



(12) PATENT

(19) NO

(11) 337148

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

H02K 21/12 (2006.01)  
H02K 29/03 (2006.01)

## Patentstyret

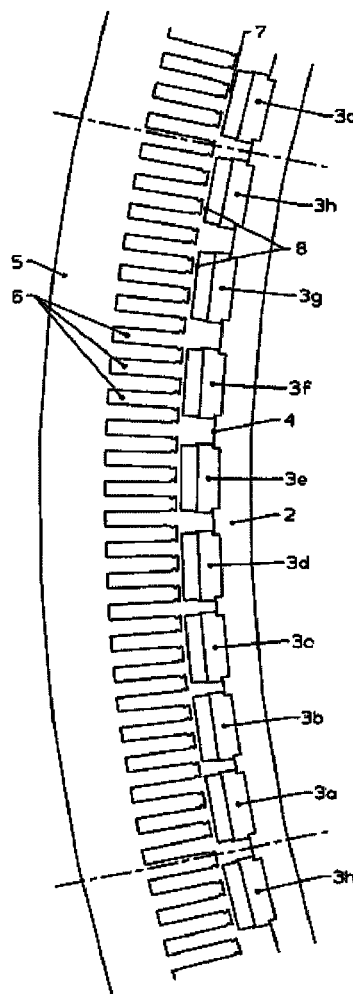
(21)	Søknadsnr	20071989	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	2007.04.18	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	2007.04.18	(30)	Prioritet	2006.04.18, GB, 0607545
(41)	Alm.tilgj	2007.10.19			
(45)	Meddelt	2016.02.01			
(73)	Innehaver	Converteam UK Ltd, Boughton Road, GB-CV211BU RUGBY, WARWICKSHIRE, Storbritannia			
(72)	Oppfinner	Paul Eaton Clark, 65 Edyvean Close, GB-CV226LD RUGBY, WARWICKSHIRE, Storbritannia			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			

(54) **Benevnelse** **Elektriske maskiner med redusert cogging**

(56) **Anførte publikasjoner**  
US 2002/074887 A1  
WO 2004/070921 A1  
US 5610464 A  
US 4769567 A  
JP 2003009440 A  
EP 872943 A1

(57) **Sammendrag**

Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en elektrisk maskin (1) med redusert cogging. Magnetpolene (3) til den elektriske maskinen innbefattes av minst to separate grupper av minst to omkretsmessig tilstøtende magnetpoler. En av de omkretsmessige ytre magnetpoler (3) i en av gruppene av magnetpoler er definert som å være i sin referanseposisjon. Referanseposisjonen til hver annen magnetpol (3) er definert som den posisjonen hver annen magnetpol vil oppta hvis alle magnetpolene var likt omkretsmessig anbrakt med mellomrom rundt det første eller andre legemet og den ene omkretsmessige ytre polen var i sin referanseposisjon. Minst en av de omkretsmessige ytre magnetpolene (3) i hver gruppe er plassert i sin referanseposisjon. Minst en magnetpol (3) i hver gruppe er en forskjøvet magnetpol og befinner seg i en posisjon som er forskyvbar fra dens referanseposisjon med en størrelse som ikke er lik et heltallsmultipel av viklingsslissenes referansevinkelsprang. Magnetpolenes (3) forskyvning tilveiebringer en uttalt reduksjon i cogging.



Foreliggende oppfinnelse angår permanentmagnetbaserte, roterende elektriske vekselstrømsmaskiner og minimalisering av coggingsmoment som oppvises i slike maskiner. Særlig angår den elektrisk maskiner med redusert cogging som følge av forskivning av maskinenes magnetpoler.

Et felles problem som påtreffes ved driften av elektriske maskiner er cogging. Cogging er tilstedeværelsen av ulineært magnetisk moment under maskinens drift som følge av virkningene av geometrien til rotoren og statoren ved luftgapet på fluksfordelingen og kreftene mellom rotoren og statoren. Spesielt forårsakes dette av at rotoren har foretrukne lavpotensialenergiposisjoner i forhold til statoren, hvor tiltrekningen mellom rotoren og statoren er ved maksimum, og tilsvarende høypotensialenergiposisjoner anbrakt mellom hver av lavenergiposisjonene. Det er forskjellen i potensialenergi mellom disse posisjonene som bestemmer coggingsmomentets størrelse. Cogging under driften av elektriske maskiner kan resultere i redusert viklingsgrad og pålitelighet, så vel som forårsaking av uønsket vibrasjon og støy, og i ekstremme tilfeller fullstendig svikt. Cogging er velkjent i maskiner i hvilke statoren, rotoren eller både statoren og rotoren oppviser en eller annen form for fremspring. Virkningen er også velkjent i induksjonsmaskiner i hvilke magnetpolene og viklingsspolene vekselvirker for å forårsake alvorlig cogging for bestemte antall bindingsslisser. Cogging er særlig utvalgt i maskiner som har et viklingsslissantall som er et heltallsmultipel av magnetpolantallet og hvor både viklingsslissene og magnetpolene er anbrakt med uniforme mellomrom rundt omkretsen til de legemer i hvilke de er dannet. Dette kommer av, på grunn av slike maskiners symmetri, når en magnetpol er i sin laveste potensialenergiposisjon i forhold til viklingsslissene, vil også alle de andre magnetpolene være i sin laveste potensialenergiposisjon og rotoren vil derfor være i den lavest mulige potensialenergiposisjonen i forhold til statoren. Videre innebærer dette at hvis det foreligger  $n$  viklingsslisser vil rotoren ha  $n$  lavpotensialenergiposisjoner i forhold til statoren og coggingsfrekvensen under driften av maskinen vil være et produkt av rotasjonsfrekvensen til rotoren og  $n$ .

Typiske permanentmagnetbaserte elektriske maskiner er dannet slik at rotoren er roterbart montert i statoren, idet magnetpolene er anbrakt uniformt med mellomrom rundt omkretsen til rotorens ytre overflate og viklingsslissene er anbrakt med uniforme mellomrom rundt omkretsen til statorens innerflate. Imidlertid er andre konstruksjoner også mulige. Eksempelvis er det mulig at rotoren er montert på roterbart vis utenfor statoren. Det er også mulig at magnetpolene kan bli festet til statoren og viklingsslissene være dannet i rotoren.

Med hensyn til cogging er konstruksjonshensynene for permanentmagnetbaserte elektriske maskiner i samsvar med en hver av disse konstruksjonene hovedsakelig de samme.

5 De faktorer som vil bli tatt i betraktning når det skal fattes avgjørelse om viklingsliss-  
antallet i en elektrisk maskin er generelt velkjente. Eksempelvis er det kjent at når en  
elektrisk maskin har et viklingslissantall som er et heltallsmultippel av dens magnet-  
polantall vil den magnetomotive kraft (m.m.f.) som blir skapt av maskinens statorvikling  
under drift inneholde et minimalisert antall harmoniske men maskinen kan også erfare  
uttalt cogging under drift.

10

En rekke forskjellige fremgangsmåter for minimalisering av cogging har blitt foreslått og  
implementert ved forskjellig grad av vellykkethet. For enkelte maskintyper er det mulig å  
minimalisere cogging ved å ha et viklingslissantall som ikke er et heltallsmultippel av  
magnetpolantallet. Slike viklinger blir generelt omtalt som å innbefatte ”fraksjonsslisser  
15 per pol per fase” og er velkjent for fagkyndige på området. Imidlertid kan dette i enkelte  
tilfeller være uforetrukket, eller ikke mulig. I storskalaelektriske maskiner er for eksempel  
valgmulighetene for å ha forskjellige viklingslissantall som ikke er multippel av magnet-  
polantallet svært begrenset ettersom de usynkrone luksemønstre som kommer som resultat  
av slike endringer i viklingslissantallet ubønhørlig vil føre til tilleggskap i magnetpolene.  
20 Disse tapene kan være ekstremt høye og kan til og med gjøre fremgangsmåten ubrukbar.

20

En alternativ fremgangsmåte for reduisering av cogging er å inkorporere magnetiske kilder  
i viklingslissene men denne fremgangsmåten er kostbar. Det er også mulig å bruke ”halv-  
lukkede” viklingslisser for å redusere cogging, men for de viklingstyper som innbefatter  
25 formede spoler og er vanlige i store maskiner kan denne viklingslissetypen føre til en  
utakseptabel høy viklingskostnad. Permanentmagnetmaskiner som har magnetpoler  
spesielt formet for å redusere cogging har også blitt foreslått. Vanligvis er det foreslått at  
magnetpolenes ytre overfalte blir dannet slik at luftgapet mellom statoren og magnetpolene  
ikke er uniform. En annen fremgangsmåte for minimalisering av coggingsmoment i  
30 permanentmagnetbaserte elektriske maskiner er å ha magnetene festet avvikende fra sitt  
kommersielle arrangement. Eksempelvis beskriver det japanske patentet 2005-261188 en  
maskin med redusert cogging hvor magnetene er anbrakt annerledes slik at de ikke er  
parallelle med maskinens akse.

30

35 En ytterligere fremgangsmåte for minimalisering av coggingsmoment er beskrevet i US-  
patent nr. 4,713,569. Dette patentet beskriver en elektrisk vekselstrømsmotor med en  
permanentmagnetrotor som rommer et flertall magnetpoler som vinkelmessig er forskjøvet

fra sine referanseposisjoner med en størrelse som er avhengig av magnetpolantallet og statorpolantallet (viklingsslissene) i maskinen. Referanseposisjonene til magnetpolene er de posisjoner hvor de ville vært plassert om de var anbrakt omkretsmessig med jevne mellomrom. Særlig er de elektriske maskiner i samsvar med dette patentet hver magnetpol

5 forskjøvet fra sin referanseposisjon med forskjellige størrelser, hvor de forskjellige størrelsene alle er heltallsmultipler av  $360^\circ$  delt med produktet av statorpolantallet (viklingsslissantallet) og magnetpolantallet, slik at ingen magnetpol er forskjøvet fra sin referanseposisjon med mer enn statorpolens (viklingsslissenes) sprang. Det bestemte eksempelet som er gitt i spesifikasjonen er en elektrisk vekselstrømsmotor med en

10 permanentmagnetrotor med 8 magnetpoler og en stator med 24 poler (viklingsslisser) og hvor magnetpolene er forskjøvet fra sine referanseposisjoner med heltallsmultipler av  $1,875^\circ$  ( $360^\circ/(24 \times 8)$ ) slik at ingen to poler er forskjøvet fra sine referanseposisjoner med den samme størrelsen og den (nominelle) åttende magnetpolen er forskjøvet fra sin referanseposisjon med en størrelse som er lik statorpolens (viklingsslissens) vinkelsprang.

15

Den rotorkonstruksjonen som er beskrevet i US-patent nr 4,713,569 tilveiebringer en betydelig reduksjon i coggingsmoment sammenlignet med konvensjonelle elektriske maskiner med magnetpoler med uniforme mellomrom. I de fleste tilfellene vil imidlertid denne rotorkonstruksjonen ikke være foretrukket for den konvensjonelle konstruksjonen på grunn av

20 dens påvirkning på andre konstruksjonsforhold. Eksempelvis resulterer denne konstruksjonen i fullstendig asymmetri av posisjoneringen av magnetpolene rundt rotoren. Hvis den elektriske maskinen er tiltenkt brukt for høyhastighetsanvendelser er denne asymmetrien uønsket ettersom den betyr at magnetpolarrangementet ikke er mekanisk balansert. Denne fullstendige asymmetri resulterer også i et uttalt harmonisk innhold i enten den m.m.f. som

25 blir skapt av statorviklingen hvis maskinen er en rotor eller i den elektromotive kraft (e.m.f.) sin bølgeform som blir dannet i statorviklingen hvis maskinen er en generator.

Rotorkonstruksjonen til US-patent nr. 4,713,569 kan heller ikke bli foretrukket på grunn av separasjonen av de første og siste magnetpoler som definert i det patentet. Dette skyldes at

30 vinkelseparasjonen mellom disse to magnetpoler er betydelig mindre enn i en konvensjonell elektrisk maskin med magnetpoler anbrakt med uniforme avstander. Særlig er separasjonen mellom disse to poler mindre enn det uniforme mellomrom med en størrelse som er lik viklingsslissespranget. Avhengig av vinkelbredden til de magneter som danner disse magnetpolene kan dette føre til at de to magnetpolene er i kontakt med eller kommer

35 imot hverandre, som generelt er uønskelig, slik det vil bli drøftet senere.

Til slutt fører også det strenge krav for posisjonering av magnetpolene til en mangel på fleksibilitet i konstruksjonen av maskiner i samsvar med US-patent nr. 4,713,569. Det vil si at posisjonene til magnetpolene ikke kan bli endret som svar på andre konstruksjons-hensyn.

5

Hver av US 2002/0074887 A1, WO 2004/070921 A1 og US 5,610,464 vedrører en roterende elektrisk maskin, hvor coggingsmomentet reduseres ved å styre arrangementet av eller mellomrommet til magnetpolene rundt rotorens overflate.

- 10 Hovedtrekkene ved oppfinnelsen fremgår av det selvstendige krav. Ytterligere trekk ved oppfinnelsen er angitt i de uselvstendige krav.

Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en elektrisk maskin som inkluderer et første legeme med et flertall viklingslisser anbrakt med mellomrom omkretsmessig og et flertall magnetpoler anbrakt i avstand omkretsmessig dannet ved dens radielt indre overflate, og et andre legeme som er lokalisert i det første legemet og som har de andre av flertallet av viklingslisser anbrakt med avstand omkretsmessig og flertallet av de med avstand anbrakt omkretsmessige permanentmagnetpoler dannet ved dens radielle ytre overflate, hvor en av det første legeme og det andre legemet er en rotor og på roterende vis festet til den andre av de første legemet og det andre legemet som er en stator og som er festet stillestående, hvilke viklingslisser har et referansevinkelsprang som er likt  $360^\circ$  delt med antallet av viklingslisser i den elektrisk maskinen, hvilke magnetpoler inkluderer minst to separate grupper, hvor hver gruppe inkluderer minst to omkretsmessig tilstøttende magnetpoler, hvor hver magnetpol har en referanseposisjon hvor referanseposisjonene er i lik avstand fra hverandre rundt omkretsen til legemet på hvilket magnetpolen er dannet, hvor minst en av de omkretsmessige ytre magnetpolene i hver gruppe er lokalisert i sin referanseposisjon, og minst en magnetpol i hver gruppe er en forskjøvet magnetpol og er lokalisert i en posisjon som er forskjøvet fra dens referanseposisjon med en størrelse som ikke er lik et entalls-multippel av viklingslissenes referansevinkelsprang.

30

Magnetpolene kan bli dannet på statoren og viklingslissene kan bli formet i rotoren. Imidlertid er det generelt foretrukket at magnetpolene er dannet på rotoren og viklingslissen er dannet i statoren. For å gjøre det enkelt å forstå oppfinnelsen, viser den følgende drøfting av forhold som angår elektrisk maskiner i henhold til foreliggende oppfinnelse til elektriske maskiner som har dette andre arrangementet. Imidlertid skal det være klart at elektriske maskiner i samsvar med foreliggende oppfinnelse også kan være konstruert i

35

henhold til det første arrangementet, og at den følgende drøfting gjelder likeledes for begge arrangementer med mindre noe annet er spesifisert.

- Det er tenkt at det generelt vil være foretrukket at elektriske maskiner i henhold til fore-
- 5 liggende oppfinnelse vil være konstruert slik at det første legemet er statoren og det andre legemet er rotoren. Det vil si, at rotoren er montert på roterbart vis i statoren. Imidlertid er det klart at elektriske maskiner i henhold til foreliggende oppfinnelse hvor rotoren er det første legemet og er montert på roterbart vis på utsiden av det andre legemet, som er statoren, er like mulige og kan til og med være foretrukket for enkelte anvendelser. Den
- 10 følgende drøftelse gjelder likt begge konfigurasjoner, med mindre annet er spesifisert. Definisjonene av magnetpolantallet i hver magnetpolgruppe og hvorvidt en enkelt magnetpol er en forskjøvet pol eller en omkretsmessig ytre pol som er i sin referanseposisjon kan være noe vilkårlig. I enkelte legemliggjøringer av foreliggende oppfinnelse kan magnetpolantallet rommet i hver gruppe av magnetpoler være umiddelbart tydelig, for eksempel
- 15 hvis hver gruppe av magnetpoler rommer det samme magnetpolantallet og magnetpolen i hver gruppe er forskjøvet i det samme mønsteret. Hvis magnetpolantallet i hver gruppe er tydelig så ved på vilkårlig vis å definere en enkelt magnetpol som en omkretsmessig ytre magnetpol som er i sin referanseposisjon, så, som en konsekvens av denne definisjonen, vil alle andre magnetpolers natur være definert på automatisk måte. Eksempelvis, hvis det
- 20 foreligger 8 magnetpoler i hver gruppe og hver gruppe har et identisk forskyvningsmønster, så, ved å definere en enkelt magnetpol som en omkretsmessig ytre magnetpol som er i sin referanseposisjon, vil naturen til alle andre magnetpoler også være definert avhengig av deres posisjoner relativ til den nevnte magnetpol.
- 25 Videre, som angitt over, har hver elektrisk maskin i henhold til foreliggende oppfinnelse et antall magnetpoler som er forskjøvet og kan også ha et antall magnetpoler som ikke er forskjøvet og som ikke er omkretsmessig ytre magnetpoler. Disse "uforskjøvede" magnetpoler befinner seg i sine referanseposisjoner. Definisjonen av referanseposisjonen til hver magnetpol er også forholdsvis vilkårlig men det hjelper til for forståelsen av konstruksjonen av elektriske maskiner i henhold til foreliggende oppfinnelse. Referanseposisjonen
- 30 til hver magnetpol kan videre bli forstått på den følgende måte. Konstruksjonen av en elektrisk maskin i henhold til foreliggende oppfinnelse kan bli betraktet som å være dannet ved å ta konstruksjonen av rotoren til en konvensjonell elektrisk maskin som har magnetpolene likt anbrakt i avstand fra hverandre rundt sin omkrets og omkretsmessig å forskyve
- 35 noen av magnetpolene. Den posisjonen der magnetpol ville ha overtatt i denne konvensjonelle elektriske maskinen er dens referanseposisjon. Det vil si, referanseposisjonene har lik avstand fra hverandre rundt omkretsen til det legeme på hvilket de er dannet. De

magnetpoler som ikke opptar sine referanseposisjoner er forskjøvede magnetpoler. På denne måten kan de forskjøvede magnetpolene, magnetpolgruppene og referanseposisjonen til hver magnetpol bli definert på enkelt vis.

- 5 Vinkelspranget til et hvilket som helst objekt defineres som den vinkelmessige eller lineær-  
omkretsmessige atskillelse av de ekvivalente punktene på to tilstøtende omkretsmessig i  
avstand fra hverandre beliggende objekter. Derfor defineres viklingsslissespranget som den  
omkretsmessige atskillelse mellom de ekvivalente punktene på to tilstøtende viklings-  
10 viklingsslissespranget være definert som den omkretsmessige atskillelse mellom slisse-  
midtlinjene til to tilstøtende viklingsslisser som målt rundt overflaten til det legemet i  
hvilket de er dannet. Viklingsslissespranget kan også bli uttrykt som en vinkel som, hvis  
uttrykt i radianer, er lik det lineære viklingsslissespranget delt med radien til det legemet i  
hvilket slissen er dannet. Viklingsslissenes referansevinkelsprang, når uttrykt i grader, er  
15 lik  $360^\circ$  delt med det antall viklingsslisser som rommes i maskinen og, når uttrykt i  
radianer, er lik  $2\pi$  delt med viklingsslisseantallet.

Viklingsslissene vil fortrinnsvis hver være identiske og anbrakt uniformt i avstand fra  
hverandre. Det vil si, at deres faktiske sprang vil være lik deres referansesprang. Imidlertid  
20 er elektriske maskiner som har viklingsslisser som er ikke-identiske og/eller er anordnet  
med ikke-uniforme mellomrom også mulige. Tilstedeværelsen av viklingsslisser med ikke-  
uniforme mellomrom vil også påvirke driften og atferden til elektriske maskiner i samsvare  
med følgende oppfinnelse på hovedsakelig det samme vis som for konvensjonelle  
elektriske maskiner, slik det vil fremstå klart for en fagkyndig på området. Ettersom  
25 posisjoneringen av viklingsslissene påvirker driften av maskiner i henhold til foreliggende  
oppfinnelse må dette også bli hensyn tatt sammen med andre konstruksjonsbetraktninger  
som er blitt beskrevet i denne spesifikasjonen når det defineres forskyvningsmønsteret til  
magnetpoler i en elektrisk maskin i henhold til foreliggende oppfinnelse.

30 Elektriske maskiner ifølge foreliggende oppfinnelse vil generelt ha et antall viklingsslisser  
som er et heltallsmultipel av magnetpolantallet. Imidlertid, for enkelte maskiner i henhold  
til foreliggende oppfinnelse kan det også være mulig å redusere cogging ytterligere ved å  
ha et antall viklingsslisser som ikke er et heltallsmultipel av magnetpolantallet, dvs. en  
vikling som er en ”fraksjonell slisse per pol per fase”. Imidlertid vil slike konstruksjoner  
35 generelt ikke være foretrukne, eller til og med mulige ettersom de ikke-synkrone fluks-  
mønstrene som kommer som resultat av ”fraksjonelle slisser per pol per fase”-viklinger  
uunngåelig fører til tilleggstep i magnetpolene, som drøftet tidligere.

Magnetpolenes referansevinkelsprang defineres som  $360^\circ$  delt med magnetpolantallet i maskinen.

5 Tilstedeværelsen av forskjøvne magnetpoler i maskiner i henhold til foreliggende opp-  
 finnelser fører til en reduksjon i cogging på grunn av dens virkning på potensialenergien til  
 de relative posisjoner av rotoren i forhold til statoren. Særlig reduserer forskyvningen av  
 magnetpolene størrelsen av potensialenergiforskjellen mellom rotorens høyeste og laveste  
 10 potensialenergiposisjoner i forhold til statoren. Dette skyldes at når magnetpolene ikke har  
 uniforme mellomrom rundt rotorens omkrets, når en individuell magnetpol er i sin lavest  
 mulige potensialenergiposisjon i forhold til viklingssslissene vil en hver annen magnetpol  
 som er forskjøvet fra sin referanseposisjon i forhold til denne individuelle magnetpolen  
 med en størrelse som ikke er et heltallsmultiplum av viklingssslissespranget være i en høyere  
 potensialenergiposisjon i forhold til viklingsslissen. Dette betyr at rotorens samlede  
 15 potensialenergi i denne posisjonen vil være hevet i forhold til den ekvivalente posisjonen  
 til en rotor som har magnetpoler med uniforme mellomrom ved heltallsmultipler av  
 viklingssslissespranget. Et likeverdig argument eller for høyenergiposisjonene til rotoren.  
 Det vil si, tilstedeværelsen av forskjøvne magnetpoler senker energien til rotorens høy-  
 potensialenergiposisjoner i forhold til statoren.

20

Hevingen av lavpotensialenergiposisjonenes energi og senkningen av høypotensial-  
 energiposisjonenes energi for rotoren i forhold til statoren fører til en reduksjon i coggings-  
 momentet. Størrelsen av reduksjonen i coggingsmomentet er avhengig av det bestemte  
 forskyvningsmønsteret til magnetpolene som blir brukt i maskinen men det kan være  
 25 meget tydelig. Magnetpolenes forskyvning resulterer også i en økning i coggingsfrekvens  
 ettersom forskyvningen av enkelte av magnetpolene fører til en økning i antallet lav- og  
 høypotensialenergiposisjoner for rotoren i forhold til statoren.

Virkningsgraden av magnetpolenes forskyvning hva angår redusering av cogging blir også  
 30 påvirket av et antall tilleggsfaktorer som også må bli tatt i betraktning. Slike faktorer inklu-  
 derer bredden til hver magnetpol i forhold til viklingssslissespranget og viklingsslisse-  
 åpningens forhold til viklingssslissespranget. Disse parametrene påvirker innretningen av  
 m.m.f. mønsteret til magnetpolene med de permeansvariasjoner som forårsaker av viklings-  
 slissebredden, som i sin tur påvirker størrelsen av lav- og høypotensialenergiposisjonenes  
 35 energi. Det eksisterer mange viklingsslissefasonger som er i vanlig bruk og hvis virkninger  
 vil være velkjente for de som er fagkyndige innenfor denne teknikken.

Selv om, teoretisk sett, det minimalt mulige coggingsmomentet oppnås hvis hver magnetpol er forskjøvet med mindre enn viklingslissespranget og med en avvikende størrelse, som i en elektrisk maskin ifølge US-patent nr. 4,713,569, av de årsaker som har blitt drøftet tidligere, blir dette mønster vanligvis ikke foretrukket. Forskyvningen av magnetpolene som definert her er generelt å foretrekke ettersom den muliggjør konstruksjon av statoren eller rotoren på en enklere måte og dessuten kan forskyvningsmønsteret i henhold til foreliggende oppfinnelse bli tilstrekkelig enkel til å muliggjøre enkel modellering og analyse av maskinens atferd. Hvis forskyvningen av magnetpolene rundt rotoren eller statoren er for kompleks, kan datamaskinanalyse av atferden til maskinen under drift bli svært vanskelig, selv om det i prinsippet kan være mulig. Hvis maskinens atferd ikke kan bli analysert på enkel måte, er det vanskelig å modifisere konstruksjonen som svar på andre forhold, slik som for eksempel spenningsbølgeformharmoniske.

Hvis en elektrisk maskin i henhold til foreliggende oppfinnelse er tenkt brukt for høyhastighetsanvendelse, er det foretrukket at magnetpolarrangementet ikke resulterer i at rotoren blir mekanisk ubalansert. Dette kan bli sikret ved å ha de magneter som danner magnetpolene forskjøvet rundt rotoren i et mønster som har i det minste tofoldsrotasjonssymmetri om sin akse. En løsning for oppnåelse av denne symmetrien er å ha en rotor med det samme magnetpolantallet i hver gruppe og det samme forskyvningsmønsteret til magnetpoler i hver gruppe, som beskrevet i forskyvningsmønstrene under.

Rotorer med rotasjonssymmetriske forskyvningsmønstre av magnetpoler er også foretrukne ettersom de generelt er forholdsvis enkle å konstruere. Dessuten tillater forskyvning av magnetpolene på en rotasjonssymmetrisk måte andre konstruksjonsbetraktninger, slik som forutsigbarheten av atferden og minimaliseringen av harmonisk generering, som skal bli tilfredsstillende samtidig som det muliggjør oppnåelse av en betydelig reduksjon i coggingsnivået. Viktigheten av disse andre konstruksjonsbetraktninger betyr at rotasjonssymmetrisk forskyvning av magnetpolene ofte er foretrukket når mekanisk balanse ikke er et viktig spørsmål i konstruksjonen av en elektrisk maskin i henhold til foreliggende oppfinnelse, som for eksempel i store lavhastighetsmaskiner.

Forskyvningen av magnetpolene i en elektrisk maskin påvirker ikke kun coggingsmomentet men også en rekke andre konstruksjonsbetraktninger. Derfor vil valget av et forskyvningsmønster av magnetpolene for en elektrisk maskin i henhold til foreliggende oppfinnelse generelt kreve et kompromiss mellom produksjon av coggingsmomentet og disse andre konstruksjonsbetraktninger. Eksempelet på slike betraktninger er det harmo-

niske innhold i den e.m.f.-bølgeform som blir skapt i statorviklingen hvis maskinen er en generator, det harmoniske innhold i den m.m.f. som blir skapt av statorviklingen hvis maskinen er en motor, og prisen og kompleksiteten av maskinens konstruksjon.

- 5 Som et eksempel på slike konstruksjonsbetraktninger angår den følgende drøfting de spørsmål som påvirker e.m.f.-bølgeformen som blir skapt i viklingen til en generator.

Når magnetpolene og viklingsslissene til en generator har uniforme mellomrom, som i en konvensjonell generator, inneholder det omkretsmessige m.m.f.-kraftmønsteret som blir skapt av rotoren under driften av generatoren kun magnetpolantallgrunnfrekvensen og dens ulike harmoniske. Imidlertid, hvis viklingsslissen har uniforme mellomrom og magnetpolene ikke, slik det er mulig i maskiner i henhold til foreliggende oppfinnelse, vil andre frekvenser også være til stede. Dette kan forårsake en overdreven fordeling av spenningsbølgeformen i statorviklingen som oppstår fra delharmoniske frekvenser og multipler av disse. Imidlertid, som drøftet under, er det mulig at statorviklingsfasene i elektriske maskiner i henhold til foreliggende oppfinnelse kan være koblet slik at en vesentlig del av de uønskede frekvensene elimineres eller minimaliseres.

Statorviklingsfasene i en elektrisk maskin kan være koblet i en eller flere parallellkretser i hvilke spolene er koblet slik at det harmoniske innhold til den e.m.f.-bølgeform som blir generert i statorviklingen blir minimalisert. Eksempelvis, hvis det valgte forskyvningsmønsteret til magnetpolene i en generator i samsvar med foreliggende oppfinnelse er slik at det foreligger et mangfold grupper av magnetpoler som hver inneholder det samme antall magnetpoler og hver har det samme forskyvningsmønster, så er det foretrukket at statorviklingsfasene er koblet slik at viklingspolgruppeantallet i serie i hver krets er lik med, eller er et multiplum av magnetpolantallet i hver magnetpolgruppe. Denne koblingen av statorviklingsfasene sikrer at den e.m.f.-bølgeform som blir skapt i statorviklingen inneholder kun polantallgrunnfrekvensen og dens heltallsharmoniske.

Dessuten, ettersom forskjøvede magnetpoler kan føre til liketallsharmoniske i deres m.m.f.-mønster, kan bruken av 100 %-spranganordnede statorspoler, det vil si, spoler som har sine to sider i viklingsslisser som er atskilt med magnetpolenes referansevinkelsprang, være foretrukket ettersom de sikrer at den e.m.f.-bølgeform som blir skapt i statorviklingen ikke inneholder liketallsharmoniske av polantallsgrunnfrekvensen.

35

Bruken av en stjernekoblet 3-fasetatorvikling bør sikre at den 3.-harmoniske av polantallgrunnfrekvensen og dens heltallsmultipler (trippel-n-harmoniske) ikke kan flyte i

statorviklingen og at en generator med en statorvikler koblet på denne måten ikke vil ha trippel-n-harmoniske i sin linje-linje-spenningsbølgeform. Denne bestemte viklingen er gitt kun som et eksempel. Virkningen av e.m.f.-harmoniske på forskjellige viklingskonfigurasjoner og viklinger med forskjellige parantall er velkjente og vil enkelt bli forstått av fagkyndig innenfor denne teknikken.

Alternativt, spranganordning av statorspolene ved 2/3-deler av referansevinkelspranget til magnetpolene vil også eliminere fremstilling av trippel-n-harmoniske i stator-e.m.f. slik visse former av innfelte (eller inndelte) viklinger blir røret, idet detaljer om slike er tilgjengelige i publikasjonen med tittelen "Alternating Current Machines" av M.G.Say, og bør være velkjente for en fagkyndig på området. Imidlertid fører det å ha statorspoler i sprang ved 2/3-deler av referansevinkelspranget til magnetpolene på denne måten føre til en betydelig reduksjon av maskinens merkeeffekt og formene til innfellede viklinger som eliminerer i trippel-n-harmoniske er vanligvis upraktiske for anvendelse i storskala-maskiner med høyt magnetpolantall.

På denne måten vil en generator i henhold til foreliggende oppfinnelse som har et forskyvningsmønster av magnetpolene slik at det foreligger et flertall grupper av magnetpoler hvor hver gruppe inneholder det samme magnetpolantallet og det samme forskyvningsmønster og som har 100 %-sprangdelte statorspoler, en stjernekoblet 3-fase-staorvikling og statorspoler som er koblet slik at antallet av viklingspolgrupper i serie i hver kritisk er lik med, eller et multippel av magnetpolantallet i hver gruppe av magnetpoler, skape en e.m.f.-bølgeform i statorviklingen som inneholder kun polantallgrunnfrekvensen, og dens 5., 7., 11. og 13., etc. harmoniske når det er i drift.

Det er også klart at drøftingen over av antallet på koblingen av statorviklingsfasene og spranginnretningen av statorspolene for å kontrollere de harmoniske i den e.m.f.-bølgeform som blir skapt i statorviklingen ikke er tenkt å skulle være uttømmene og er inkludert kun som et eksempel på de betraktninger som inngår i den angitt konstruksjon av en generator i henhold til foreliggende oppfinnelse. Fremgangsmåtene for å koble statorviklingsfasene og spranginnndelingen av statorspolene for å minimalisere uønskede harmoniske i den e.m.f.-bølgeform som ble skapt i statorviklingen til en generator er velkjente og kan enkelt bli anvendt på foreliggende oppfinnelse av en person som er fagkyndig på dette området. Dessuten er det også klart av selv om avsnittet over drøfter minimalisering av uønskede harmoniske i den e.m.f.-bølgeform som blir skapt i statorviklingen til en generator i henhold til foreliggende oppfinnelse, er konstruksjonsbetraktningene for minimaliseringen av uønskede i m.m.f.-harmoniske skapt av statorviklingen i en motor i henhold til fore-

liggende oppfinnelse nøyaktig likeverdig. En fagkyndig på dette teknikkområdet vil straks være i stand til å anvende de fremgangsmåter som er drøftet over på en motor i henhold til foreliggende oppfinnelse for å minimalisere de uønskede m.m.f.-harmoniske på en tilsvarende måte.

5

Dessuten, på tross av muligheten for eliminering av en vesentlig del av det uønskede harmoniske innhold i den e.m.f.-bølgeform som blir skapt i generatorer i henhold til foreliggende oppfinnelse og den m.m.f. som blir skapt av motorer i henhold til foreliggende oppfinnelse ved bruk av de ovennevnte metoder, kan det allikevel være nødvendig å velge et magnetpolforskyvningsmønster som reduserer i et coggingsmoment som er større enn det minimum som er mulig for å oppnå et akseptabelt harmonisk innhold. For tiden er dette mulig fordi en akseptabel reduksjon i cogging kan bli oppnådd ved forholdsvis enkle forskyvningsmønstre av magnetpoler som er beskrevet under. Disse mønstre reduserer ikke coggingsmomentet til det absolutt minimum som er mulig men tilveiebringer den betydelig reduksjon i coggingsmomentet samtidig som de også er akseptable med hensyn til andre konstruksjonsbetraktninger. Imidlertid vil man innse at i enkelte tilfelle kan det være påkrevd å redusere coggingsnivået ytterligere og så kan andre forskyvningsmønstre være foretrukne. Eksempelvis kan forskyvningsmønstre som inneholder større polgruppeantall eller har grupper som inneholder forskjellige polantall være foretrukne og disse arrangementer på lik måte mulige i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Et sett av foretrukne legemliggjøringer av en rotor i henhold til foreliggende oppfinnelse har et flertall av grupper med åtte magnetpoler, hvor hver gruppe inneholder det samme forskyvningsmønsteret. Dette forskyvningsmønsteret tilveiebringer en forholdsvis enkel konstruksjon av en rotor, en betydelig reduksjon i cogging og blir fortrinnsvis brukt i sammenheng med en statorvikling med parallellkretser med åtte poler eller multipler av disse. Et foretrukket forskyvningsmønster til en gruppe av magnetpoler rommet i rotoren dannet på denne måten er som følger:

Magnetpolantall i hver gruppe	1	2	3	4	5	6	7	8
Medurs forskyvning fra referanseposisjonen (referansevinkelviklings-slissesprang)	0	1/4	1/2	3/4	3/4	1/2	1/4	0

En rotor med sine magnetpoler forskjøvet i henhold til dette mønsteret vil ha en firedel av sine magnetpoler som ikke er forskjøvet og som befinner seg i sine referanseposisjoner. Tre fjerdedeler av magnetpolene vil være forskjøvede magnetpoler og av disse vil en fjerdedel være forskjøvet fra sin referanseposisjon med  $\frac{1}{4}$  av referanse-  
 5 vinkelviklingslissespranget (det vil si referansevinkelspranget til viklingssslissene),  $\frac{1}{4}$  del vil være forskjøvet med  $\frac{1}{2}$  av referansevinkelviklingslissespranget og den siste fjerdedelen vil være forskjøvet med  $\frac{3}{4}$  av referansevinkelviklingslissespranget. Derfor øker dette for-  
 skyvningsmønsteret antallet av foretrukne lavpotensialenergiposisjoner mellom rotoren og  
 10 statoren med en faktor fire sammenlignet med maskin med magnetpoler med mellomrom uniform rundt omkretsen. Dette resulterer i en firefoldig økning i coggingsfrekvensen. Imidlertid, resulterer også dette forskyvningsmønsteret i en betydelig reduksjon i for-  
 skjellen i størrelsene til tiltrekningen mellom rotoren og statoren når rotoren er i sine lav-  
 og høypotensialenergiposisjoner i forhold til statoren. Dette fører til en vesentlig og bety-  
 15 delig reduksjon i størrelsen av coggingsmomentet når en maskin i henhold til foreliggende oppfinnelse med sine magnetpoler forskjøvet i henhold til det mønster som er angitt over er i drift.

Endelig elementanalyse av dette forskyvningsmønsteret har vist at dette er særlig virknings-  
 20 fullt i elektriske maskiner som inneholder viklingssslisser med uniforme mellomrom, tre viklingssslisser på hver magnetpol, med magnetpoler som er  $\frac{3}{4}$  av bredden til referansevinkelmagnetpolspranget (dvs. referansevinkelspranget til magnetpolene) og har viklingslissåpninger som har en omkretsmessig bredde som er  $\frac{1}{2}$  av referansevinkel-  
 viklingslissespranget.

25 Dette forskyvningsmønster kan bli forstått som hver magnetpol er forskjøvet fra sin nominelle referanseposisjon i den samme retning med en størrelse i henhold til den foreliggende formel.

30 
$$D = \frac{2(p-1)}{N}$$

Der:

$D$  = den vinkelmessige forskyvning (i viklingslissesprang) til polen fra dens referanseposisjon,

35  $N$  = antallet av magnetpoler i gruppen, og

$p$  = magnetpoltallet innenfor gruppen, telt fra den nærmest tilstøtende polen.

(Verdiene for  $p$  for en gruppe med åtte magnetpoler kan bli forstått med henvisning til fig. 1, som viser  $p$ -verdien for hver magnetpol i en gruppe med åtte magnetpoler i en maskin i samsvar med foreliggende oppfinnelse).

5

Denne formelen kan gjøre gjeldende for en hver gruppe av magnetpoler som inneholder minst fire magnetpoler. Den gir et forskyvningsmønster som består av en progressiv økning i den vinkelmessige forskyvning av polene rundt hver gruppe, etterfulgt av en likeverdig progressiv reduksjon tilbake til null. En progressiv økning i den vinkelmessige separasjon etterfulgt av en likeverdig progressiv reduksjon foretrekkes ettersom den kan sikre adekvat separering av magnetpolene hvis kombinert med et passende valg av magnetpolbredde.

10

Den nødvendige vinkelmessige separasjon mellom tilstøtende magnetpoler er avhengig av den enkelte konstruksjon av hver elektrisk maskin. Generelt bestemmes den nødvendige separasjonen hovedsakelig av behovet for å styre størrelsen av flukslekkasjen mellom tilstøtende poler. Det vil si, for å holde flukslekkasjen mellom tilstøtende poler innenfor akseptable konstruksjonsparametere er det vanligvis foretrukket at tilstøtende magnetpoler i vesentlig grad er separert. Imidlertid skal det være klart at det er mulig å bygge elektriske maskiner i samsvar med foreliggende oppfinnelse som inneholder par av tilstøtende magnetpoler som er i kontakt med hverandre, eller som ligger meget nær hverandre.

20

De fiksaturer som blir brukt for å feste magnetpolene til rotoroverflaten kan også påvirke deres vinkelmellomrom og derav valget av magnetpolenes forskyvningsmønster.

25

Ettersom minimumsseparasjonen til magnetpolene i henhold til foreliggende oppfinnelse bestemmes av de ovenfor angitte betraktninger, medvirker disse betraktninger også til å bestemme maksimalforskyvningen til en hver individuell magnetpol fra dens referanseposisjon. Selv om forskyvningsmønsteret over, som definert av ligningen over, krever at ingen magnetpol forskyves med mer enn referansevinkelviklingsslissespranget skal det være klart at forskyvningsmønsteret som rommer magnetpoler forskjøvet med mer enn denne størrelsen er mulig så lenge den minimalt ønskelig vinkelseparasjonen av magnetpolene opprettholdes. Eksempelvis, i maskiner i henhold til foreliggende oppfinnelse ved å ha et forskyvningsmønster av magnetpoler som inneholder grupper av tolv eller flere magnetpoler er det mulig å ha magnetpoler forskjøvet med mer enn referansevinkelviklingsslissespranget uten å redusere minimumsmellomrommet mellom to tilstøtende

35

magnetpoler med mindre enn en fjerdedel av referansevinkelviklingslissespranget, som vist i forskyvningsmønsteret under.

Magnetpolnummer innenfor hver gruppe	1	2	3	4	5	6
Medurs forskyvning fra referanseposisjon (vinkelmessige viklingslissesprang)	0	1/4	1/2	3/4	1	5/4

Magnetpolnummer innenfor hver gruppe	7	8	9	10	11	12
Medurs forskyvning fra referanseposisjonen (vinkelmessig viklingslissesprang)	5/4	1	3/4	1/2	1/4	0

5

Alternativt kan grupper av magnetpoler som inneholder annet enn åtte magnetpoler og forskjøvet i samsvar med ligningen over bli utnyttet for å tilfredsstille de konstruksjonsbetraktninger for bestemte legemliggjøringer av elektrisk maskiner i henhold til foreliggende oppfinnelse, som drøftet over. Eksempelvis kan det være nødvendig å ha ti poler i hver parallellbane i statorviklingen for å ha en tilfredsstillende spolekonfigurasjon. I dette tilfellet kan magnetpolmønsteret være:

10

Magnetpolnummer innenfor hver gruppe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medurs forskyvning fra referanseposisjonen (vinkelmessige viklingslissesprang)	0	1/5	2/5	3/5	4/5	4/5	3/5	2/5	1/5	0

15 Imidlertid skal det være klart at forskyvningsmønstre andre enn de som er definert over er mulig. Særlig er andre forskyvningsmønstre i henhold til foreliggende oppfinnelse som også tilfredsstiller spolekonfigurasjonskravene også mulig. Dessuten skal det også være klart at de forskyvningsmønstre som er beskrevet over kun er gitt som eksempler og ikke er ment å skulle være begrensende. Et nærmest ubegrenset antall forskyvningsmønstre er

20 mulige og selv om disse ikke er eksplisitt betraktet i denne beskrivelsen kan de på samme måten være mulige ved bygging av elektrisk maskiner i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Virkningsgraden til et forskyvningsmønster for magnetpoler vil være avhengig av den enkelte konstruksjon og drift av den enkelte elektriske maskin i hvilken den er inkorporert. Det er tenkt at det foretrukne forskyvningsmønstret for en gitt maskin kan være funnet ved bruk av konvensjonelle teknikker som er velkjente for fagkyndige på området, som for eksempel endelige elementteknikker. Imidlertid, som følge av de konstruksjonsbetraktninger som er drøftet over er det for tiden tenkt at det generelt vil være foretrukket at maskiner i henhold til foreliggende oppfinnelser har grupper av magnetpoler som hver inneholder det samme magnetpolantallet og har det samme magnetpolforskyvningsmønsteret innenfor hver gruppe og at det antall av viklingspolgrupper som er koblet i hver parallellbane er enten likt med eller er et heltallsmultipel av magnetpolantallet i hver gruppe.

En elektrisk maskin i henhold til foreliggende oppfinnelse kan også være inkorporert i andre trekk som reduserer cogging. Eksempelvis kan magnetpolene være skråstilt slik at de ikke er parallelle med rotoraksen eller magnetpolene kan være formet for å redusere cogging.

Maskiner i henhold til foreliggende oppfinnelse kan være generatorer eller motorer, og de kan bli brukt for en rekke forskjellige formål. En foretrukket legemliggjøring av oppfinnelsen er en lavhastighets, stordiameter elektrisk generator med ett hundre og tolv magnetpoler og tre hundre og trettiseks viklingslissler, som beskrevet under.

De vedfølgende tegninger angir:

- Fig. 1, som viser verdien til  $p$  for hver magnetpol i en gruppe med åtte magnetpoler,
- Fig. 2 er et deltværnsnitt av en lavhastighets, stordiameter elektrisk generator av konvensjonell konstruksjon,
- Fig. 3 er et nærbilderiss av et utsnitt av fig. 2,
- Fig. 4 er et deltværnsnitt av en lavhastighets, stordiameter elektrisk generator i henhold til foreliggende oppfinnelse som er hovedsakelig den samme konstruksjonen som den konvensjonelle generator som er vist i figurene 1 og 2, og
- Fig. 5 er en skjemattegning av et snitt av den generator som er angitt i fig. 4.

En typisk konvensjonell konstruksjon av en lavhastighets, stordiameter elektrisk generator er vist i figurene 1 og 2. Rotoren 2 har et ett hundre og tolv magnetpoler 3 festet rundt sin ytre rand 4. Magnetpolene 3 er anbrakt med like mellomrom til hverandre slik at de er anbrakt med like mellomrom rundt omkretsen til randen 4. Det vil si, magnetpolene 3 er hver

posisjonert i sine referanseposisjoner og referansevinkelmagnetpolspranget er  $3,21^\circ$  ( $360^\circ / 112$ ). Rotoren 2 er montert på roterbart vis i en stator 5 og det foreligger et luftgap 7 dannet mellom statorens 5 indre overflate og magnetpolenes 3 ytre overflate 8. Statoren 5 inneholder tre hundre og trettiseks viklingsslisser 6 med likt mellomrom dannet på sin indre overflate, dvs. tre viklingsslisser per magnetpol. Dette gir beregningsmessig et referansevinkelviklingsslissesprang,  $S_p$ , lik  $1,07^\circ$ , en tredel av magnetpolspranget. Hver viklingsslisserie 6 rommer en del av en statorvikling (ikke vist) og viklingsslissene 6 er også anordnet med like mellomrom rundt omkretsen til statorens 5 indre overflate. Slik man kan se av fig. 3, er viklingsslissene 6 omtrent halvdelen av bredden til viklingsslissespranget,  $S_p$ , og magnetpolene 3 er omtrent fire femdeler av bredden til magnetpolspranget.

Som det kan ses i figurene 4 og 4, er en lavhastighets, stordiameter elektrisk generator i henhold til foreliggende oppfinnelse av hovedsakelig identisk konstruksjon med den konvensjonelle generator som er vist i figurene 2 og 3, bortsett fra at magnetpolene har en vinkelmessig bredde som er omtrent lik  $2,25$  viklingsslissesprang og enkelte av magnetpolene 3 er forskjøvet og er ikke i sine referanseposisjoner. Særlig er de ett hundre og tolv magnetpolene 3 posisjonert i fjorten identiske grupper med åtte magnetpoler og hver magnetpol 3 innenfor hver gruppe er vinkelmessig forskjøvet i medurs retningen fra sin referanseposisjon med en størrelse i henhold til foreliggende formel:

20

$$D = \frac{2(p-1)}{N}$$

Hvor:

$D$  = den vinkelmessige forskyvning (i viklingsslissesprang) av polen fra dens referanseposisjon,

$N$  = antallet av magnetpoler i gruppen, og

$p$  = magnetpolnummeret innefor gruppen, telt fra den nærmest tilstøtende pol.

Pol 3a er den første polen i sin gruppe og er derfor posisjonert i sin referanseposisjon. Det vil si,  $D = 0$  ettersom  $N = 8$  og  $p = 1$ . Pol 3b er den andre polen i gruppen ( $N = 8$  og  $p = 2$ ) og pol 3c ( $N = 8$  og  $p = 3$ ) er den tredje, derfor er de forskjøvet fra sine referanseposisjoner med en firedel av viklingsslissespranget  $S_p$  henholdsvis en halvdel av viklingsslissespranget  $S_p$ .

En komplett gruppe av magnetpoler 3 i en elektrisk maskin i henhold til foreliggende oppfinnelse er representert i fig. 5. To endepoler 3a, 3h er posisjonert i sine referanse-

posisjoner mens de midtre seks polene 3b til 3g er forskjøvet til høyre for sine referanseposisjoner med varierende størrelse. Polene 3b og 3g er forskjøvet med en firedel av viklingsslissespranget Sp, polene 3c og 3f med en halvdel av viklingsslissespranget Sp, og polene 3d og 3e med tre firedeler av viklingsslissespranget Sp.

P a t e n t k r a v

1. Elektrisk maskin (1) inkluderende et første legeme (5) med en av et mangfold av omkretsmessig med mellomrom anordnede viklingsslisser (6) og et flertall av omkretsmessig med mellomrom anordnede magnetpoler dannet ved sin radielt indre overflate, og et andre legeme (2) som er lokalisert i det første legeme (5) og med den andre av mangfoldet av omkretsmessig med mellomrom anordnede viklingsslisser og flertallet av omkretsmessig med mellomrom anordnede permanent magnetpoler (3) dannet ved sin radielt ytre overflate, hvor ett av de første og andre legemene er en rotor og roterbart montert og den andre av de første og andre legemene er en stator og fastliggende montert, hvor viklingsslissene (6) har et referansevinkelsprang som er lik  $360^\circ$  dividert med viklingsslisseantallet i den elektriske maskinen (1),
- hvor magnetpolene (3) omfatter i det minste en første gruppe omfattende minst fire omkretsmessig tilstøtende magnetpoler (3a - 3h) og en andre gruppe omfattende minst fire omkretsmessig tilstøtende magnetpoler (3a - 3h), hvor den første og den andre gruppen omfatter det samme magnetpolantallet og har det samme forskyvningsmønsteret, hvor hver magnetpol (3) har en referanseposisjon, hvor referanseposisjonene har like mellomrom rundt omkretsen til legemet ved hvilken magnetpolene er dannet, karakterisert ved at:
- for skyvningsmønsteret til magnetpolene i de første og andre gruppene bestemmes i henhold til formelen:

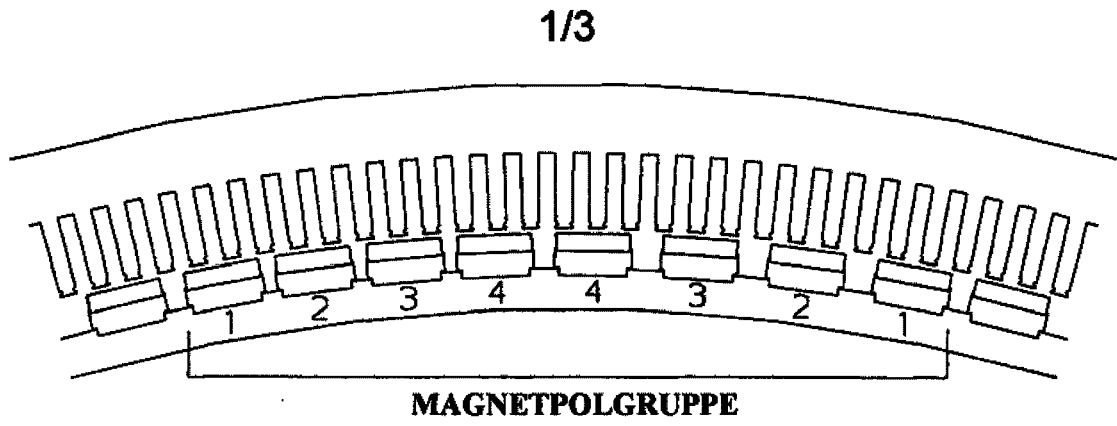
$$D = \frac{2(p-1)}{N}$$

- hvor:
- $D$  = den vinkelmessige forskyvningen (i referansevinkelviklingsslissesprang) av magnetpol  $p$  fra sin referanseposisjon,
- $N$  = antallet av magnetpoler i den første og den andre gruppen, og
- $p$  = magnetpolnummeret innefor den første eller den andre gruppen, telt fra den nærmest tilstøtende magnetpolgruppe.

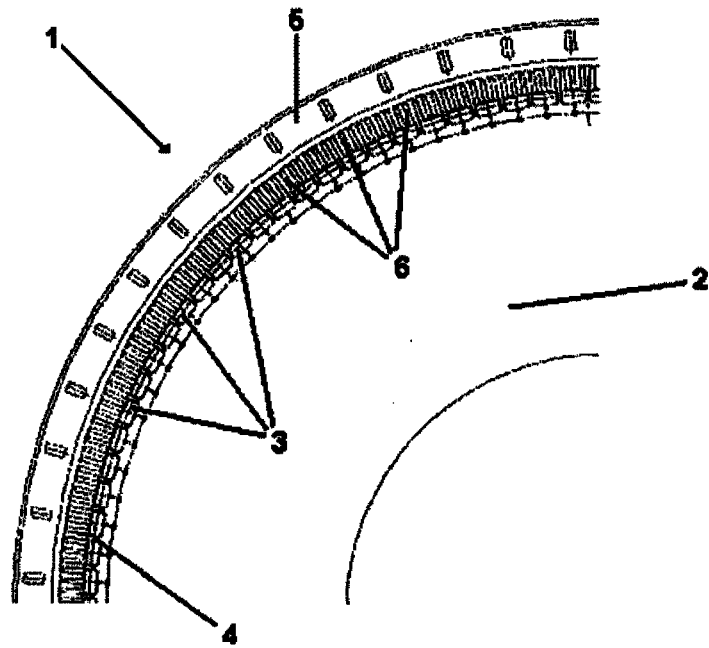
2. Elektrisk maskin ifølge krav 1, hvor statoren (5) har viklingsslissene (6), og rotoren (2) har magnetpolene (3).
3. Elektrisk maskin ifølge krav 1 eller krav 2, hvor det første legemet (5) er statoren, og det andre legemet (2) er rotoren.

4. Elektrisk maskin ifølge krav 1 eller krav 2, hvor det første legemet er rotoren og det andre legemet er statoren.
5. Elektrisk maskin i henhold til et hvilket som helst av de foregående krav, hvor ingen magnetpol (5) er forskjøvet fra sin referanseposisjon med mer enn referansevinkelspranget til viklingslissene.
6. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor ingen to tilstøtende magnetpoler (3) er i kontakt med, eller i berøring med, hverandre.
7. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor magnetpolene (3) er forskjøvet slik at deres omkretsmessige posisjonering har minst en tofoldig rotasjonssymmetri om rotorens (2) rotasjonsakse.
8. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor den første gruppen omfatter et liketallsantall av magnetpoler (3), og den andre gruppen omfatter et liketallsantall av magnetpoler (3).
9. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor den første gruppen omfatter åtte magnetpoler (3a - 3h), og den andre gruppen omfatter åtte magnetpoler (3a - 3h).
10. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor viklingslissene (6) er anordnet omkretsmessig med uniforme mellomrom.
11. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, videre omfattende viklingsspoler som har et vinkelmessig sprang lik et referansevinkelsprang til magnetpolene.
12. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av kravene 1 til 10, videre omfattende virkningsspoler som har et vinkelmessig sprang lik to-tre-deler av et referansevinkelsprang til magnetpoler.
13. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor antallet av viklingslissener (6) er lik et heltallsmultiplum av produktet av antallet av magnetpoler (3) og viklingsfaseantallet.

14. Elektrisk maskin ifølge krav 13, hvor det er tre ganger som mange viklingslisser (6) som magnetpoler (3).
15. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor den vinkel-  
5 messige bredden til hver av magnetene som danner magnetpolene (3) er hovedsakelig  $2\frac{1}{4}$   
 ganger referansevinkelspranget til viklingslissene.
16. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor bredden av  
10 hver viklingsslisse (6) ved et luftgap (7) mellom rotoren (2) og statoren (5) er hovedsakelig  
 lik en halvdel av referansevinkelviklingslissespranget.
17. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor hver  
 magnetpol (3) er hovedsakelig parallell med rotorens (2) rotasjonsakse.
- 15 18. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av kravene 1 til 16, hvor hver magnet-  
 pol (3) er skråtilt i forhold til rotorens (2) rotasjonsakse.
19. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor magnetiske  
 slissekiler er innkorporert i viklingslissene (6).
- 20
20. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor den ytre  
 overflaten (8) til hver magnetpol (3) er formet slik at et luftgap (7) mellom rotoren (2) og  
 statoren (5) ikke er uniformt.
- 25 21. Elektrisk maskin ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor en stator-  
 vikling til den elektriske maskinen definerer viklingsfaser som er koblet i én eller flere  
 parallellkretser slik at antallet av viklingspolgrupper i serie i hver krets er lik med, eller er  
 et heltallsmultippel av, antallet av magnetpoler i hver av de første og andre grupper.
- 30

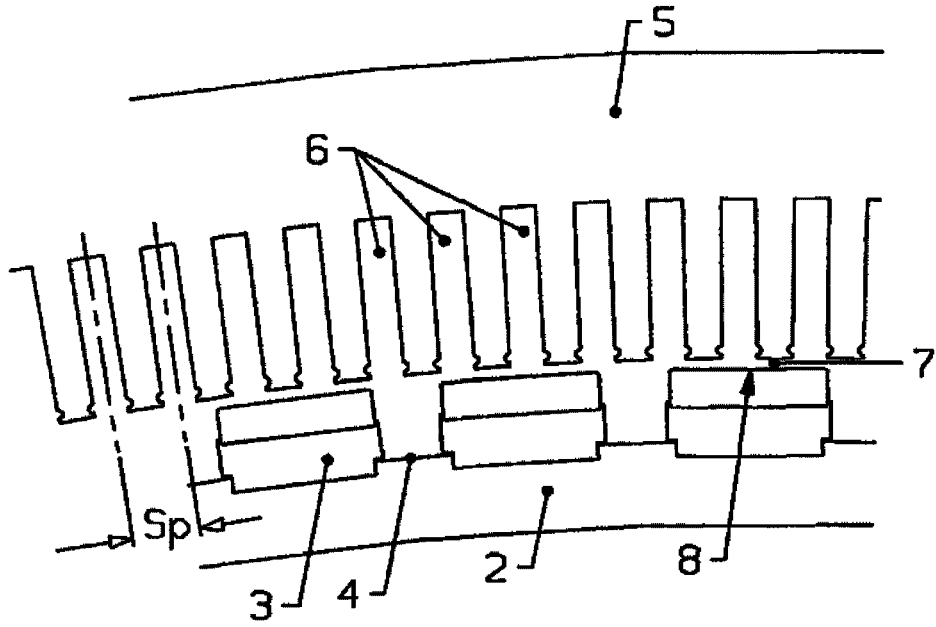


Figur 1

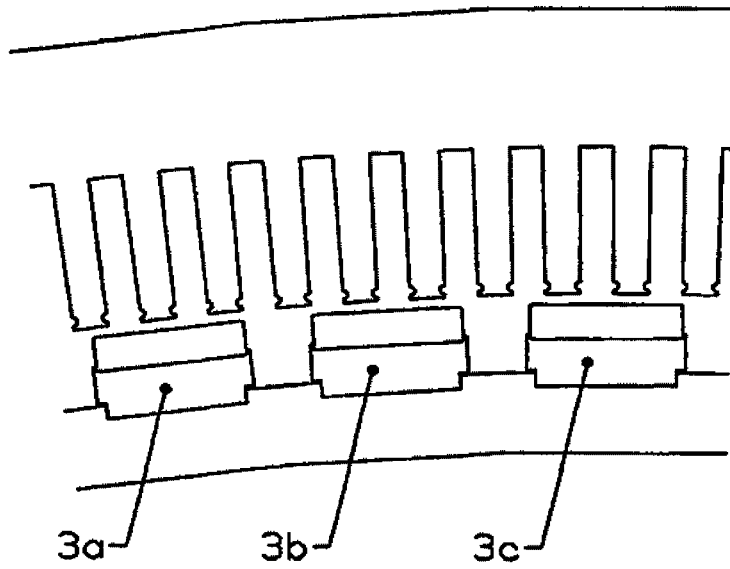


Figur 2

2/3

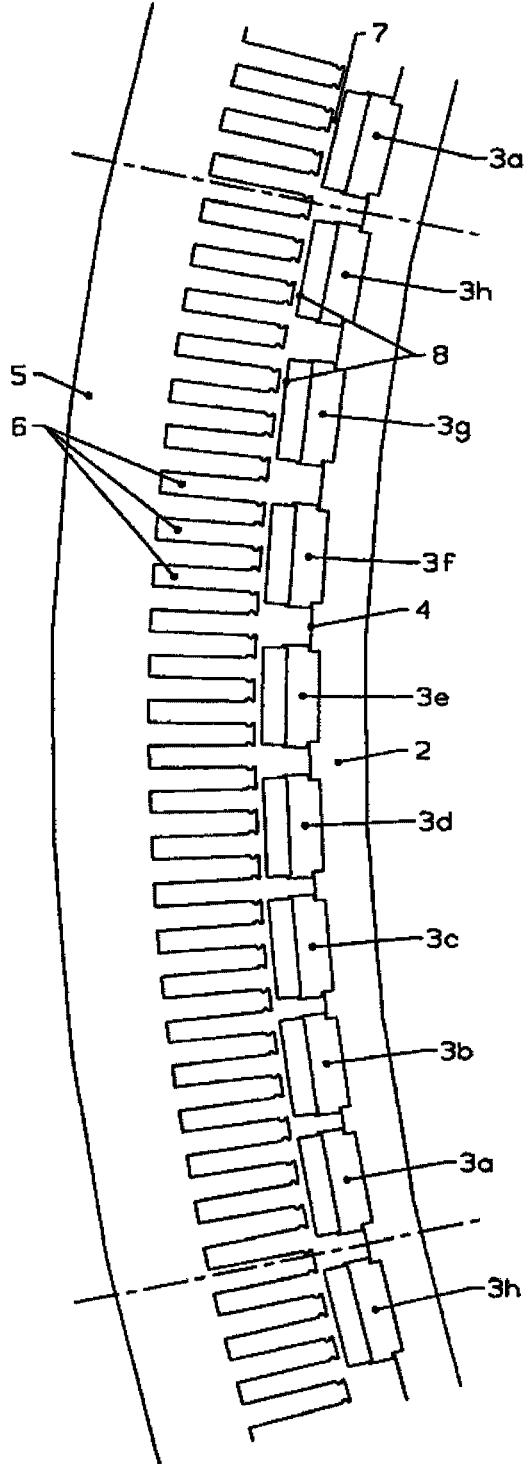


Figur 3



Figur 4

3/3



Figur 5