

HOOFDSTUK 4

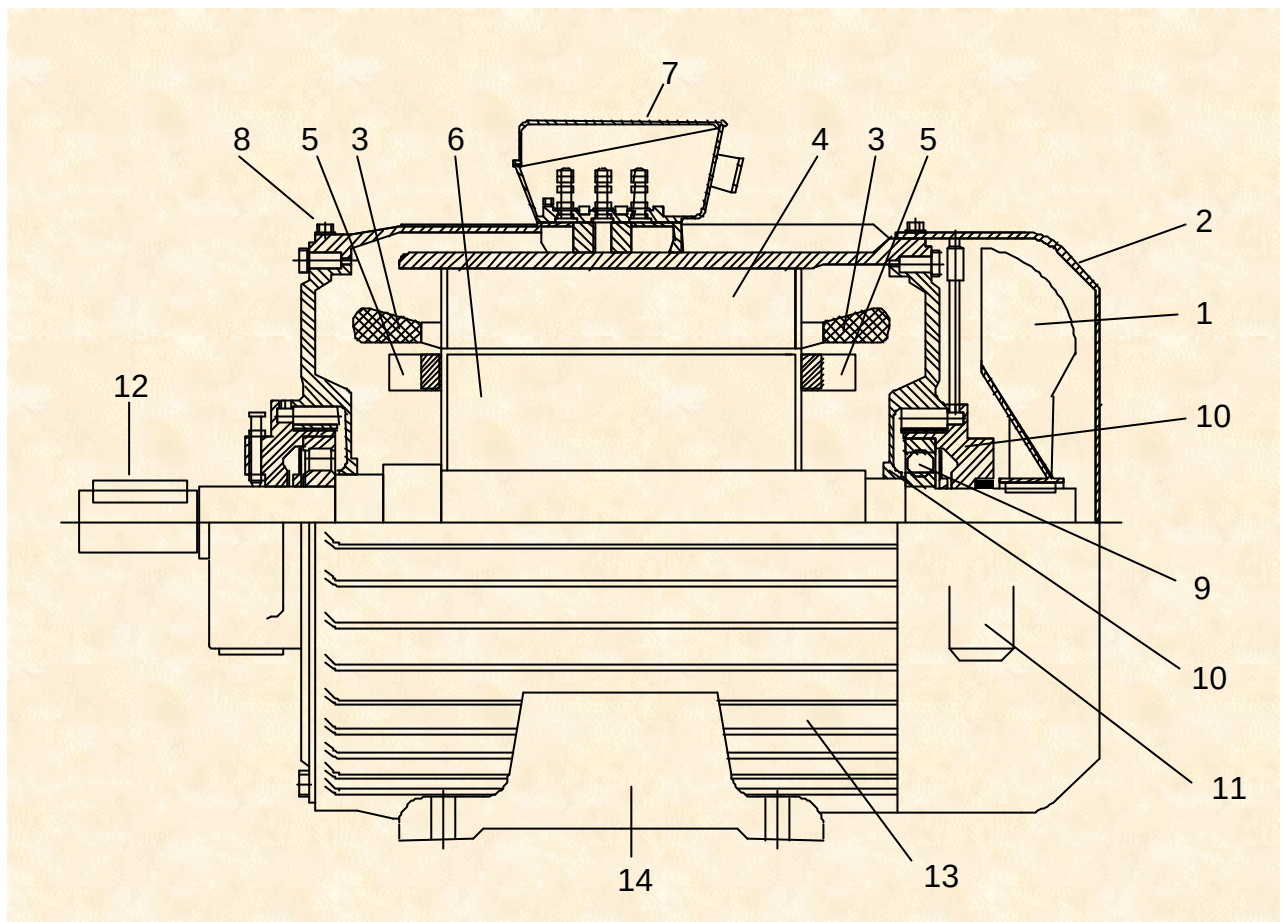
CONSTRUCTIE VAN INDUCTIEMOTOREN

4.1 Inleiding

De inductiemachine bestaat uit een stilstaand, de stator, en een roterend gedeelte, de rotor. Zij zijn gescheiden door een kleine luchtspleet met een lengte van een fractie van een millimeter, tot enkele millimeter voor motoren van meerdere megawatt. Als actieve delen beschouwt men het stator- en rotorblikpakket en de stator- en rotorwikkeling, die in gleuven geplaatst zijn. De gleuven zijn regelmatig over de stator- en de rotoromtrek verdeeld.

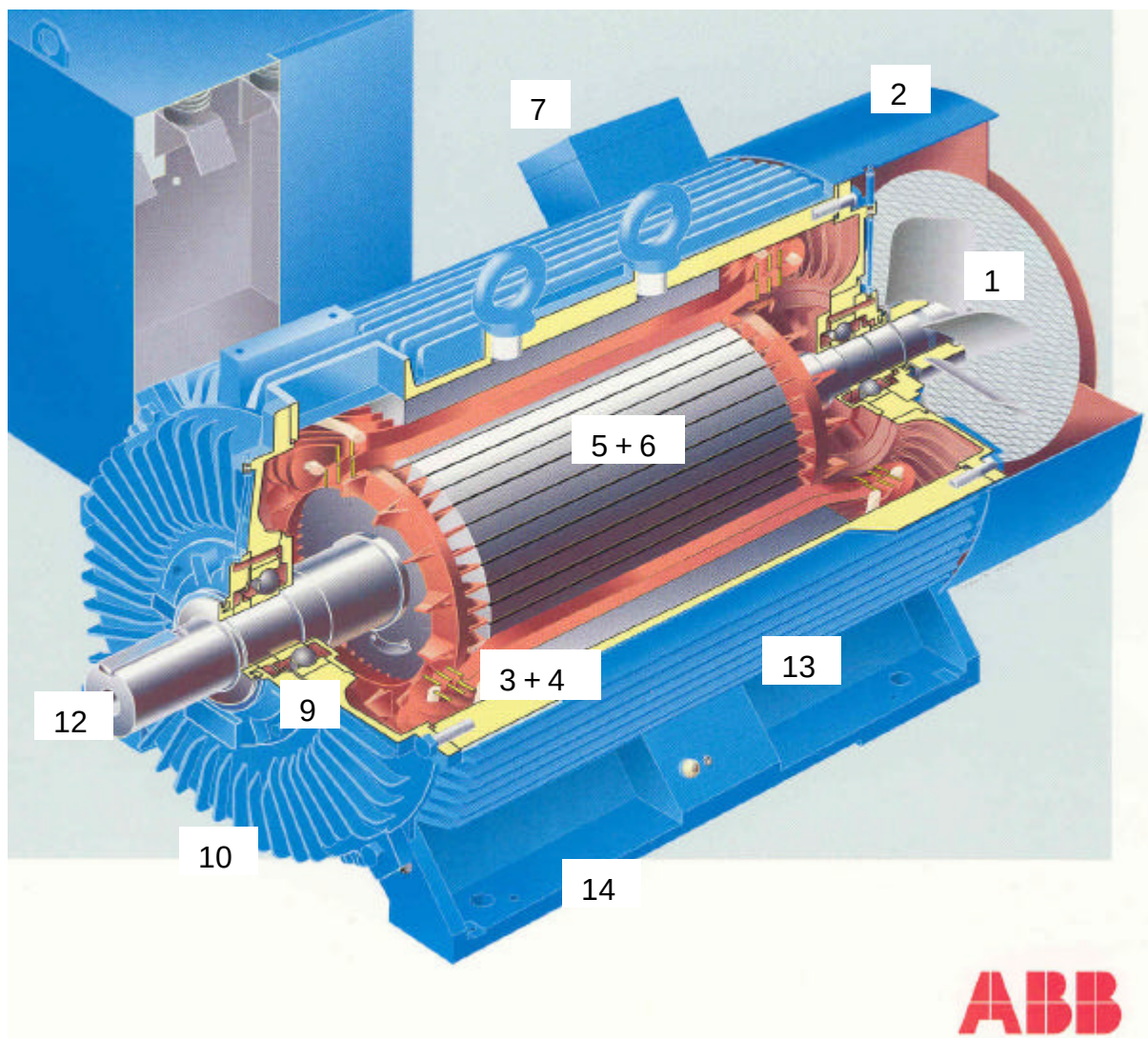
In de statorgleuven legt men een driefasige wikkeling. In de rotor bevindt zich een driefasige wikkeling, waarvan de uiteinden verbonden zijn met de sleepringen (bewikkelde rotor of sleepringrotor), of een rotorwikkeling bestaande uit een aantal staven, die aan beide rotorzijden door kortsluitringen met elkaar verbonden zijn (kooirotor).

Het statorblikpakket wordt in het huis, meestal voorzien van koelribben, geperst. De lagers zitten in lagerschilden die vastgeschroefd worden op het huis. De motoren worden geconstrueerd volgens normen (IEC-normen) in verschillende uitvoeringen. Er moet eveneens aandacht besteed worden aan isolatieklassen, mechanische bescherming en koeling.



1	Ventilator	8	Aarding
2	Ventilatorafscherming	9	Lagering
3	Driefasige statorwikkeling	10	Lagerschild
4	Statorblikpakket	11	Opvang voor oud vet van de lagering
5	Rotorkooi (rotorstaven en kortsluitring)	12	As met spiebaan en spie
6	Rotorblikpakket	13	Koelribben
7	Klemmenkast met klemmen - bord	14	Motorvoet met bevestigings - gaten

figuur 4.1 *Driefasige inductiemotor (normmotor) met kooirotor*



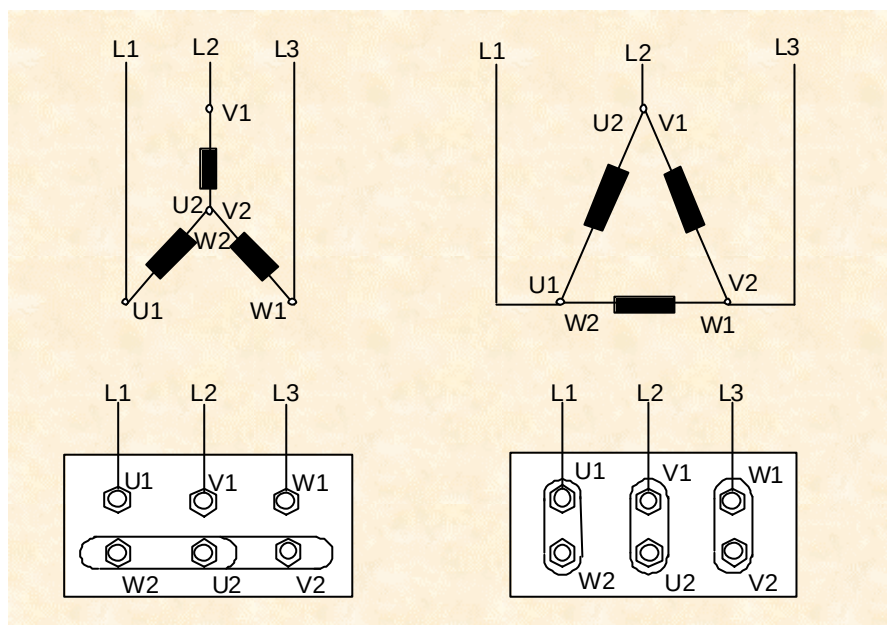
1	Ventilator	8	Aarding
2	Ventilatorafscherming	9	Lagering
3	Driefasige statorwikkeling	10	Lagerschild
4	Statorblikpakket	11	Opvang voor oud vet van de lagering
5	Rotorkooi (rotorstaven en kortsluitring)	12	As met spiebaan en spie
6	Rotorblikpakket	13	Koelribben
7	Klemmenkast met klemmen - bord	14	Motorvoet met bevestigings - gaten

Figuur 4.2 *Driefasige inductiemotor met kooirotor
 gietijzeren behuizing
 100....1900 kW , 50 Hz
 150....3000 kW , 60 Hz
 $U_{max} = 11,5kV$
 ashoogte van 315 tot 500 mm*

4.2 Wikkelingen

De driefasige wikkeling wordt in gleuven ondergebracht om de luchtspleet klein te houden. Deze gleuven zijn gelijkmatig verdeeld over de omtrek. Het ontwerp van een driefasige wikkeling bestaat erin de geleiders in de afzonderlijke gleuven zodanig te schikken dat men het gewenste aantal (meestal drie) fasen bekomt. De stroomvoerende geleiders moeten ten opzichte van het blikpakket geïsoleerd worden door de gleufisolatie. De afzonderlijke geleiders zijn ten opzichte van elkaar geïsoleerd door de geleiderisolatie.

De zes uiteinden van de drie wikkelingsfasen kunnen in ster of in driehoek geschakeld worden (Figuur 4.3). Grotere machines en in het bijzonder hoogspanningsmachines worden normaal in ster geschakeld. Bij machines van klein en middelgroot vermogen wordt de statorwikkeling tijdens normaal bedrijf in driehoek geschakeld.



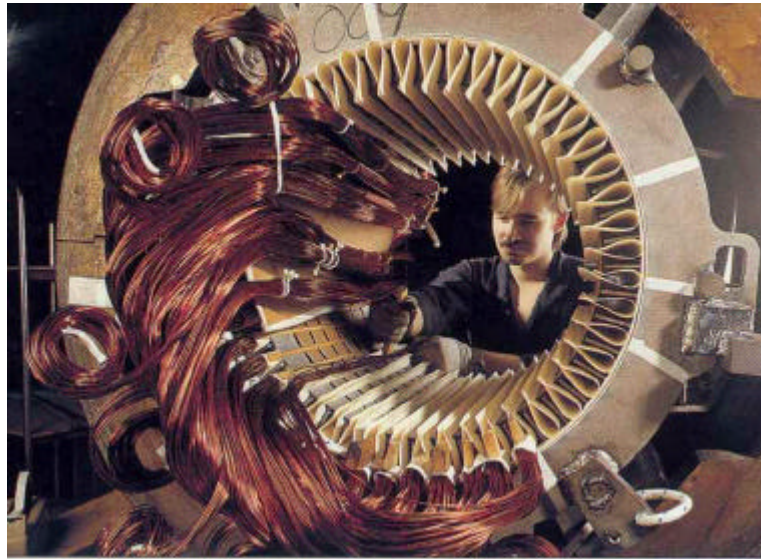
Figuur 4.3 Ster- en driehoekschakeling bij inductiemotoren

4.2.1 Statorwikkelingen

De constructie van de statorwikkeling wordt door de volgende factoren bepaald:

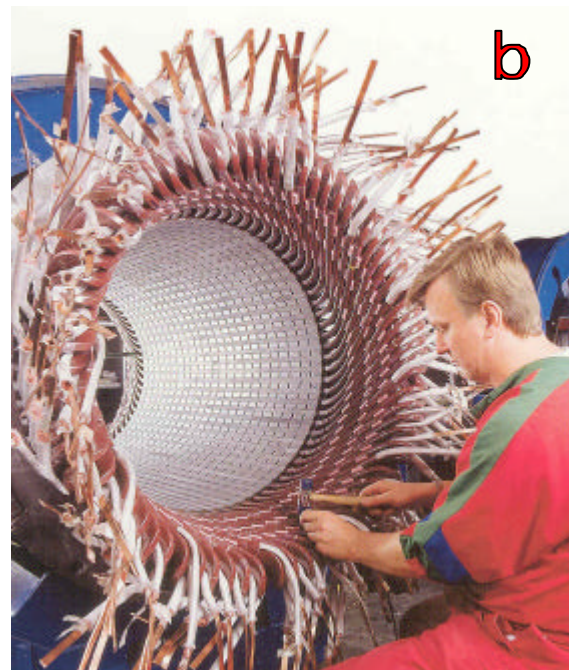
- vermogen van de machine,
- grootte van de netspanning,
- poolpaartal p ,
- koeling.

Kleine en middelgrote machines worden voor het laagspanningsnet (230 V, 400 V, 500 V, 690 V) uitgerust met ronde draadwikkelingen. Hierbij moet men nog een onderscheid maken tussen een- en tweelaagwikkelingen.



figuur 4.4 *Spoelen in ronde wikkeldraad (Foto ABB)*

Bij inductiemachines op een hoogspanningsnet ontstaan problemen met de isolatie van de wikkelingen. Hoogspanningswikkelingen worden in daarom uitgevoerd als voorgevormde spoelen met rechthoekige staafdoorsnede (figuur 4.5).

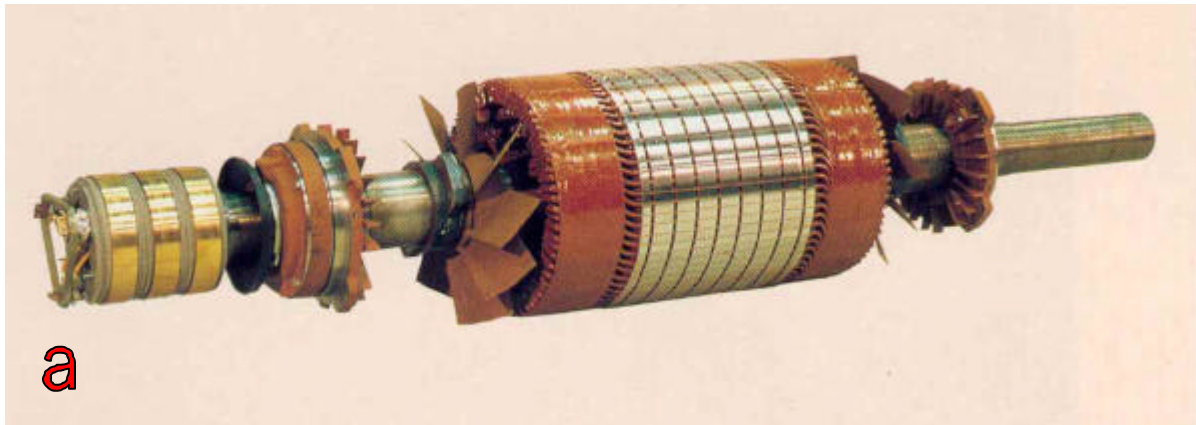


figuur 4.5 *Voorgevormde spoelen voor een hoogspanningswikkeling (Foto ABB)*
 a) *Aanbrengen van de vormspoelen in de statorgleuven*
 b) *Afwerken van de wikkelpoppen met de uitlopers*

4.2.2 Rotorwikkelingen

4.2.2.1 Sleepringrotor

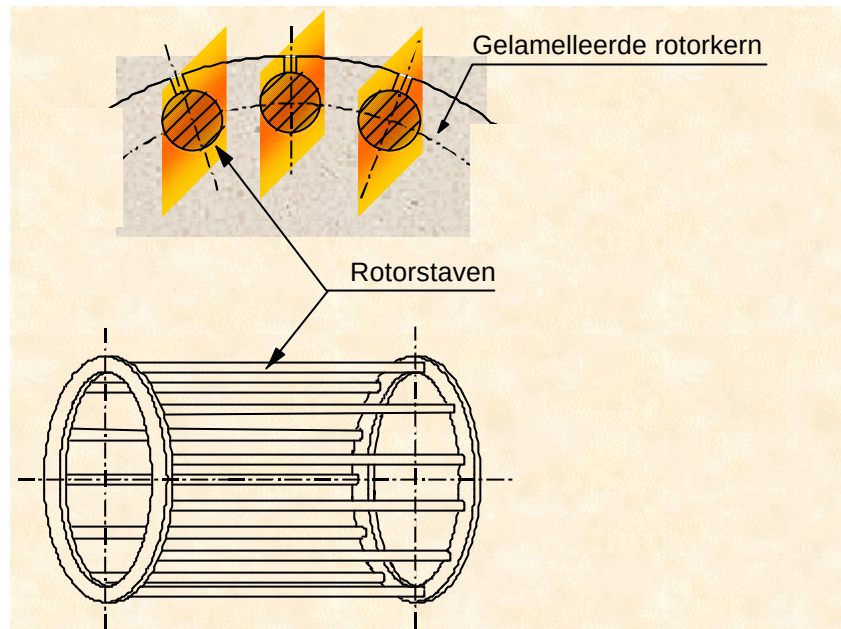
De sleepringrotor is een bewikkelde rotor met sleepringen op de as (figuur 4.6). Deze rotor wordt in kleine machines uitgerust met een driefasige draadwikkeling, terwijl men bij grotere machines gebruik maakt van een driefasige wikkeling met vormspoelen.



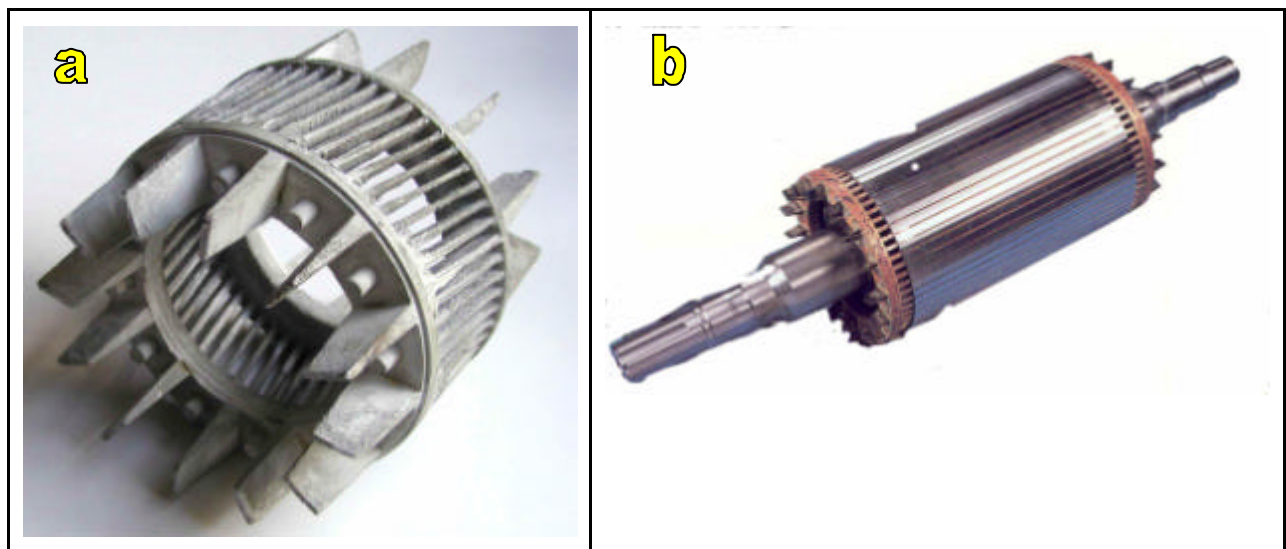
figuur 4.6 *Sleepringrotor (a) en borsteldrager met sleepringen van een grote inductiemotor (b) (Foto ABB)*

4.2.2.2 Kooirotor

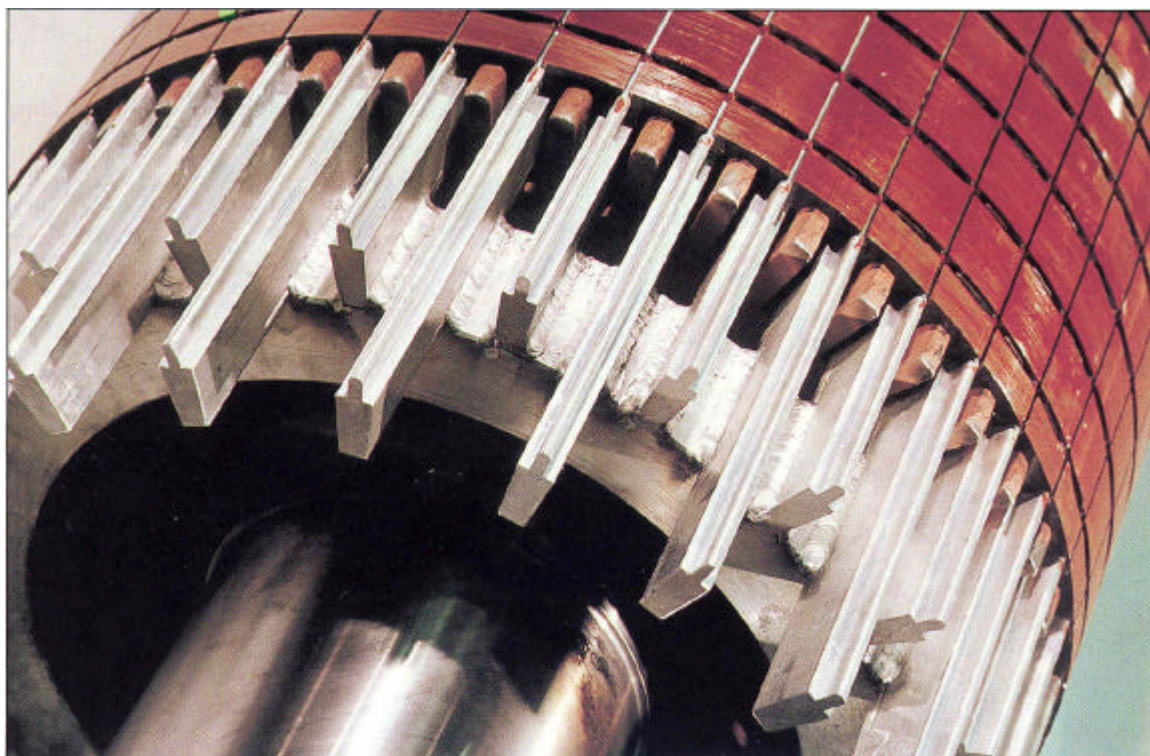
In plaats van de rotor te bewikkelen, kan men ook in elke gleuf een ronde, ovale of trapeziumvormige staaf leggen en deze aan de uiteinden met mekaar verbinden door kortsluitringen, men spreekt van een kooirotor (figuur 4.7 en figuur 4.9). De kooirotor kan ook vervaardigd worden met een spuitgietconstructie (figuur 4.8).



figuur 4.7 Vereenvoudigde voorstelling van een enkelkooirotor opgebouwd uit staven

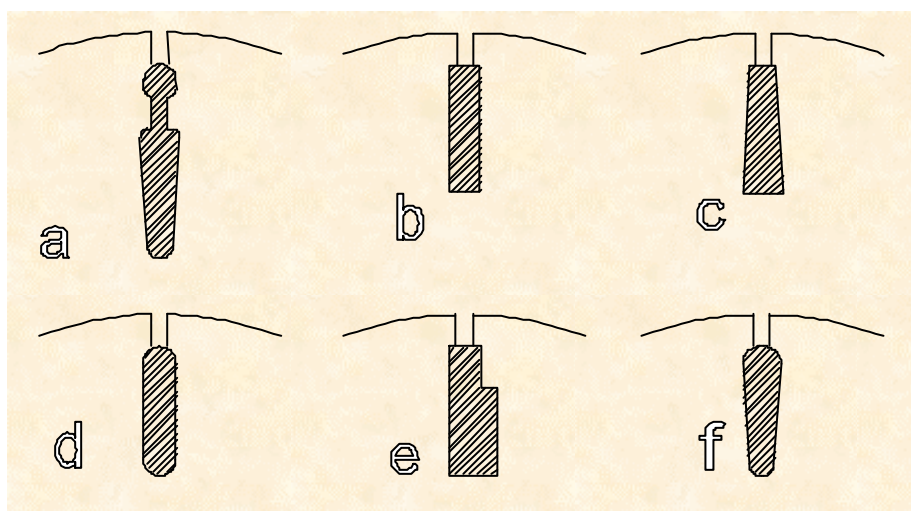


figuur 4.8 Enkelkooirotor zonder blik(a) en rotor met gespoten Al kooi(b)
(Foto Electra (ELEN) en ABB)



figuur 4.9 *Rotoruiteinde met blikpakket, Al rotorstaven en kortsluitring (Foto ABB)*

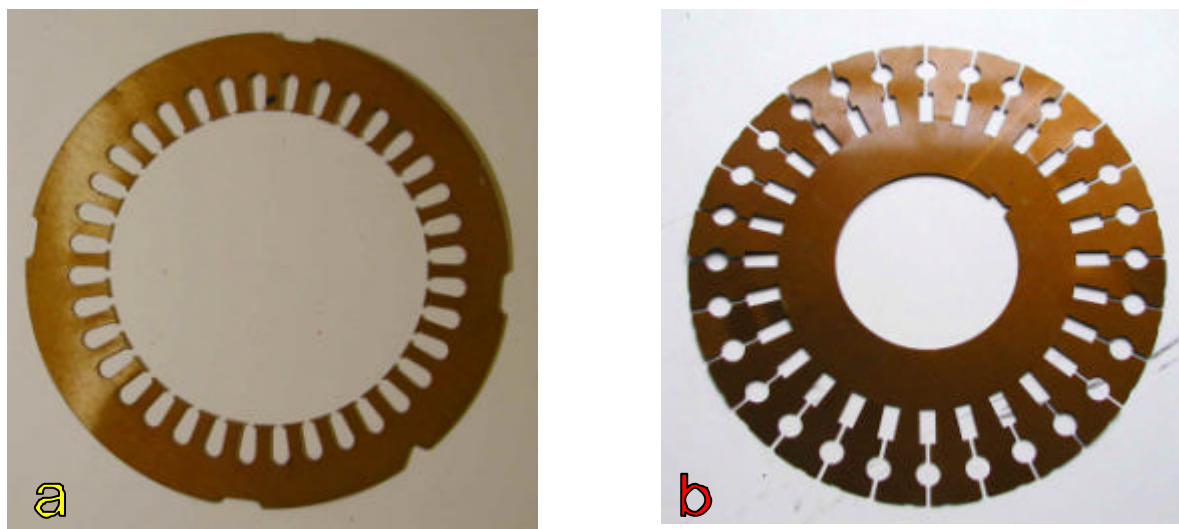
De constructie is in beide gevallen zeer eenvoudig. De kooi kan zowel uit aluminium als uit koper vervaardigd worden. Men onderscheidt de enkelkooi (figuur 4.7), de dubbelkooi (figuur 4.9), en de kooi met stroomverdringing (figuur 4.10b..f). Bij tapse uitvoering van de hoogstaven worden de rotorgeleiders op hun plaats gehouden met een spanstift (figuur 4.10c).



figuur 4.10 *Voorbeeld van een dubbelkooirotor (a) en diverse vormen van stroomverdringingsrotoren (b...f)*

4.3 Stator- en rotorblikpakket

Om een zo klein mogelijke magnetiseringsstroom te bekomen, moet het veld hoofdzakelijk in het ijzer verlopen en is de luchtspleet tussen stator en rotor zo klein als mechanisch mogelijk. Daar het veld op elke plaats in de machine een wisselveld is, moet het magnetische pad loodrecht op de fluxrichting gelamelleerd zijn om de verliezen door wervelstromen te beperken. Daarom is het ijzergedeelte van de magnetische kring opgebouwd uit dunne blikplaten (0,5 mm blik) die ten opzichte van elkaar geïsoleerd zijn. Een stator- en rotorblik van een inductiemotor wordt op figuur 4.11 voorgesteld.

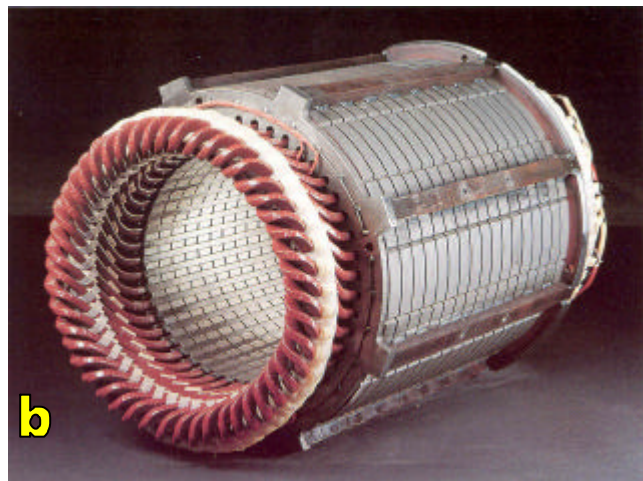


figuur 4.11 *a) Statorblik van een inductiemotor (Foto Electa)*
 b) Rotorblik van een inductiemotor met dubbelkooi (Foto Electa)

Het statorblikpakket kan eerst in het machinehuis geperst worden, waarna de wikkeling wordt aangebracht. Maar de wikkeling kan ok eerst in het blik aangebracht worden. Na het impregneren van de wikkeling wordt het geheel in de behuizing geplaatst (figuur 4.12).



a



b

figuur 4.12 *Statorbehuizing van een normmotor (a) en statorblikpakket met geïmpregneerde wikkeling klaar voor montage in zijn behuizing(b)*
(Foto ABB)

Bij gegoten rotorkooien wordt het rotorblikpakket samen met de wikkeling als een geheel op de as geperst, terwijl bij sleepringrotoren en bij kooirotoren met staaf-ring verbindingen, het rotorblikpakket eerst op de as wordt aangebracht en dan pas de geleiders aangebracht worden.

4.4 Huis en lagers

Het huis van kleine machines bestaat uit aluminium spuitgietwerk omheen het statorblik-pakket. Voor grotere motoren (vanaf 22 kW) wordt gietijzer gebruikt, al dan niet voorzien van koelvinnen voor de warmteafvoer. Bij middelgrote en grote machines bestaat het huis uit een gelaste staalconstructie. De vormgeving is zeer verscheiden en men onderscheidt dan ook verschillende bouwvormen naargelang de vereisten van de aandrijving.

Bij kleine en middelgrote machines gebruikt men bijna uitsluitend rollagers met vetsmering. Zij laten een luchtspleet toe van 0,3 tot 0,5 mm, wat gunstig is voor de arbeidsfactor. Zeer belangrijk, zowel voor de levensduur van de lagers als voor de rustige loop van de rotor, is de gebruikte koppeling tussen motor en aangedreven machine. De meeste koppelingen laten bij belasting geen axiale speling toe. Ten gevolge van de uitzetting door de warmte wordt het lager hierdoor axiaal belast. Bij normaal gebruik bezit een rollager een levensduur van minstens 20.000 uur. Zeer grote motoren hebben steeds glijlagers met oliesmering onder druk, waarbij uit veiligheidsoverwegingen minstens een oliepomp door de motor wordt aangedreven. Voor het opnemen van de axiale krachten bij glijlagers wordt een kogellager ingebouwd.

4.5 Constructienormen en mechanische uitvoeringen

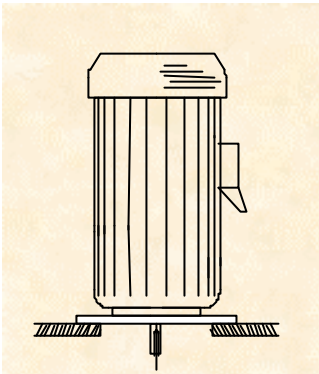
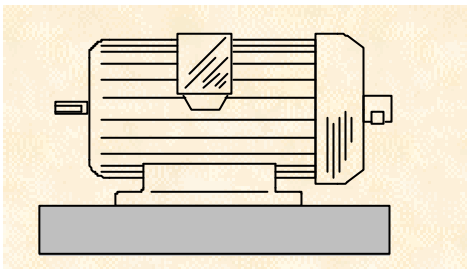
De verschillende mechanische uitvoeringen van draaiende machines zijn te vinden in de IEC 34-7 norm van 1972.

Code 1 van laatstgenoemde publicatie handelt over machines met lagerschilden en met een vrij asuiteinde. Deze code bestaat uit de letters IM (International Mounting) gevolgd door een letter en een of twee cijfers.

Code 2 omvat de volledige beschrijving van de mechanische montage en de schikking van een roterende elektrische machine. De classificatie gebeurt aan de hand van de letters IM gevolgd door vier cijfers. Deze code is algemeen, maar ook ingewikkelder.

Tabel 4.1 stelt de IEC 34-7 norm van 1972 voor.

In figuur 4.13 worden een tweetal mechanische uitvoeringen aangeduid.

V1 • Verticale as • Horizontaal bevestigingsvlak • 2 lagerschilden • 1 asuiteinde aan de flenszijde onderaan • Bevestiging door flens met gaten in het onderste lagerschild	
B3 • Horizontale as • Horizontaal bevestigingsvlak • 2 lagerschilden • 1 asuiteinde • Bevestigingspoten aan het huis	

figuur 4.13 Meest gebruikte verticale en horizontale uitvoeringsvorm

Tabel 4.1 *Mechanische uitvoeringsvormen voor inductiemotoren*

Motor op voet	IM B 3 IM 1001	IM V 5 IM 1011	IM V 6 IM 1031	IM B 6 IM 1051	IM B 7 IM 1061	IM B 8 IM 1071
						
Motor met flens: grote flens, ruimte voor bevestigingsgaten	IM B 5 IM 3001	IM V 1 IM 3011	IM V 3 IM 3 31	*) (IM 3051)	*) (IM 3061)	*) (IM 3071)
						
Gemodificeerde voet en flens montage: op voet, met grote flens en ruimte voor de bevestigings- gaten	IM B 35 IM 2001	IM V 15 IM 2011	IM V 36 IM 2031	IM 2051	IM 2061	IM 2071
						
Opstelling op voet en as met twee uiteinden	IM 1002	IM 1012	IM 1032	IM 1052	IM 1062	IM 1072
						

*) Niet gespecificeerd in IEC Publ. 34 - 7

4.6 Mechanische bescherming

Het motorhuis moet een mechanische bescherming bieden om:

- personen te vrijwaren van contact met bewegende of onder spanning staande delen;
- indringing van vocht, vuil of vreemde lichamen in schadelijke hoeveelheden te voorkomen.

Deze bescherming, die afhankelijk is van de omgeving waarin de motor geplaatst moet worden, wordt aangeduid met een symbool dat bestaat uit de letters IP (= Index of Protection) gevolgd door twee cijfers. Hierop wordt later in beveiliging van elektrische installaties teruggekomen. De correcte beschrijving van de verschillende IP-klassen is terug te vinden in de IEC 34-5 norm.

Twee speciale soorten motoren dienen vermeld te worden.

- Motoren met ventilatie, waarvan de ventilatielucht wordt aangevoerd via pijpen. De beschermingsgraad wordt dan aangegeven door de letters IP gevolgd door een R en de gewone beschermingsgraad. (Voorbeeld IP R 44)

- Weerbestendige motoren. De beschermingsgraad wordt weergegeven zoals in het vorige geval, doch R wordt vervangen door W. Deze motoren zijn zodanig geconstrueerd dat het binnendringen van sneeuw en deeltjes in suspensie (mist) in schadelijke hoeveelheden, vermeden wordt.

4.7 Isolatieklassen

De grenswaarde van de werkingstemperatuur voor een isolatiemateriaal is de som van de maximum toegelaten temperatuur van het koelmiddel, de hoogst toegelaten temperatuurs-stijging en een veiligheidsmarge.

De veiligheidsmarge is afhankelijk van de gebruikte methode om de temperatuursmetingen omdat deze niet noodzakelijk de warmste plaats of de hoogste temperatuur in de wikkelingen aanduiden. De IEC 34-1 norm bevat aanbevelingen in verband met de te gebruiken methode voor de temperatuursmetingen in elk specifiek geval. De weerstandsmethode wordt meestal aanzien als de standaardmethode, andere methodes zoals de methode met ingebouwde temperatuursdetectors en de thermometermethode worden gebruikt indien de weerstands-methode niet toepasbaar is.

De maximaal toegelaten temperatuur van het koelmiddel is 40 °C indien het om lucht gekoelde motoren gaat en 25 °C bij watergekoelde motoren.

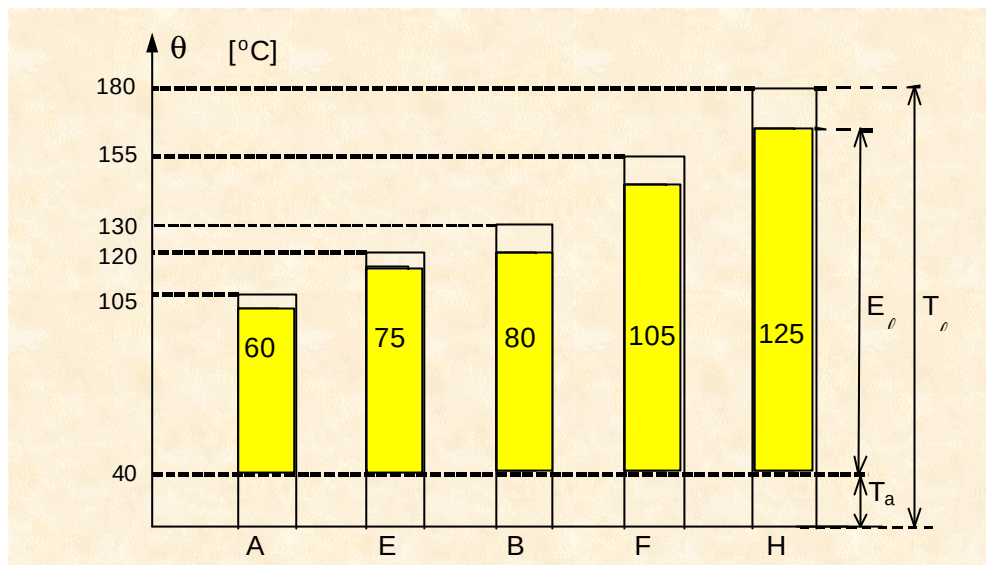
De grenswaarde van de werkingstemperatuur van een isolatiemateriaal is afhankelijk van de isolatieklasse waarin dit materiaal zich bevindt. Enkele voorbeelden zijn: zijde en papier (klasse A), glasvezel (klasse B), mica en aanverwanten (klasse F). De maximale temperatuur per isolatieklasse is vastgelegd in de IEC 85-2 (1984) norm (tabel 4.2).

Tabel 4.2 *Isolatieklassen en maximaal toegelaten werkingstemperatuur volgens IEC publicatie 85 tweede editie (1984)*

isolatieklasse	maximaal toegelaten temperatuur
A	105 °C
E	120 °C
B	130 °C
F	155 °C
H	180 °C

In figuur 4.14 is een diagram getekend van de grenstemperaturen voor de isolatieklassen A, E, B, F en H volgens de IEC 34-1 norm. Slechts een van de vele mogelijkheden wordt hier beschouwd namelijk luchtgekoelde inductiemachines (200 kW < vermogen < 5000 kW) waar-bij de temperatuur opgenomen is via de weerstandsmethode. T_a is de omgevingstemperatuur of de

temperatuur van het koelmiddel in °C, E_l is de limiet van de temperatuurstoename in K en T_l is de limiet van de werkingstemperatuur in °C.



figuur 4.14 Grenstemperaturen voor isolatieklassen A, E, B, F en H volgens de IEC 34-1 norm voor luchtgekoelde inductiemachines ($200 \text{ kW} < \text{vermogen} < 5000 \text{ kW}$), indien de temperatuur opgenomen is met de weerstands-methode

Standaardmotoren worden uitgevoerd met een isolatiemateriaal van de klasse F, met 105 K als limiet voor de temperatuursstijging. Om de levensduur van de windingen te vergroten, worden ze vervaardigd met hoogwaardig bewerkte draad, die een grotere veiligheidsmarge bezit dan die van de klasse F. De windingen worden geïmpregneerd door vacuümimpregnatie (VPI Vacuum Pressure Impregnation). De stator wordt in een vacuümklok geplaatst. Nadat alle vreemde stoffen verwijderd zijn, wordt het isolatiemateriaal onder druk toegevoerd, zodat alle holtes degelijk opgevuld worden. Dergelijke isolatie is zeer goed bestand tegen vochtigheid, corrosie, gassen, stoom en stof met geleidende eigenschappen. Het is tevens een effectieve bescherming tegen chemisch actieve stoffen.

Er dient opgemerkt dat de levensduur van het isolatiemateriaal, en dus ook van de motor, afhangt van de gemiddelde temperatuursstijging. Bij elke stijging van de temperatuur met 10 K boven de limiettemperatuur van het isolatiemateriaal, wordt de levensduur ongeveer gehalveerd. Overeenkomstig wordt de levensduur groter wanneer de temperatuur onder de limiettemperatuur blijft.

4.8 Koeling

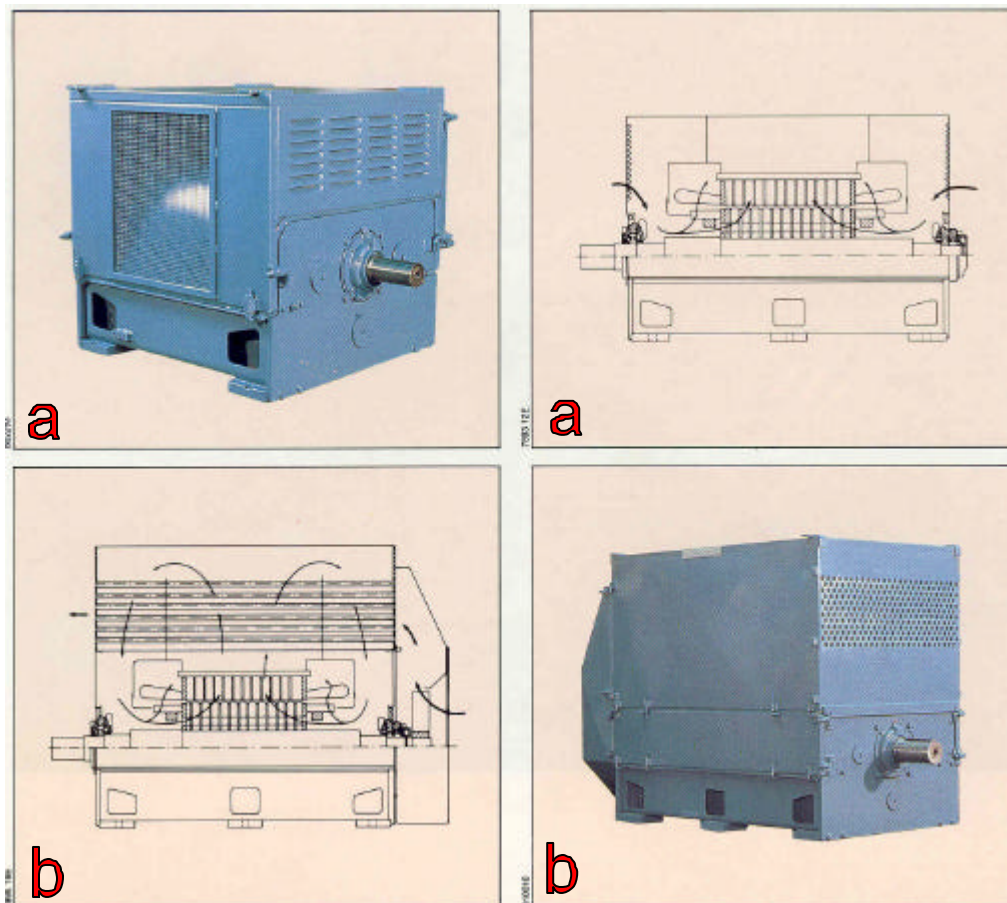
De verliezen die ontstaan in het elektrisch actief deel van een inductiemotor moeten afgevoerd worden naar de omgeving (NBN C51-101), vermits de opwarming de toegelaten grenzen van de gebruikte isolatiematerialen van de wikkelingen niet mag overschrijden. Om een hoge levensduur van de machine te verzekeren is het noodzakelijk de gepaste koeling te kiezen in functie van de grootte van de machine. In de motorenbouw onderscheidt men drie wijzen van koeling: lucht-, gas- en waterkoeling.

Een combinatie van deze methodes is niet uitgesloten. Buiten geleiding en convectie worden nog enkele procenten van de verliezen afgevoerd door straling. Wegens de lage toelaatbare temperatuursstijging voor geïsoleerde wikkelingen is dit echter onbeduidend.

De toepassing van een bepaalde soort koeling hangt niet alleen af van de grootte van de machine, maar ook van de constructie en wijze van gebruik.

Luchtkoeling wordt zowel toegepast bij open machines (IP 00 tot IP 23) als bij gesloten machines (vanaf IP 44). Bij open machines wordt de koellucht direct over de elektrisch actieve delen gevoerd, zodat de specifieke belasting merkkelijk groter is dan bij gesloten machines. Bij deze laatste moeten de verliezen van hun plaats van ontstaan door warmtegeleiding getransporteerd worden naar het luchtgekoelde buitenoppervlak, met als gevolg een groter temperatuursverschil tussen de wikkelingen en het machinehuis.

figuur 4.15 toont een buitengekoelde normmotor met ribbenkoeling.



figuur 4.15 *Inwendig gekoelde motor IP23S (a) en motor met warmtewisselaar IP 54 (foto ABB)*