zijn en dat er een belastingsweerstand R is, die constant is.

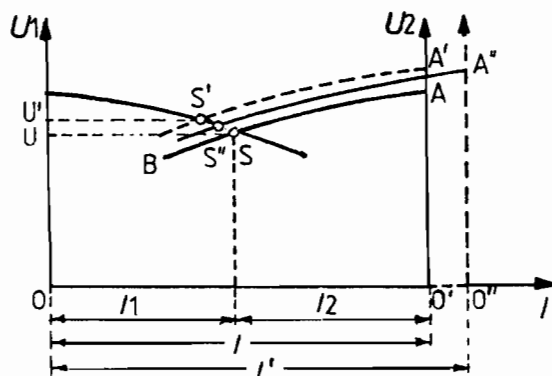


fig. 82

In fig. 82 is de bedrijfstoestand weergegeven. Het 'normale' werkpunt situeert zich in punt 'S'. De netspanning bedraagt dan 'U' en de netstroom $I = I_1 + I_2$.

Veronderstellen we nu dat de snelheid van één generator G_2 door omstandigheden toeneemt. Gevolg daarvan is dat $E_2 = k \cdot \phi \cdot n_2$ en U_2 toenemen. De generator werkt dan volgens de grafiek $S'A'$ en verlegt het werkpunt naar S' . De netspanning zal toenemen tot U' . Het gevolg daarvan is dat I zal toenemen vermits R constant is. De oorsprong O' zal hierdoor verschuiven naar O'' .

De uitwendige karakteristiek van G_2 zal nu vanuit A'' vertrekken en niet meer vanuit A' , waardoor het nieuwe snijpunt S'' wordt. De netspanning neemt weer af, I eveneens. We merken dus dat beide generatoren hun oorspronkelijk werkpunt weer trachten in te nemen. We noemen de werking stabiel.

Onderzoek nu zelf wat er gebeurt als bv. generator G_2 vertraagt.

Fysische verklaring bij de parallelwerking

Om meer inzicht in de parallelwerking te krijgen, gaan we op het schakelschema na hoe het evenwicht zich herstelt. We bekijken fig. 79 en stellen dat generator G_2 versnelt. Gevolg is dat $E_2 > E_1$ en dat G_2 ook een stroom (circulatiestroom I_c) zal sturen naar G_1 . Die circulatiestroom (I_c) zal G_1 ontlasten terwijl I_{e1} toeneemt met componenten I'_c . G_1 zal een neiging hebben om te versnellen (ontlasting) en een hogere E_1 op te wekken ($\phi_1 \nearrow$). Anderzijds zal de circulatiestroom G_2 meer belasten waardoor G_2 zal vertragen. Beide verschijnselen werken gunstig op elkaar in tot het oorspronkelijk werkpunt opnieuw wordt ingenomen.

2.3.6 Toepassingsgebied van de shuntgenerator

Doelstelling

- Het toepassingsgebied van een shuntgenerator verduidelijken.

Het gemakkelijk regelen van de spanning maakt de shuntgenerator bruikbaar voor het voeden van netten. Ook voor het laden van accumulatoren is de shuntgenerator van groot praktisch nut. Zoals reeds eerder vermeld, wordt de generator meer en meer verdrongen door moderne en bedrijfszekere gelijkrichterelementen. Verdere studie naar gebruik toe lijkt dan ook overbodig.

2.4 De seriegenerator

2.4.1 Principewerking

Doelstellingen

- Aan de hand van het principeschema de principewerking van de seriegenerator verklaren.
- Uit de principewerking de constructiebijzonderheden van de bekrachtigingswikkeling afleiden.

In fig. 83 is de seriegenerator en in fig. 84 het principeschakelschema getekend.

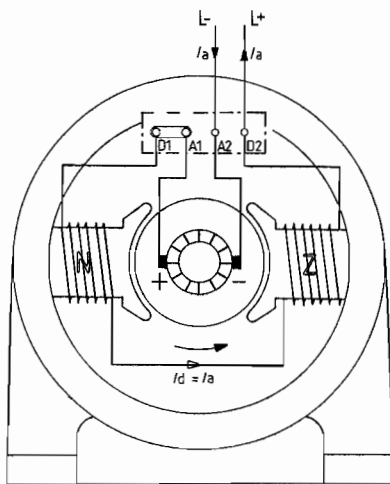


fig. 83

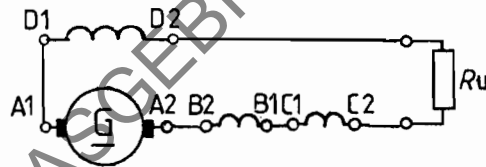


fig. 84

De seriegenerator wordt ook wel generator met seriebekrachtiging genoemd. De bekrachtigingswikkeling $D_1 D_2$ staat in serie met het anker en voert de totale netstroom die door de generator zelf wordt geleverd. Daarom rangschikken we de seriegenerator bij de machines met zelfbekrachtiging.

Om de flux

$$\phi = \frac{N_d I_d}{R_m}$$

op te wekken zijn hier, in vergelijking met de onafhankelijk bekrachtigde generator en de shuntgenerator, slechts weinig windingen met dikke draad rond de poolkernen van de generator nodig (fig. 83).

De weerstand (R_d) wordt hier zo klein mogelijk gehouden om het spanningsverlies $I \cdot R_d$ en het jouleverlies $R_d \cdot I^2$ zo klein mogelijk te houden.

De coëfficiënt van zelfinductie van de bekrachtigingsspoel

$$L = \frac{N_d^2}{R_m}$$

is hier vergeleken met die van de shuntgenerator en de onafhankelijk bekrachtigde generator vrijwel te verwaarlozen.

De hulppool- en compensatiewikkeling vervullen hier dezelfde rol als bij de onafhankelijk bekrachtigde generator en de shuntgenerator.

Bij de seriegenerator is $I_a = I_d = I$.

2.4.2 Op spanning brengen van de seriegenerator

Doelstellingen

- Het op spanning komen van de seriegenerator uitleggen.
- De onderscheiden factoren die het werkpunt van de seriegenerator bepalen, verduidelijken.
- De mogelijke spanningsregeling verklaren.

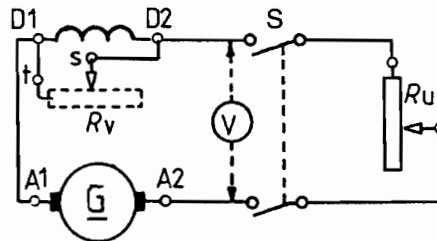


fig. 85

Als de generator op nominale snelheid wordt aangedreven, zal er door het remanent magnetisme ϕ_r een kleine spanning gegenereerd worden:

$$E_r = k \cdot \phi_r \cdot n$$

Bij open keten kan er geen stroom door de seriewikkeling vloeien en kan de gegenereerde spanning ook niet stijgen. Om de seriegenerator op spanning te brengen is het nodig dat de belasting is aangesloten. Gevolg daarvan is dat de kleine spanning een kleine stroom zal leveren die de remanente flux van de seriewikkeling versterkt. De spanning zal stijgen, ϕ neemt toe, E stijgt enz. De spanning zal stijgen tot het werkpunt is bereikt. Dat werkpunt is bepaald door de waarde van de aangesloten weerstand en de magnetisatiekromme van het ijzer.

Spanningsregeling is hier mogelijk door een weerstand R_v parallel over de seriewikkeling te plaatsen. Op die manier is de stroomsterkte door de bekrachtigingswikkeling regelbaar, wat een regelbare spanning oplevert.

Toelichting

Doelstelling

- Enkele specifieke aandachtspunten toelichten.

a Nieuwe machine

Als remanent magnetisme ontbreekt, kan de generator niet op spanning komen. Een vreemde gelijkspanningsbron zal hier dan moeten instaan voor het opwekken van een remanent magnetisme.

b Stroomzin I_a bij het op spanning brengen

Wanneer bij het sluiten van de keten de spanning daalt, moet de stroomzin door de seriewikkeling omkeren. Dat kan door de relatieve schakeling van de seriewikkeling t.o.v. het anker om te polen.

c Snelheid van het op spanning komen

De spanning wordt geleidelijk opgebouwd. De keten is inductief en daardoor vraagt het op spanning komen een zekere tijd. Omdat de keten minder inductief is dan bv. bij de shuntgenerator, zal dat minder tijd in beslag nemen.

d *Werkpunt van de generator*

Opdat de generator op spanning zou komen, mag de belastingsweerstand een bepaalde waarde niet overschrijden. Die waarde kunnen we afleiden uit de uitwendige karakteristiek van de seriegenerator. Wegens het geringe praktische nut gaan we hier niet verder op in.

2.4.3 *Karakteristieken van de seriegenerator*

Doelstellingen

- Van een seriegenerator het prinsipeschema voor het opnemen van de onderscheiden karakteristieken tekenen.
- Het verloop van de onderscheiden karakteristieken tekenen en verduidelijken.
- Uit gepaste formules het wiskundig verloop tussen de veranderlijke grootheden van de onderscheiden karakteristieken afleiden.

Eerder ter informatie dan ter verwerking behandelen we summier de zes voorkomende karakteristieken.

a *Nullastkarakteristiek*

$$E_0 = f(I_d)$$

met

$n = \text{constant}$

$I_a = 0$

Vermits $I_d = I_a$ kan deze karakteristiek als seriegenerator niet worden opgenomen. We moeten daarom de bekrachtigingswikkeling $D_1 D_2$ onafhankelijk bekrachtigen.

De spanningsbron zal hier noodzakelijkerwijze een grote stroomsterkte moeten leveren (I_{nom} van de generator) om de nodige flux op te wekken. Het resultaat zal identiek zijn aan dat van de shuntgenerator en van de onafhankelijk bekrachtigde generator (zie fig. 86 en 87).

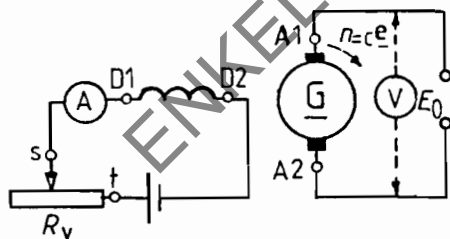


fig. 86

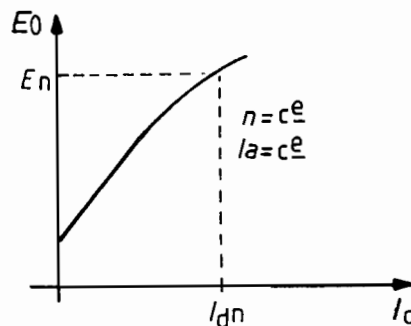


fig. 87

b *Belastingskarakteristiek*

$$U = f(I_d)$$

met

$n = \text{constant}$

$I = \text{constant}$

Aangezien $I_d = I$ kan deze karakteristiek als seriegenerator niet worden opgenomen.

c *Uitwendige karakteristiek*

$$U = f(I)$$

met

$n = \text{constant}$

$R_d = \text{constant}$

Als er een spanningsregelaar aanwezig is, zal zijn weerstandswaarde tijdens het opnemen van $U = f(I)$ onveranderlijk moeten blijven. Hier veronderstellen we dat er geen spanningsregelaar aanwezig is.

Aansluitschema:

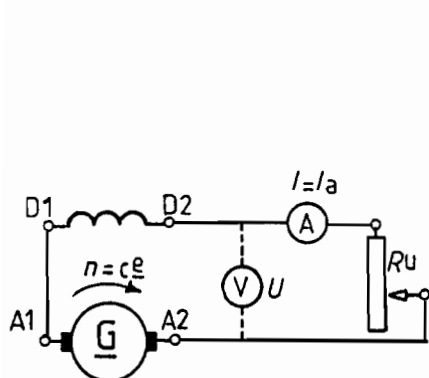


fig. 88

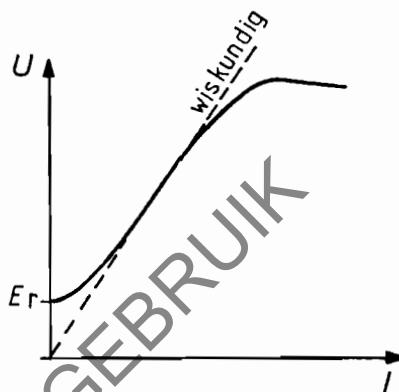


fig. 89

Het verloop is gegeven in fig. 89.

We zien duidelijk dat de klemspanning tot een bepaalde waarde stijgt bij toenemende belastingsstroom om daarna te dalen.

Het dalen is het gevolg van de toenemende inwendige spanningsval en de ankerreactie. We merken hier op dat de uitwendige karakteristiek een weergave is van het verloop van de nullastkarakteristiek. De klemspanning is erg veranderlijk en afhankelijk van de belasting van de generator. Dat maakt hem ongeschikt voor het voeden van netten.

Wiskundige benadering:

$$U = f(I)$$

met

$n = \text{constant}$

$R_d = \text{constant}$

$$U = E - U_{vi}$$

$$U = k \cdot \phi \cdot n - U_{vi}$$

$$U = k \cdot \frac{N_d \cdot I_d}{R_m} \cdot n - I_a \cdot R_i$$

Nu is $I_d = I_a = I$

$$U = I \cdot \left[k \cdot \frac{N_d}{R_m} \cdot n - R_i \right]$$

$$U = k \cdot I$$

d.i. een rechte door de oorsprong.

d *Inwendige karakteristiek*

$$E = f(I)$$

met

$n = \text{constant}$

$R_d = \text{constant}$

Vermits $E = U + U_{vi}$ kunnen we de inwendige karakteristiek afleiden uit de uitwendige karakteristiek. Het volstaat om telkens bij de ordinaat voor een bepaalde waarde van de stroomsterkte het spanningsverlies te tellen (fig. 90).

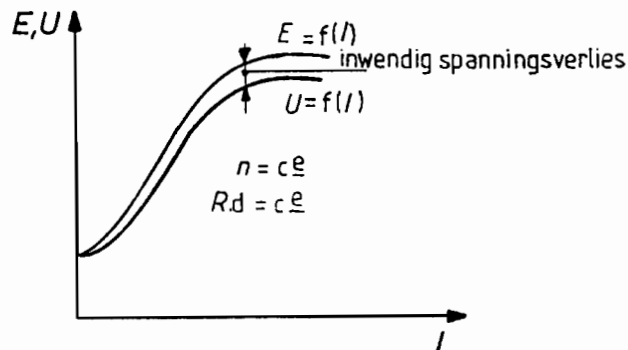


fig. 90

e Kortsluitkarakteristiek

$$I_k = f(I_d)$$

met

$n = \text{constant}$

$U = 0$

Deze karakteristiek kan als seriegenerator evenmin worden opgenomen omdat $I_k = I_d$. Willen we een idee krijgen van het gedrag van een seriegenerator bij kortsluiting, dan moeten we de generator onafhankelijk bekrachten. Soortgelijk geval is besproken in par. 2.2.2e.

f Regelkarakteristiek

$$I_d = f(I)$$

met

$n = \text{constant}$

$U = \text{constant}$

Aangezien bij wisselende belasting de spanning verandert, zal deze karakteristiek niet opgenomen kunnen worden.

2.4.4 Toelichting

Doelstelling

- Enkele specifieke aandachtspunten, in verband met het op spanning komen en de equivalente ketsen van een seriegenerator, toelichten.

a Een seriegenerator komt niet op spanning

Oorzaken kunnen zijn:

- er is geen remanent magnetisme aanwezig;
- de stroom door de veldwikkeling vernietigt het remanent magnetisme;
- de weerstand van de belastingsweerstand (R_u) is te hoog.

b *Equivalenten keten van een seriegenerator*

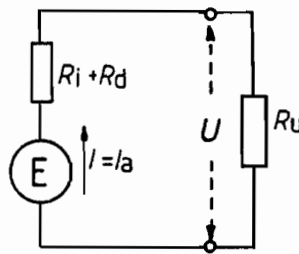


fig. 91

Voor het berekenen van de elektrische grootheden geeft de keten van fig. 91 dezelfde resultaten als die bij de betreffende seriegenerator.

2.4.5 *Parallelwerking van seriegeneratoren*

Doelstellingen

- Het prinsipeschema van twee parallel werkende seriegeneratoren tekenen.
- Aan de hand van grafieken de stroomverdeling en stabiliteit van twee parallel geschakelde seriegeneratoren toelichten.

a *Schakelschema:*

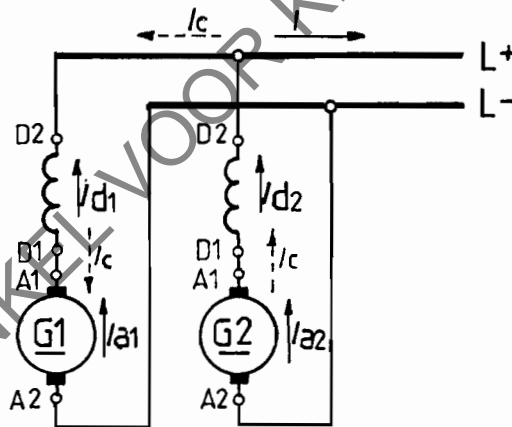


fig. 92

Als beide parallel geschakelde generatoren identiek zijn, dan zal bij normale parallelwerking de geleverde stroom per generator gelijk zijn. Dat is te zien in fig. 93 waar de uitwendige karakteristiek van beide generatoren is getekend. Generator G_1 heeft als oorsprong 0. Generator G_2 heeft als oorsprong 0' en de abscis is naar links gericht. Het snijpunt S is het normale werkpunt:

$$I_1 = I_2 = \frac{I}{2}$$

Bij twee verschillende generatoren zal het werkpunt elders liggen en is $I_1 \neq I_2 \neq \frac{I}{2}$

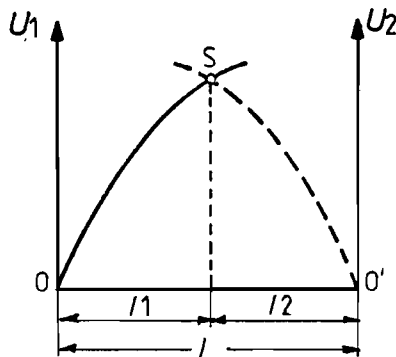


fig. 93

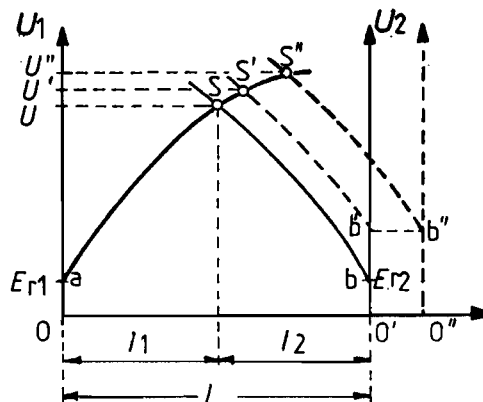


fig. 94

b Stabiliteit bij parallelwerking van seriegeneratoren

We veronderstellen dat de weerstand van het net ' R_u ' constant is.

De netspanning bedraagt U en $I = \frac{U}{R_u}$.

Veronderstellen we dat de snelheid van generator G_2 toeneemt. De generator G_2 werkt dan volgens de uitwendige karakteristiek $b'S'$. Dat levert een nieuw snijpunt S' op met het gevolg dat de netspanning toeneemt tot U' en dat de totale stroom $I = \frac{U'}{R_u}$ toeneemt.

De karakteristiek van G_2 schuift hierdoor naar rechts. Gevolg daarvan is dat de netspanning nog meer toeneemt waardoor de totale stroomsterkte stijgt en de karakteristiek nog meer opschuift enz.

Er is hier geen neiging om het oorspronkelijke werkpunt S opnieuw in te nemen nadat een storing is opgetreden. De parallelwerking van twee seriegeneratoren is dus niet stabiel.

c Fysische verklaring

Bij versnellen van G_2 zal de spanning toenemen waardoor een circulatiestroom ' I_c ' zal vloeien (fig. 92). Die circulatiestroom zal de flux G_2 opdrijven waardoor nog meer spanning wordt gegenereerd en de circulatiestroom nog meer toeneemt enz.

Bij generator G_1 zal anderzijds door I_c de flux afnemen. Hier zal de spanning dalen. Dat effect zal zich verder doorzetten en zal op een gegeven moment de stroomzin in D_1D_2 omkeren. De spanning keert om van polariteit ($E = k \cdot \phi \cdot n$) waardoor beide generatoren onderling in serie en in kortsluiting komen te staan met alle gevolgen van dien (veel te hoge circulatiestroom).

d Middelen om stabiele parallelwerking van seriegeneratoren te bekomen

Om ondanks de onstabiele parallelwerking toch parallelwerking mogelijk te maken, bestaan er twee middelen:

- de bekrachtigingswikkelingen van beide generatoren kruisen, d.w.z. in serie met G_1 staat de seriewikkeling van G_2 en omgekeerd. Het evenwicht zal zich nu automatisch herstellen;
- een vereffeningsgeleider of vereffeningsrail aanbrengen.

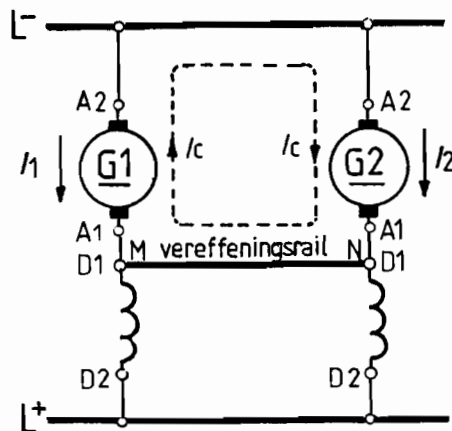


fig. 95

De geleider MN vormt een goede verbinding tussen die twee klemmen van de generator die verbonden zijn met de seriewikkelingen (beide seriewikkelingen staan dan parallel).

Normaal is $E_1 = E_2$ en is de potentiaal van punt M gelijk aan de potentiaal van punt N. Er zal geen stroom vloeien door die vereffeningsrail.

Bij onevenwicht, bv. $E_2 > E_1$ zal er een circulatiestroom I_c ontstaan die de stroom I_1 en de inwendige spanningsval U_{v1} van G_1 doet afnemen (ontlasting waarbij E_1 stijgt) en de stroom I_2 en de inwendige spanningsval U_{v2} van G_2 doet toenemen (belasting waarbij E_2 afneemt).

De circulatiestroom kan de stroom door de veldwikkelingen niet meer beïnvloeden en er is een neiging om het oorspronkelijke werkpunt weer in te nemen.

2.4.6 Toepassingsgebied van de seriegenerator

Doelstelling

- Het toepassingsgebied van seriegeneratoren omschrijven.

- De seriegenerator heeft een erg beperkt toepassingsgebied.
- Bij tractievoertuigen worden meestal seriemotoren gebruikt die bij het remmen als generator worden geschakeld. Op die wijze wordt de opgehoopte mechanische energie ($mv^2/2$) van het bewegend voertuig omgezet in elektrische energie die, als het zware voertuigen betreft, terug naar het voedingsnet wordt gestuurd. Vermits op een tractievoertuig meerdere seriemotoren actief zijn, zullen bij het remmen al die motoren als seriegeneratoren parallel worden gekoppeld. Op dat ogenblik is de stabiliteit van de parallelwerking van de seriegenerator een absolute noodzaak.
- In sommige gevallen zou hij gebruikt kunnen worden om de spanningsval op het einde van een voedingslijn te compenseren. Hij is dan in serie geschakeld met een shuntgenerator of een accumulatorenbatterij. Bij toename van de belastingsstroom zal dan een spanning gegenereerd worden die het spanningsverlies compenseert.

2.5 De compoundgenerator

2.5.1 Principewerking

Doelstellingen

- Aan de hand van een principeschema de principewerking van een compound-generator verklaren.
- Naar gelang van de schakeling van beide bekrachtigingswikkelingen de korte en lange shuntschakeling onderscheiden.
- Het verband leggen tussen de uitwendige karakteristieken van de shunt- en seriegenerator en die van de compoundgenerator.

In fig. 96 is de compoundgenerator getekend. In fig. 97 en 98 zijn de twee mogelijke prinsipschakelschema's voorgesteld.

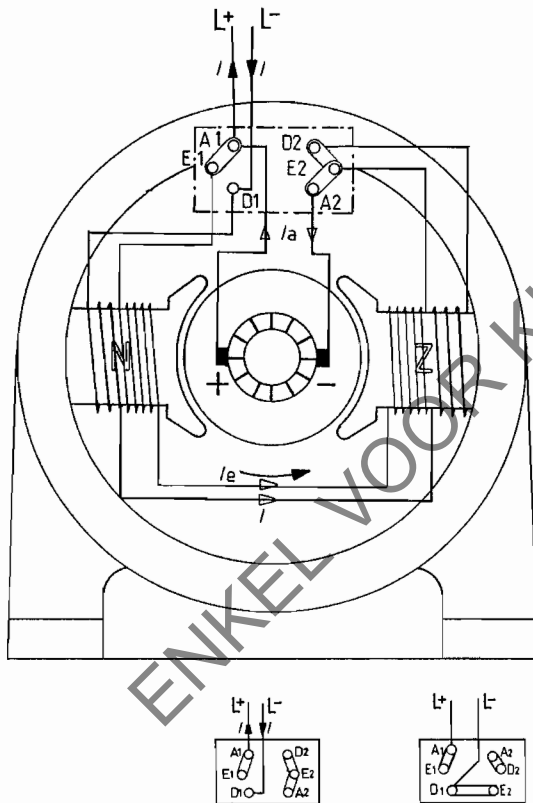


fig. 96
Korte en lange shunt

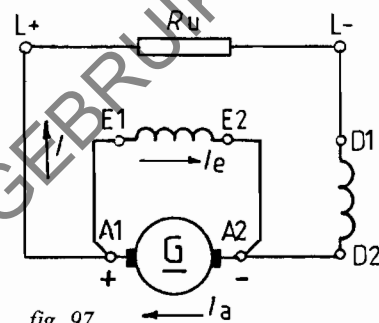


fig. 97
Korte shunt

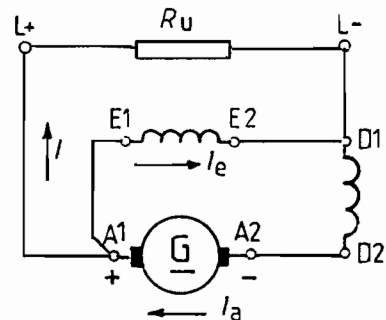


fig. 98
Lange shunt

De compoundgenerator verenigt de eigenschappen van de shunt- en seriegenerator. In fig. 96 is duidelijk te zien dat de poolflux wordt gevormd door een shuntwikkeling en een seriewikkeling die op dezelfde poolkern gelegen zijn.

De schakeling van beide bekrachtigingswikkelingen kan gebeuren volgens fig. 97 en 98. Staat de shuntwikkeling direct parallel over het anker dan noemen we het een compound-generator met korte shuntschakeling (fig. 97). Staat de shuntwikkeling parallel over anker- en seriewikkeling dan noemen we het een compoundgenerator met lange shuntschakeling (fig. 98).

Omdat de stroom door de bekrachtigingswikkelingen geleverd wordt door de generator zelf, is de compoundgenerator te rangschikken onder de machines met zelfbekrchtiging. Van de uitwendige karakteristiek van de shuntgenerator onthielden we dat de klemspan-

ning daalt bij toenemende belasting. Bij de seriegenerator is het andersom: bij toenemende belasting stijgt de klemspanning. Indien we beide verschijnselen in de juiste verhouding op elkaar laten inspelen, is het mogelijk om bij toenemende belasting een constante, ja zelfs een stijgende waarde van de klemspanning te bekomen. Het op spanning komen van de compoundgenerator gebeurt op dezelfde manier als bij de shuntgenerator.

2.5.2 Karakteristieken van de compoundgenerator

Doelstelling

- Naar gelang van de schakeling van de seriewikkeling t.o.v. de shuntwikkeling het verloop van de uitwendige karakteristieken in de onderscheiden gevallen tekenen en het verloop verklaren.

De zes karakteristieken werden bij de shunt- en seriegenerator besproken. De karakteristiek die hier naar gelang van de verhouding tussen shunt- en serieflux een erg verschillend verloop kent, is de uitwendige karakteristiek. Het is bovendien de meest praktisch bruikbare karakteristiek.

Vooraf stellen we dat een compoundgenerator *hoofdzakelijk* de *shuntkarakteristiek* bezit. De seriewikkeling vervult meestal een aanvullende rol.

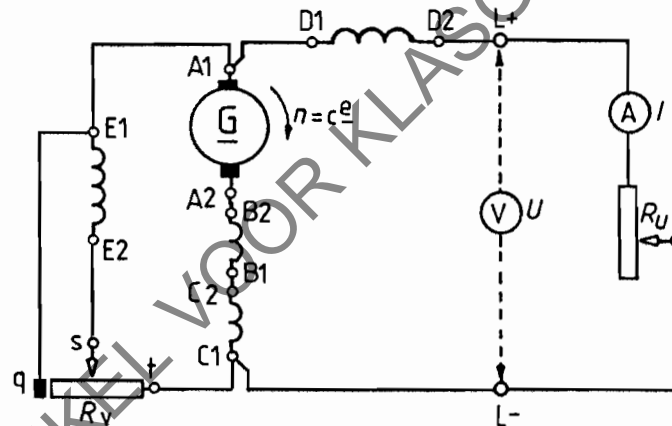


fig. 99

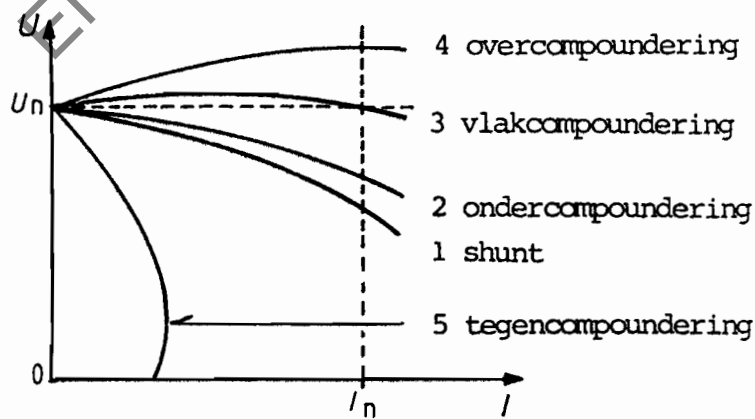


fig. 100

In fig. 99 is het schakelschema van de compoundgenerator met korte shunt getekend. Het verloop van de karakteristieken als korte shunt wijkt slechts weinig af van het verloop van de karakteristieken als lange shunt. Vandaar dat we in deze bespreking geen rekening houden met dat onderscheid.

In fig. 100 zijn de onderscheiden karakteristieken getekend.

a Shuntkarakteristiek (curve 1)

De shuntkarakteristiek geeft het verloop $U = f(I)$ van de compoundgenerator met uitgeschakelde seriewikkeling. We herkennen hier duidelijk de uitwendige karakteristiek van de shuntgenerator.

b Ondercompounding (curve 2)

We stellen vast dat de klemspanning nog daalt bij toenemende belasting. De serieflux is hier onvoldoende sterk om de volledige spanningsdaling te compenseren. We spreken van een zwakke fluxversterkende seriewikkeling.

c Vlakke compounding (curve 3)

Hier wordt de inwendige spanningsval bij nominale last gecompenseerd. We krijgen een ongeveer constante spanning bij elke belasting.

d Overcompounding (curve 4)

Als een generator verbruikers op verre afstand voedt, zal bij toenemende belasting de spanningsval in de lijn toenemen, waardoor de spanning aan de verbruikers afneemt. Een overgecompoundeerde generator zal die spanningsval in de lijn compenseren omdat zijn klemspanning toeneemt bij toenemende last. Hierdoor zal de spanning aan de verbruiker bij alle belastingen ongeveer constant blijven. Op de hoofdpolen is thans een sterke seriewikkeling aangebracht.

e Tegencompounding (curve 5)

Bij ompolen van de seriewikkeling wordt de shuntflux bekampt. Hierdoor zal bij toenemende belasting de shuntflux zeer snel afnemen met als gevolg dat ook de klemspanning zeer snel daalt. De tegencompoundgenerator mag kortgesloten worden zonder dat de nominale stroomsterkte wordt overschreden. Die eigenschap maakt de anticompoundgenerator geschikt als spanningsbron voor het vlamboogglassen. De hoge nullastspanning maakt het mogelijk (± 80 V) de boog te ontsteken. Tijdens het lassen zal de lasstroom de klemspanning snel doen afnemen tot de boogspanning.

2.5.3 Toelichting

Doelstellingen

- Uit een schakelverrichting de schakeling van de seriewikkeling t.o.v. de shuntwikkeling onderzoeken.
- De equivalente keten van een compoundgenerator verklaren.

a Schakeling van de seriewikkeling

Om van een generator met onbekende karakteristiek te weten of de seriewikkeling de shuntflux verzwakt of versterkt, volstaat het tijdens het bedrijf de seriewikkeling even kort te sluiten. De aangesloten voltmeter zal nu meer of minder spanning aanduiden. Een spanningsdaling wijst op een meewerkende serieflux, een spanningstoename op een tegenwerkende serieflux.

b Equivalente keten

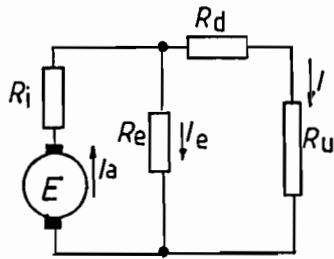


fig. 101
Korte shuntschakeling

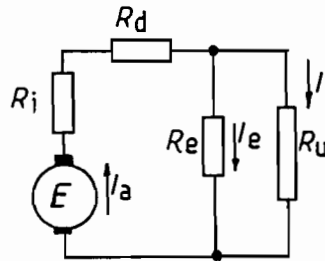


fig. 102
Lange shuntschakeling

2.5.4 Parallelwerking van compoundgeneratoren

Doelstellingen

- Het prinsipeschema van twee parallel werkende compoundgeneratoren tekenen.
- Aan de hand van de betreffende uitwendige karakteristieken de stabiliteit van twee parallel werkende compoundgeneratoren onderzoeken.

Schakelschema:

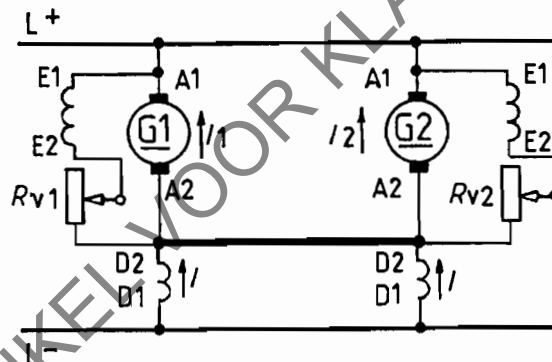


fig. 103

Stabiliteit

Aan de hand van de uitwendige karakteristieken hebben we bij de shunt- en seriegenerator de stabiliteit behandeld. Eenzelfde redenering is ook hier van toepassing. Aangezien we 4 types van compoundgeneratoren behandelden, moeten we die gevallen afzonderlijk onderzoeken. Ter inoefening laten we dat onderzoek (desgewenst) aan de lezer over.

Na redenering komen we echter tot het volgende besluit: de parallelwerking is stabiel als de uitwendige karakteristiek van beide generatoren een dalend verloop kent. Om de parallelwerking van de onderscheiden compoundgeneratoren stabiel te maken, brengen we steeds een vereffeningsrail aan zoals dat het geval was bij de seriegenerator. Die vereffeningsrail zal bij storing de circulatiestroom beletten enige nadelige invloed op de serie-wikkelingen uit te oefenen.

2.5.5 Toepassingsgebied van de compoundgenerator

Doelstelling

- Het toepassingsgebied van compoundgeneratoren omschrijven.

- De compoundgenerator leent zich het beste tot het voeden van netten (bv. voor elektrische tractie).
 - De anticomoundgenerator vindt toepassing als lasgenerator.
- Wegens het afnemend praktisch nut gaan we daar niet verder op in.

2.6 Speciale generatoren

2.6.1 Draaiende versterkers - Algemeenheden

Doelstellingen

- Het begrip *draaiende versterker* verklaren.
- De begrippen *vermogen-, stroom- en spanningsversterkingsfactor* toelichten.
- Het begrip *meertrapsversterker* verduidelijken.

Een draaiende of roterende dynamo-elektrische versterker noemen we een als generator werkende machine, waarvan de grootte van het uitgangsvermogen P_u (komend van een mechanisch toegevoerd vermogen) wordt geregeld door verandering van een relatief klein ingangsvermogen (P_i).

Zoals bij elektronische versterkers spreekt men hier ook van 'versterkingsfactor' $= \frac{P_u}{P_i}$, hetgeen een 'vermogensversterkingsfactor' is.

Beschouwen we de spanningen of stromen in voornoemd geval, dan spreken we resp. van 'spanningsversterkingsfactor' $\frac{U_u}{U_i}$ of 'stroomversterkingsfactor' $\frac{I_u}{I_i}$.

Principieel kunnen alle generatoren die met gelijkstroom worden bekrachtigd als roterende versterker worden aangezien omdat hun bekrachtigingsvermogen maar een gering deel van hun nuttig vermogen bedraagt. We spreken echter enkel van roterende versterkers als de versterkingsfactor zeer groot is (minstens 1000).

Als de omzetting van P_i naar P_u in één keer gebeurt, dan spreekt men van ééntrapsversterker. Als de omzetting in twee keer gebeurt, noemt men het een tweetrapsversterker enz. De onafhankelijk bekrachtigde generator is aldus te beschouwen als een ééntrapsversterker. Normale constructies geven een versterkingsfactor tussen 20 en 50. Om hogere versterkingsfactoren te bekomen gaat men over naar bijzondere schakelingen of meertrapsversterkers. Het gaat hier om de regulexgenerator, de rototrol als ééntrapsversterker, de rapidyne als tweetrapsversterker.

2.6.2 De Krämer-generator

Doelstellingen

- De principewerking van de Krämer-generator verduidelijken.
- Het toepassingsgebied van de Krämer-generator omschrijven.

De bekrachtiging van deze machine gebeurt door drie verschillende wikkelingen; vandaar ook de andere benaming 'drie-velden-generator'.

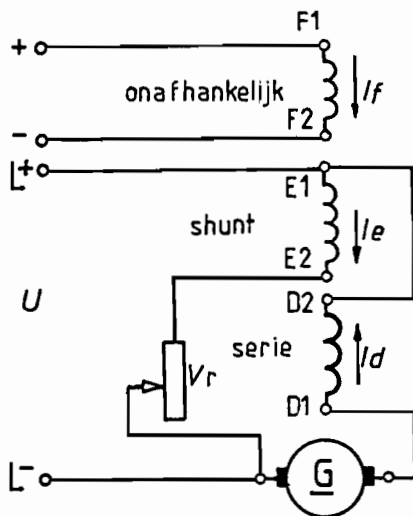


fig. 104

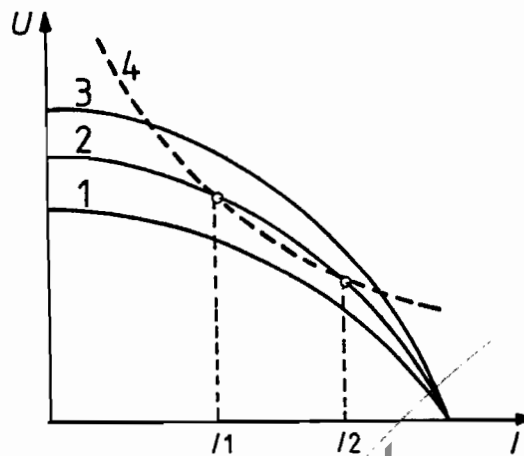


fig. 105

De hoofdeigenschap van deze generator is: beperkte stroom leveren, onafhankelijk van de aangesloten gebruiker. Dat is bv. van groot belang wanneer de generator een gelijkstroommotor voedt die sterk overbelast kan worden, bv. hefwerktuigen. In dat geval zal de stroom aan de motor geleverd, een bepaalde maximumwaarde niet overschrijden. Deze eigenschap beveiligt tevens de aandrijvende motor tegen overbelasting. Binnen een betrekkelijk groot werkingsgebied verandert het afgegeven vermogen van de generator slechts weinig, ondanks grote stroomvariaties. Door deze eigenschap is de dieselmotor als aandrijvende machine erg geschikt.

In een Krämer-generator liggen rond elke poolkern drie wikkelingen:

- een winding F_1F_2 die door een onafhankelijke bron wordt gevoed;
- een shuntwinding E_1E_2 (als lange shunt geschakeld);
- een seriewinding D_1D_2 die de ankerstroom voert.

De onafhankelijk bekrachtigde winding F_1F_2 magnetiseert de polen in dezelfde zin als de shuntwinding. De seriewinding magnetiseert de polen in tegengestelde zin. Met de ingestelde waarde van I_f en I_e kan men het verloop van de uitwendige karakteristiek beïnvloeden.

In kortsluitpunt ($U = 0$ en $I_e = 0$) wordt de stroomsterkte I_a bepaald door de ingestelde stroomwaarde van I_f . De stroomwaarde I_f bepaalt de stroombegrenzwaaarde die gewoonlijk ligt bij 2 à 3 maal de nominale stroomsterkte.

Als $I_e = 0$ gedraagt de generator zich als een compound-generator (curve 1).

Is $I_e \neq 0$ dan zal de curve hoger komen te liggen (curve 2 en 3).

Curve 4 geeft een lijn van constant afgegeven vermogen ($U \cdot I = \text{constant}$).

In het gebied $I_1 - I_2$ is de afstand tussen curve 2 en 4 klein: dit betekent dat de generator in dat gebied een vrijwel constant vermogen levert en dit onafgezien van de sterke stroomvariaties, die een erg wisselende belasting veroorzaken.

2.7 Veranderen van polariteit

Doelstelling

- De voorzorgen die moeten worden genomen bij het omkeren van de polariteit van een willekeurige generator, toelichten.

Om de polariteit van de gegenereerde spanning $E = k \cdot \phi \cdot n$ om te polen, volstaat het de draaizin te veranderen of de polariteit van de polen te wijzigen. Verandert men de draaizin en de zin van de flux, dan blijft de polariteit dezelfde.

– *Omkeren van de fluxzin*

Bij generatoren met zelfbeksprachting moet het remanent magnetisme eerst omgekeerd worden. Dat kan gebeuren met een onafhankelijke gelijkspanningsbron die een tegengestelde flux opwekt.

– *Omkeren van de draaizijn*

Bij generatoren met zelfbeksprachting moet men erop letten dat de schakeling van de veldwikkelingen eveneens wordt omgepold. Zoniet zal het remanent magnetisme worden vernietigd en kan de generator niet meer op spanning komen.

Om de typische eigenschappen van een compoundgenerator te bewaren, moet men er bovendien op letten dat beide veldwikkelingen worden omgepold.

2.8 Vermogen en rendement van generatoren

2.8.1 Vermogen

Doelstelling

- De terminologie i.v.m. vermogens, waarvan sprake bij generatoren, onderscheiden.

Het elektrisch vermogen dat een generator ter beschikking van het net stelt, noemen we het *nutlig vermogen* van de generator: $P_n = U \cdot I$

Het aan de generator geleverde vermogen noemen we *toegevoerd vermogen*:

$$P_i = \omega \cdot T$$

Het inwendig vermogen P_i is het vermogen dat door het anker van de gelijkstroomgenerator wordt ontwikkeld ($P_i = E \cdot I_a$)

2.8.2 Rendement

Doelstellingen

- De bepaling van het begrip *rendement* geven.
- De verliezen die optreden in een generator verduidelijken.
- Het begrip *elektrisch rendement* toelichten.
- Het verband tussen de onderscheiden vermogens en vermogenverliezen weer-
geven.
- In een assenstelsel het verloop van het rendement in functie van het nuttig ver-
mogen weergeven.

Onder rendement ' η ' verstaan we de verhouding van het nuttig elektrisch vermogen P_n tot het totaal toegevoerd vermogen P_i :

$$\eta = \frac{P_n}{P_i}$$

Om het nuttig vermogen te bepalen moeten we de verliezen van de generator van het toe-
gevoerd vermogen aftrekken, dus $P_n = P_i - P_v$

Gaan we even na waaruit de verliezen P_v bestaan:

- bekrachtigingsverliezen P_{bekt} ; dat zijn de jouleverliezen die optreden in de bekrachti-
gingsketen (veldwikkeling + veldregelaar);

- mechanische verliezen P_m : dat zijn wrijvingsverliezen veroorzaakt door wrijving van de as in de lagers, de borstels op de collector, ventilatie en wrijving van lucht t.o.v. de draaiende delen. Die verliezen zijn afhankelijk van de rotatiefrequentie en de wrijvingscoëfficiënten;
- ijzerverliezen P_{Fe} : hieronder verstaan we de verliezen door hysteresis en wervelstromen in de ferromagnetische kring. Die verliezen situeren zich vooral in het ankerijzer en zijn afhankelijk van de magnetische flux en de rotatiefrequentie;
- jouleverliezen P_{Cu} (koperverlies): alle wikkelingen die stroom voeren, veroorzaken een zeker verlies door joule-effect ($P_j = R \cdot I^2$).

Bij generatoren met zelfbekrachtiging wordt het totaal toegevoerd vermogen onder vorm van mechanische energie aan de as van de generator ter beschikking gesteld. Bij een onafhankelijk bekrachtigde generator moet er benevens het mechanisch toegevoerd vermogen aan de as ook een elektrisch vermogen worden toegevoerd om de magnetische flux op te wekken. Van dat elektrisch toegevoerd vermogen kan geen nuttig vermogen worden overgehouden. Het toegevoerd elektrisch vermogen aan de bekrachtigingswikkeling vergetenwoordigt hier het bekrachtigingsverlies

$$P_{beker} = (R_v + R_f) I_f^2$$

Een overzicht van de vermogens en vermogenverliezen is te vinden in het schema van fig. 106. Als voorbeeld nemen we een shuntgenerator; we schrijven de vermogens in formulevorm:

$$P_n = U \cdot I$$

(nuttig afgegeven vermogen)

$$P_t = \omega \cdot T$$

(mechanisch vermogen op de as)

De som van de verliezen:

$$P_v = P_m + P_{Fe} + P_{Cu}$$

$$P_t = P_n + P_v$$

Het inwendig ontwikkeld vermogen:

$$P_i = E \cdot I_a$$

of

$$P_i = P_t - (P_m + P_{Fe})$$

of

$$P_i = P_n + P_{Cu}$$

Het koperverlies is het jouleverlies in de aanwezige wikkelingen.

Voor de shuntgenerator is:

$$P_{Cu} = (R_v + R_e) I_e^2 + (R_a + R_b + R_c) I_a^2$$

Het totaal rendement:

$$\eta = \frac{P_n}{P_t} = \frac{P_n}{P_n + P_v}$$

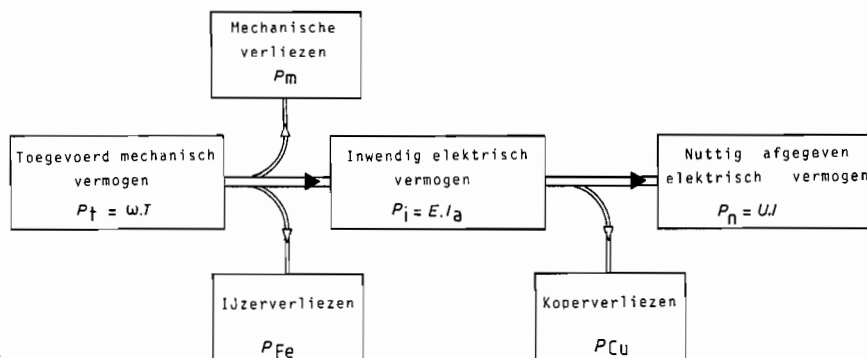


fig. 106

Naast het totaal rendement spreken we ook nog van elektrisch rendement η_e . Het elektrisch rendement van een gelijkstroomgenerator is de verhouding van het nuttig elektrisch vermogen tot het inwendig elektrisch vermogen:

$$\eta_e = \frac{P_n}{P_t} = \frac{U \cdot I}{E \cdot I_a}$$

Bij een onafhankelijk bekrachtigde generator en seriegenerator is $I = I_a$ waardoor

$$\eta_e = \frac{U}{E}$$

Als we de rendementskromme van een generator opnemen, dan krijgen we een curve zoals in fig. 107 is weergegeven.

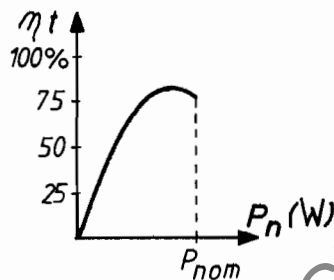


fig. 107

Uit het verloop van de curve zien we dat het rendement bij kleine belasting klein is. Wil men de generator doen renderen, dan zal die een voldoende groot vermogen moeten leveren. Het maximum rendement vinden we bij ongeveer 75 % van P_{nom} .

2.9 Voorbeelden

- 1 Een onafhankelijk bekrachtigde generator heeft de volgende kenmerkende grootheden: $R_a = 2 \Omega$; $R_b + R_c = 1,2 \Omega$. Als de generator 5 A door de buitenketen stuurt, meten we een klemspanning van 200 V. De bekrachtigingsstroom is 1,4 A, terwijl de generator een rotatiefrequentie heeft van 25 s^{-1} .

Bereken:

- de weerstand van de buitenketen
- de gegenereerde spanning
- het nuttige vermogen
- het jouleverlies in de ankerwikkeling
- het jouleverlies in de hulp- en compensatiewikkeling.

Oplossing

De buitenweerstand

$$R_u = \frac{U}{I} = \frac{200}{5} = 40 \Omega$$

De inwendige weerstand

$$R_i = R_a + R_b + R_c = 2 + 1,2 = 3,2 \Omega$$

De gegenereerde spanning

$$E = U + R_i \cdot I_a = 200 + 3,2 \cdot 5 = 216 \text{ V}$$

Het nuttig vermogen

$$P_n = U \cdot I = 200 \cdot 5 = 1000 \text{ W}$$

Jouleverlies in de ankerwikkeling:

$$P_{ja} = R_a I_a^2 = 2 \cdot 5^2 = 50 \text{ W}$$

Jouleverlies in de hulp- en compensatiewikkeling:

$$P_{jbc} = (R_b + R_c) I_a^2 = 1,2 \cdot 5^2 = 30 \text{ W}$$

- 2 Een shuntgenerator stuurt door een belasting een stroom van 100 A. De totale weerstand van de bekrachtigingsketen is 80Ω en de bekrachtigingsstroom $I_e = 4$ A. De weerstand van de ankerwikkeling is $0,02 \Omega$ terwijl de hulpwikkeling en de compensatiewikkeling een gezamenlijke weerstand van $0,04 \Omega$ hebben. Welk vermogen zal de generator afleveren aan de belasting en hoe groot zal de gegenereerde spanning zijn?

Oplossing:

$$\begin{aligned} I_a &= I + I_f = 100 + 4 = 104 \text{ A} \\ U &= I_e \cdot R_e = 4 \cdot 80 = 320 \text{ V} \\ E &= U + R_i I_a = 320 + (0,02 + 0,04) 104 = 326,24 \text{ V} \\ P_1 &= U \cdot I_a = 320 \cdot 104 = 33\,280 \text{ W} \\ P_n &= U \cdot I = 320 \cdot 100 = 32\,000 \text{ W} \end{aligned}$$

- 3 Een seriegenerator levert 30 A in een net. De gegenereerde spanning is 120 V. Bereken de klemspanning en de buitenweerstand als men weet dat $R_a + R_b + R_c + R_d = 0,12 \Omega$

Oplossing:

$$\begin{aligned} U_{vi} &= (R_i + R_d) \cdot I = 0,12 \cdot 30 = 3,6 \text{ V} \\ U &= E - U_{vi} = 120 - 3,6 = 116,4 \text{ V} \\ R_u &= \frac{U}{I} = \frac{116,4}{30} = 3,88 \Omega \end{aligned}$$

- 4 Een seriegenerator levert bij een klemspanning van 220 V een stroom van 120 A, $R_a = 0,1 \Omega$ en $R_d = 0,05 \Omega$. De ijzerverliezen bedragen 1500 W. Bereken de wrijvingsverliezen als men weet dat het totaal rendement gelijk is aan 0,85.

Oplossing:

$$\begin{aligned} P_n &= 220 \cdot 120 = 26\,400 \text{ W} \\ P_t &= \frac{P_n}{\eta} = \frac{26\,400}{0,85} = 31\,058,824 \text{ W} \\ P_v &= P_t - P_n = 31\,058,824 - 26\,400 = 4658,824 \text{ W} \\ P_v &= P_m + P_{Fe} + P_{Cu} \text{ waaruit } P_m = P_v - P_{Fe} - P_{Cu} \\ P_m &= 4658,824 - 1500 - (0,1 + 0,05) 120^2 = 998,824 \text{ W} \end{aligned}$$

- 5 Een compoundgenerator met korte shunt heeft de volgende kenmerkende grootheden: $U = 200$ V; $P_n = 4$ kW; $R_a + R_b + R_c = 0,25 \Omega$; $R_d = 0,1 \Omega$ en $R_e = 60 \Omega$. Bereken de gegenereerde spanning.

Oplossing:

$$\begin{aligned} I &= \frac{P_n}{U} = \frac{4000}{200} = 20 \text{ A} \\ U_d &= R_d \cdot I = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ V} \\ U_e &= U + U_d = 200 + 2 = 202 \text{ V} \\ I_e &= \frac{U_e}{R_e} = \frac{202}{60} = 3,366 \text{ A} \\ I_a &= I + I_e = 20 + 3,366 = 23,366 \text{ A} \\ E &= U_e + R_i I_a = 202 + 0,25 \cdot 23,366 = 207,84 \text{ V} \end{aligned}$$

Stad Antwerpen
Stedelijk Lyceum
Hoofdstelling :
Paardenmarkt 94
2000 Antwerpen
tel. (03)232 42 05

2.10 Toepassingen

- 1 Een onafhankelijk bekrachtigde generator ontwikkelt in een buitenweerstand van $25\ \Omega$ een vermogen van $2500\ \text{W}$. De aandrijvende motor voert een mechanisch vermogen van $2850\ \text{W}$ toe. De weerstanden van de onderscheiden windingen zijn: $R_a = 0,8\ \Omega$; $R_b = 0,3\ \Omega$; $R_c = 0,4\ \Omega$.

Bereken:

- de ankerstroom I_a
- de klemspanning U
- de gegenereerde spanning
- het elektrisch rendement
- de som van de ijzerverliezen en mechanische verliezen
- het totaal rendement.

- 2 Een shuntgenerator met ankerweerstand $0,12\ \Omega$ en veldweerstand $84\ \Omega$ levert aan een belastingsweerstand van $15\ \Omega$ een stroom van $8\ \text{A}$. De weerstand van $R_b + R_c = 0,08\ \Omega$. Bereken de gegenereerde spanning.

- 3 Een shuntgenerator heeft de volgende kenmerken:
 $R_i = R_a + R_b + R_c = 0,25\ \Omega$; $R_e = 90\ \Omega$ en $R_u = 3\ \Omega$.
We meten de stroom van $30\ \text{A}$ in de buitenketen. De som van wrijvings- en ijzerverliezen is $70\ \text{W}$. Bereken het elektrisch en totaal rendement.

- 4 Een seriegenerator levert bij een klemspanning van $120\ \text{V}$ aan een verbruiker een stroomsterkte van $20\ \text{A}$. $R_a + R_b + R_c = 0,15\ \Omega$ en $R_d = 0,09\ \Omega$. Het totaal rendement is $75\ \%$. Bereken de gegenereerde spanning en het vermogen dat men aan de generatoras moet toevoeren.

- 5 De kenmerkende grootheden van een compoundgenerator met lange shunt zijn de volgende: $R_a + R_b + R_c = 0,25\ \Omega$; $R_d = 0,1\ \Omega$ en $R_e = 160\ \Omega$.
In de buitenweerstand van $8\ \Omega$ vloeit $20\ \text{A}$. Bereken de gegenereerde spanning en de jouleverliezen in de onderscheiden windingen. Hoe groot is het elektrisch rendement?

2.11 Diagnostische toets

Zie Toetsenboekje.

2.12 Herhalingsvragen - Basis

- 1 Een onafhankelijk bekrachtigde generator ontwikkelt in een verwarmingselement met ohmse weerstand van $13\ \Omega$ een vermogen van $3757\ \text{W}$. De ankerweerstand $R_a = 0,14\ \Omega$ en $R_b + R_c = 0,11\ \Omega$. Bereken de gegenereerde spanning, de klemspanning U , het elektrisch vermogen, de jouleverliezen in het anker en de som der jouleverliezen in de hulp- en compensatiewinding.
- 2 Van een shuntgenerator bedraagt de totale inwendige weerstand $0,3\ \Omega$ ($R_i = R_a + R_b + R_c$). De weerstand van de veldketen is $95\ \Omega$. De aangesloten verbruiker heeft een weerstand van $3\ \Omega$. Bereken de klemspanning als de gegenereerde spanning $120\ \text{V}$ is.
- 3 De gegenereerde spanning van een shuntgenerator is $100\ \text{V}$. De inwendige weerstand $R_i = R_a + R_b + R_c = 0,22\ \Omega$; $R_e = 120\ \Omega$ en $R_u = 6\ \Omega$. Bereken het afgegeven nuttig vermogen.

- 4 Een seriegenerator levert een stroom van 10 A en genereert een spanning van 80 V, $R_a = 0,2 \Omega$ en $R_d = 0,12 \Omega$. Bereken de klemspanning en de belastingsweerstand.
- 5 Een seriegenerator met ankerweerstand $R_a = 0,12 \Omega$ en de weerstand van de veldwikkeling $R_d = 0,08 \Omega$ levert bij een klemspanning van 255 V een stroom van 15 A. Hoe groot is de gegenereerde spanning, het inwendig spanningsverlies, het nuttig geleverd vermogen en de weerstand van het verbruikersnet? Bereken eveneens het elektrisch en totaal rendement als men weet dat de wrijvingsverliezen 100 W en de ijzerverliezen 60 W bedragen.
- 6 Een compoundgenerator met korte shuntschakeling heeft een inwendige weerstand ($R_i = R_a + R_b + R_c$) van $0,04 \Omega$, $R_d = 0,02 \Omega$, $R_e = 29 \Omega$. Door de buitenketen vloeit 250 A terwijl de klemspanning 140 V is. Bereken de gegenereerde spanning en de stroom door de shuntwikkeling.

2.13 Verrijksingsopdrachten

- 1 Het totaal toegevoerd vermogen van een generator met onafhankelijke bekrachtiging bedraagt 6000 W. De bekrachtigingsketen heeft een totale weerstand van 120Ω en voert een stroom van 1,4 A. De generator stuurt een stroom van 25 A in de buitenketen, terwijl de klemspanning 210 V bedraagt. De wikkelweerstand bedragen: $R_a = 0,1 \Omega$, $R_b = 0,07 \Omega$ en $R_c = 0,06 \Omega$.
Bereken:
 - de weerstand van de buitenketen
 - de gegenereerde spanning
 - het totaal rendement
 - het elektrisch rendement
 - het inwendig elektrisch vermogen
 - de ijzerverliezen als de mechanische verliezen 100 W bedragen.
- 2 Een shuntgenerator met ankerweerstand $R_a = 0,1 \Omega$ en weerstand van de hulpwikkeling $R_b = 0,07 \Omega$ levert bij een klemspanning van 500 V een stroom van 30 A in een buitenketen. De shuntwikkeling neemt een stroom op van 1,3 A. De mechanische verliezen bedragen 200 W, de ijzerverliezen 160 W. Bereken de gegenereerde spanning, de weerstand van de buiten- en bekrachtigingsketen, het totaal en elektrisch rendement.
- 3 Een shuntgenerator met klemspanning 220 V is belast met 20 gloeilampen van 220 V, 200 W. De gegenereerde spanning is 230 V. Bereken de weerstandswaarde $R_i = R_a + R_b + R_c$ en de weerstand van de bekrachtigingsketen R_e , als de weerstand van het anker 150 maal kleiner is dan de weerstand van de shuntwikkeling R_c .
- 4 Een seriegenerator met klemspanning 200 V moet een apparaat van 3 kW voeden op 120 V. Bereken de gegenereerde spanning en de nodige voorschakelweerstand als de totale inwendige weerstand van de generator $0,2 \Omega$ is.
- 5 Een seriegenerator levert aan een buitenweerstand van 10Ω een vermogen van 810 W. In verhouding tot het nuttig vermogen is er 2 % vermogenverlies door joule-effect in het anker en 3 % in de veldwikkeling. Bereken de gegenereerde spanning.
- 6 Een compoundgenerator, lange shunt, met $U = 220$ V ontwikkelt in een verbruikersnet een vermogen van 240 kW. De karakteristieke grootheden zijn de volgende: $R_u = 0,003 \Omega$, $R_b = 0,0004 \Omega$, $R_c = 0,001 \Omega$, $R_d = 0,007 \Omega$ en $R_e = 22 \Omega$. De stroomovergang van een borstel naar de collector veroorzaakt een spanningsval van 1 V. De mechanische verliezen bedragen 8000 W, de ijzerverliezen bedragen 6000 W.
Bereken het elektrisch en totaal rendement.

- 7 De ankerwikkeling van een tweepolige shuntgenerator bevat 800 werkzame geleiders, verdeeld over 2 ankertakken. De gemiddelde lengte per winding is 1,30 m en de wikkeldraad heeft een doorsnede van 6 mm^2 . De flux per pool is 0,01 Wb. De gegenereerde spanning is 250 V. De verschillende windingen hebben de volgende weerstandswaarden:

$$R_e = 120 \, \Omega, \quad R_b = 0,02 \, \Omega, \quad R_c = 0,02 \, \Omega \text{ en } R_u = 12,5 \, \Omega.$$

De resistiviteit van de wikkeldraad bedraagt $0,0175 \cdot 10^{-6} \, \Omega\text{m}$.

Het mechanisch verlies is 150 W, de ijzerverliezen bedragen 100 W.

Bereken het toegevoerd mechanisch vermogen, het inwendig ontwikkeld vermogen, het elektrisch en totaal rendement. Bereken eveneens de rotatiefrequentie.

ENKEL VOOR KLASGEBRUIK

SYNTHESE

Typen van gelijkstroomgeneratoren met hun karakteristieken

Algemeen

De principewerking van de onderscheiden generatortypen is identiek.

Voor generatoren met beperkt vermogen volstaan permanente magneten. Voor generatoren met groot vermogen zijn permanente magneten ontoereikend en gaat men het magnetisch veld kunstmatig opdrijven via elektromagneten.

De aard van de ankerwikkeling en constructiebijzonderheden van het **anker** van gelijkstroomgeneratoren zijn vooral ingegeven door de rotatiefrequentie van de aandrijvende machine.

De constructiebijzonderheden van de **bekrachtigingsketen** (vooral bekrachtigingswikkelingen) zijn in eerste instantie ingegeven door de aard van de spanningsbron die de bekrachtigingsketen voedt.

De generatortypes die we in deze leereenheid hebben besproken, zijn machines voor groot vermogen. Die generatoren onderscheiden zich enkel door de manier van bekrachtigen.

Generatortypen

We delen ze in als volgt:

- generatoren met onafhankelijke bekrachtiging;
- generatoren met zelfbekrachtiging;
- speciale generatoren (combinatie van zelfbekrachtiging en onafhankelijke bekrachtiging).

Binnen de generatoren met zelfbekrachtiging onderscheiden we naar gelang van de schakeling van de bekrachtigingswikkeling t.o.v. het anker:

- shuntgeneratoren;
- seriegeneratoren;
- compoundgeneratoren.

Om aan de hand van het klemmenbord het generatortype te herkennen gaan we de onderscheiden wikkelingen van letteraanduidingen voorzien.

Karakteristieken

Het 'gedrag' of het 'karakter' van de onderscheiden typen van generatoren leiden we af uit de z.g. karakteristieken. De karakteristieken geven op een grafische manier het verband weer tussen twee veranderlijke (elektrische) grootheden terwijl de overige grootheden constant worden gehouden.

Enkel bij de onafhankelijk bekrachtigde generatoren kunnen al de van toepassing zijnde karakteristieken opgenomen worden. Bij de andere generatortypen zijn bepaalde karakteristieken, wegens de schakeling van de bekrachtigingswikkeling(en) niet van praktisch nut.

Kenmerkende eigenschappen

De generator met *onafhankelijke bekrachtiging* maakt een zeer soepele spanningsregeling mogelijk en laat toe om bij lage spanning een grote stroom te leveren. Een afzonderlijke spanningsbron is noodzakelijk.

De *shuntgenerator* benadert het meest de karakteristieken van de onafhankelijk bekrachtigde generator. De shuntgenerator wordt relatief veel toegepast omdat de spanningsregeling nog altijd zeer behoorlijk is en omdat een afzonderlijke spanningsbron voor de bekrachtiging niet nodig is. De klemspanning neemt bij toenemende stroomsterkte sneller af dan de generator met onafhankelijke bekrachtiging.

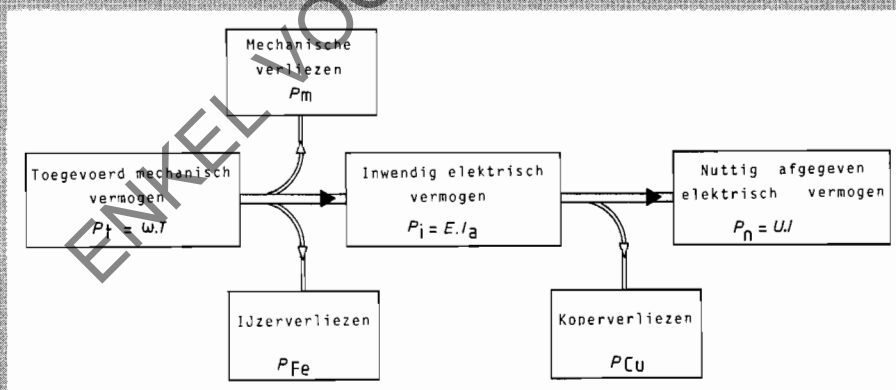
De *seriegenerator* is als generator voor het voeden van netten niet geschikt. De studie ervan is nuttig met het oog op de studie van compoundgeneratoren en de (latere) studie van gelijkstroommotoren (remmen met terugwinnen van energie).

De compoundgenerator verenigt de eigenschappen van de shunt- en seriegenerator. Deze combinatie maakt het ons mogelijk een uitwendige karakteristiek te bekomen waarvan de klemspanning bij stijgende stroomsterkte haast constant blijft, ja zelfs stijgt.

De praktisch meest bruikbare karakteristiek bij de onderscheiden generatoren is de uitwendige karakteristiek.

Alle typen van generatoren kunnen parallel geschakeld worden om een groter vermogen op het net ter beschikking te hebben. De *parallelwerking* van shuntgeneratoren is, wegens het dalend verloop van de uitwendige karakteristiek, van nature stabiel. Dat is niet het geval voor de seriegenerator en in mindere mate voor de compoundgenerator. Voor beide laatste gevallen brengt een evenwichtsrail de oplossing.

Vermogen en rendement van generatoren



$$\eta = \frac{P_n}{P_t} = \frac{P_n}{P_n + P_v}$$

Toepassingsgebied

Het praktisch toepassingsgebied van generatoren is beperkt omdat men meer en meer gebruik maakt van statische gelijkrichters. O.m. voor het opvangen van piekbelastingen bij de spoorwegen en voor diesellocomotieven treffen we generatoren nog altijd aan.