

MOTORENHET INNEFATTANDE EN BORSTLÖS DC-MOTOR MED STYRELEKTRONIK

TEKNISKT OMRÅDE

- 5 Föreliggande uppfinning avser en motorenhet som innefattar en borstlös DC-motor med styrelektronik.

UPPFINNINGENS BAKGRUND

- 10 I många tillämpningar där elmotorer används krävs en jämn rotation hos elmotorns rotor och därmed också en exakt styrning av rotorströmmen och dennas vågform. För att kunna uppnå en tillräckligt exakt styrning krävs det att rotorns vinkeläge kan avkännas på ett noggrant sätt. I konventionella elmotorer används vanligtvis en vinkelgivare eller resolver tillsammans med tillhörande elektronik för att bestämma vinkeläget. Vinkelgivarna avkänner
- 15 mekanisk rörelse och omvandlar den avkända rörelsen till elektriska signaler. Optiska pulsgivare och absoluta vinkelgivare är två vanligt förekommande typer av vinkelgivare.

- För att kunna uppnå en exakt strömstyrning och mjuk rotation i så kallade
- 20 borstlösa DC motorer, dvs. växelströmsmotorer med permanentmagneter på rotorn och elektronisk kommutering, krävs noggranna detektorer för avkänningen av rotorns vinkeläge och den elektroniska kommuteringen. Exempelvis beskriver US2010/0090633 A1 en motorenhet som innefattar en borstlös DC-motor med en roterande axel, en elektronisk styrenhet som är
- 25 fastsatt vid motorn och placerad utanför den roterande axeln, samt en tvåpolig permanentmagnet som är fixerad på axeln för att roteras av axeln i ett plan som är ortogonalt till axelns rotationsaxel. Motorenheten innefattar dessutom en X-Y Halleffektgivare som bärs upp av den elektroniska styrenheten och är placerad nära magneten, varvid Halleffektgivaren genererar sinus- och
- 30 cosinuskomponenter för magnetfältet när magneten roteras av motoraxeln. Den elektroniska styrenheten innefattar dessutom medel för att, från nämnda sinus- och cosinuskomponenter, bestämma motorns vinkeläge, samt kommuteringslogik. En styrenhet på kortet, som är placerat omedelbart över ena änden av den roterande axeln i motorenheten, innehåller de starkt
- 35 integrerade funktionerna: interna analog-digitalomvandlare, pulsbreddsmoduleringsregister för att driva effektförstärkaren, interna kommunikationsportar, samt allt RAM-minne och icke-flyktigt Flash-minne som behövs för motorstyrning.

EP 1 099 092 B1 beskriver en borstlös elmotor och ett förfarande för styrning av denna. Elmotorn innefattar en rotor, ett avkännbart element med ett flertal magnetiska poler, samt första och andra Halleffektgivare som är monterade med sina sensorplan vinkelräta mot en yta hos det avkännbara elementet för att mäta magnetiskt flöde från de magnetiska polerna i en riktning som är tangentiell mot det avkännbara elementet, varvid endera av det avkännbara elementet och de första och andra Halleffektgivarna är monterade i ett fast förhållande till rotorn. Halleffektgivarna är anordnade för att mata ut en mätsignal så att åtminstone en utsignal från minst en av de första och andra sensorerna är linjär vid varje rotationsläge hos rotorn, varvid mätsignalerna används för att avläsa ett absolut rotationsläge hos rotorn inom en elektrisk cykel, varvid motorn är anordnad för att styras baserat på det avlästa rotorläget.

US 7 579 799 B2 beskriver ett system för mätning av vinkelläget hos en rotor, ett förfarande för mätning av vinkelläget, samt ett förfarande för styrning av en elmotor. Systemet har en rotorenhet som innefattar ett flertal ringformigt anordnade magnetiska domäner hos motorns magnetpoler och en sensormodul som har minst två Halleffektanordningar placerade med ett specificerat vinkelavstånd i förhållande till varandra. Sensormodulen är konfigurerad på lämpligt sätt för att generera ett flertal insignaler som svar på en variation av magnetflöde som motsvarar axiell rotation hos de magnetiska domänerna hos motorns magnetpoler. En modul för lägesmätning är på lämpligt sätt konfigurerad för att behandla nämnda insignaler för att generera omvandlade sinusformade referenssignaler. De sinusformade referenssignalerna har åtminstone endera av en skalfaktor för förskjutningen och skalfaktor för amplituden. En felterm bestäms genom att behandla nämnda insignaler för att generera en lägesestimeringssignal som motsvarar en approximativ mätning av rotorns vinkelläge. Därefter genereras en förbättrad mätning av rotorns vinkelläge genom att behandla feltermen.

Vidare beskriver US 6 906 494 B2 en motorstyrenhet för drivning av en motor med en rotor som innefattar magneter. Motorstyrenheten innefattar en detektor för magnetiskt flöde för att detektera ett magnetiskt flöde från magneterna och erhålla en magnetpolsignal, en lägessignalomvandlare för att bestämma ett läge hos rotorn baserat på magnetpolsignalen, en deriverare för att bestämma en varvtalssignal baserad på utsignalen från lägessignal-

omvandlaren, en styrenhet för varvtal för att jämföra varvtalssignalen med ett förutbestämt föreskrivet varvtal och för att mata ut en ordersignal, samt en styrenhet för pulsbreddmodulering för att utföra pulsbreddsmodulerad drivning av motorn i enlighet med ordersignalen. Styrenheten för pulsbreddsmodulering driver motorn i en sinusvågform, varvid magnetpolsignalen är en 2-fas-sinusvågssignal med en fasdifferens om 90°.

En nackdel med många av de tidigare kända motorenheterna med borstlösa DC-motorer och integrerad styrelektronik är att motorenheterna ofta är större och klumpigare än vad som är önskvärt för många tillämpningar. En orsak till detta är att en konventionell borstlös DC-motor i allmänhet genererar ett ganska lågt moment, vilket leder till att en större motorstorlek måste väljas eller att motorn måste förses med en växellåda för att få en motorenhet med tillräckligt högt utgående vridmoment. En annan orsak är att många av de tidigare kända motorenheterna har en konstruktion som kräver ett komplicerat och utrymmeskrävande mätarrangemang, ofta placerat vid motorns axelände, för att kunna mäta rotorns vinkeläge och/eller en skrymmande styrelektronik som ökar motorenhetens längd eller övriga ytterdimensioner avsevärt.

20 SAMMANFATTNING AV UPPFINNINGEN

Ett första syfte med uppfinningen är således att tillhandahålla en mycket kompakt motorenhet med borstlös DC-motor och styrelektronik som ger avsevärt bättre prestanda, när det gäller utgående vridmoment, effekt/volymförhållande och verkningsgrad, till ett avsevärt lägre pris än vad som har varit möjligt med de tidigare kända motorenheterna.

Detta första syfte uppnås med hjälp av en motorenhet enligt patentkrav 1, vilken innefattar en borstlös DC-motor med styrelektronik, som innefattar minst två magnetfältsgivare anordnade för att mäta magnetiskt flöde från magnetiska poler på en rotor i den borstlösa DC-motorn och varvid magnetfältsgivarna, utgående från mätningen av magnetiskt flöde, är anordnade för att fastställa en vinkelposition hos rotorn i avsikt att styra strömmen till den borstlösa DC-motorn utgående från den fastställda vinkelpositionen, samt varvid den borstlösa DC-motorn är en ytterrotormotor som innefattar en inre stator och en yttre rotor, varvid den yttre rotorn har en periferi och en insida som uppvisar ett flertal av permanentmagneter, vilka är anordnade med regelbundna mellanrum längs nämnda insida för att tillhandahålla nämnda magnetiska poler, samt varvid de minst två magnetfältsgivarna är anordnade på ett avstånd från

varandra i närheten av periferin för att mäta det magnetiska flöde som läcker radiellt genom den yttre rotorn från permanentmagneterna på insidan.

5 Tack vare att motorenheten enligt uppfinningen använder en integrerad styrelektronik med magnetfältsgivare för att fastställa rotorns vinkelposition hos en borstlös DC-motor, som enligt uppfinningen har valts till att vara en ytterrotormotor, kan en mycket billig och kompakt motorenhet med goda motorprestanda förverkligas. Motorenheten enligt uppfinningen kan, tack vare ytterrotormotorn, ges ett tillräckligt högt vridmoment för att undanröja behovet
10 av en växellåda, vilket ger en enklare och billigare konstruktion och mindre ytterdimensioner. Motorenheten enligt uppfinningen får dessutom, tack vare ytterrotormotorn, en mycket hög verkningsgrad som möjliggör högre uttagen effekt och lägre energiförbrukning. Tack vare arrangemanget med magnetfältsgivare i kombination med en ytterrotormotor kan rotorns
15 vinkelposition fastställas genom mätning av radiellt magnetiskt läckflöde genom den, i förhållande till statorn, yttre rotorn, vilket möjliggör att hela mätarrangemanget kan förenklas och styrelektroniken kan utformas på ett kompaktare sätt, så att motorenheten enligt uppfinningen kan ges mycket små ytterdimensioner i förhållande till dess motorprestanda.

20

KORTFATTAD BESKRIVNING AV RITNINGARNA

I det följande kommer ett antal utföringsformer av uppfinningen att beskrivas närmare, enbart som exempel och med hänvisning till de bilagda schematiska ritningarna, där:

25

figur 1 är en tvärsnittsvy av en motorenhet enligt uppfinningen som illustrerar motorenhetens uppbyggnad och funktionsprincip,

30

figur 2 är en perspektivvy av en motorenhet enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen, i delvis isärtaget skick, samt

figur 3 är en annan perspektivvy av motorenheten enligt fig. 2, i hopmonterat skick.

35

BESKRIVNING AV UTFÖRINGSFORMER AV UPPFINNINGEN

I det följande kommer ett antal utföringsformer av uppfinningen att beskrivas i detalj med hänvisning till de bilagda ritningarna. På ritningarna visar figur 1 en schematisk framställning av ett tvärsnitt av en motorenhet enligt uppfinningen.

Figur 2 är en perspektivvy av en motorenhet enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen i delvis isärtaget skick, medan figur 3 visar samma motorenhet i hopmonterat skick.

- 5 Motorenheten 101 innefattar en borstlös DC-motor 102 med styrelektronik 103. En borstlös DC-motor kan även definieras som en växelströmsmotor med permanentmagneter på rotorn och elektronisk kommutering.

10 Motorenhetens styrelektronik 103 innefattar minst två magnetfältsgivare anordnade för att mäta magnetiskt flöde från magnetiska poler på en rotor i den borstlösa DC-motorn 102. Magnetfältsgivarna är anordnade för att, utgående från mätningen av magnetiskt flöde, fastställa en vinkelposition hos rotorn i avsikt att styra strömmen till den borstlösa DC-motorn utgående från den fastställda vinkelpositionen.

15 Den borstlösa DC-motorn i motorenheten enligt uppfinningen är en ytterrotormotor 102. Denna typ av borstlösa DC-motorer har under de senaste åren blivit vanliga som motorer i modellflygplan och är kommersiellt tillgängliga. Ytterrotormotorn 102 innefattar en inre stator 104 och en yttre rotor 105. De snedstreckade fälten S1, S2, S3 i figur 1 illustrerar schematiskt kopparlindningen hos statorn. Den yttre rotorn 105 har en periferi 106 och en insida 107 som uppvisar ett flertal av permanentmagneter 108, 109, 110, 111, visade som svarta fält med vita prickar i fig. 1.

25 I en föredragen utföringsform av motorenheten enligt uppfinningen innefattar de tidigare nämnda magnetfältsgivarna minst två stationära Hallgivare 112, 113, vilka särskilt fördelaktigt kan vara linjära Hallgivare. Såsom har framgått tidigare i samband med beskrivningen av den tidigare kända tekniken är Hallgivare i och för sig välkända för användning i styrsystem för borstlösa DC-motorer och kommer därför inte att beskrivas närmare här. Man kan dock även
30 tänka sig utföringsformer av uppfinningen där magnetfältsgivarna är av en annan typ, såsom magnetoresistiva givare, magnetostriktiva givare eller Flux gate-givare. I motorenheten enligt uppfinningen är det fördelaktigt att givarna har små dimensioner och få eller inga rörliga delar, varför Halleffektgivare eller
35 magnetoresistiva givare är föredragna.

I motorenheten enligt uppfinningen är permanentmagneterna 108, 109, 110, 111 anordnade med regelbundna mellanrum längs den yttre rotorns insida 107

för att tillhandahålla de tidigare nämnda magnetiska polerna, varvid de tidigare nämnda minst två magnetfältsgivarna 112, 113 är anordnade på ett avstånd från varandra i närheten av periferin 106 för att mäta det magnetiska flödet som läcker radiellt genom den yttre rotorn 105 från permanentmagneterna 108, 109, 110, 111 på insidan 107 av rotorn.

Tack vare kombinationen av ett mätarrangemang med magnetfältsgivare och permanentmagneter tillhörande rotorn hos ytterrotormotorn som används i motorenheten enligt uppfinningen kan den tidigare nämnda vinkelpositionen fastställas genom mätning av radiellt magnetiskt läckflöde genom den, i förhållande till statorn, yttre rotorn, vilket möjliggör att hela mätarrangemanget kan förenklas och att styrelektroniken kan utformas på ett kompaktare sätt. Mätarrangemanget ger i synnerhet med Hallgivare dessutom en god mätnoggrannhet om ungefär $\pm 1^\circ$ och en god upplösning om ungefär $0,1^\circ$.

På insidan 107 av ytterrotormotorns yttre rotor 105 finns ett jämnt antal permanentmagneter 108, 109, 110, 111 anordnade. Varannan permanentmagnet har nordpolen inåt och varannan har sydpolen inåt. Det minsta möjliga antalet magnetiska poler i ytterrotormotorn är således två poler som bildar ett elektriskt varv. Ett ökat antal magnetiska poler i en ytterrotormotor ger därför flera elektriska varv hos denna ytterrotormotor. Geometriskt sett är det elektriska varvet, uttryckt i grader, lika med 2 gånger 360° delat med antalet magnetiska poler.

I en föredragen utföringsform av motorenheten enligt uppfinningen har ytterrotormotorn 102 flera än 6 magnetiska poler på den yttre rotorn 105. Genom ett sådant arrangemang blir det elektriska varvet, geometriskt sett, mindre än 30 grader, vilket gör det möjligt att placera två stationära magnetfältsgivare 112, 113 minst 90 grader isär i det elektriska varvet utan att magnetfältsgivarna hamnar alltför långt från rotorn.

I en särskilt föredragen utföringsform av motorenheten enligt uppfinningen motsvarar avståndet mellan två 112, 113 av magnetfältsgivarna ungefär 90 graders förskjutning av den borstlösa DC-motorns 102 elektriska varv.

Magnetfältsgivarna 112, 113 är fördelaktigt anordnade för att producera sin- och cos-signaler utgående från mätningen av det magnetiska läckflödet, varvid styrelektroniken 103 innefattar minst en mikroprocessor 114 (se figur 2) som

är anordnad för att läsa in och omvandla mätsignalerna och beräkna den yttre
rotorns 105 rotorvinkel i den borstlösa DC-motorns 102 elektriska varv
utgående från mätsignalerna. Mikroprocessorn 114 är särskilt fördelaktigt
anordnad för att beräkna rotorvinkeln med användning av invers trigonometri
och en kalibreringskurva.

I en annan fördelaktig utföringsform är magnetfältsgivarna 112, 113 anordnade
för att avge mätsignaler från mätningen av det magnetiska läckflödet, varvid
styrelektroniken 103 innefattar minst en mikroprocessor 114 som är anordnad
för att läsa in nämnda mätsignaler och estimerar den yttre rotorns 105
vinkelposition i den borstlösa DC-motorns 102 elektriska varv utgående från
mätsignalerna. Mikroprocessorn 114 är fördelaktigt anordnad för att estimerar
vinkelpositionen med användning av invers trigonometri, företrädesvis
implementerad genom tabelluppslagning och interpolation. Mikroprocessorn
114 är särskilt fördelaktigt anordnad för att förbättra noggrannheten hos
estimeringen ytterligare genom att applicera en kalibreringskurva på den
estimerade vinkelpositionen.

Funktionen hos den integrerade styrelektroniken i motorenheten enligt
upppfinningen kan indelas i tre huvuddelar: 1) magnetfältsgivare med
tillhörande signalbehandling, 2) signalomvandling från givarsignaler till vinkel
och vidare till vilken ström som ska levereras till vilka poler i statorn, samt 3)
kraftelektronik som levererar strömmen till polerna. Styrelektroniken
tillhandahåller dessutom en återkoppling så att ett återförande moment alltid
påläggs på rotorn vid en avvikelse från ett börvärde för rotorns vinkelläge.

I en särskilt fördelaktig utföringsform av motorenheten enligt upppfinningen
innefattar styrelektroniken minst ett plant kretskort 115 som är riktat
tangentiellt mot den yttre rotorns 105 periferi 106, varvid de minst två
magnetfältsgivarna 112, 113 är monterade på detta kretskort 115. Ett sådant
arrangemang ger en förenklad montering och en motorenhet med mycket liten
längd i axelriktningen.

I en särskilt föredragen utföringsform av motorenheten enligt upppfinningen
bildar de två magnetfältsgivarna 112, 113, den minst ena mikroprocessorn 114
tillsammans med nödvändig mjukvara, det minst ena kretskortet 115, samt
övriga ingående komponenter hos styrelektroniken 103 tillsammans ett
styrsystem, varvid styrsystemet och den borstlösa DC-motorn är integrerade i

ett gemensamt apparathölje 116. Ett sådant arrangemang möjliggör ett mycket kompakt integrerat styrsystem i motorenheten enligt uppfinningen.

5 I en fördelaktig utföringsform innefattar apparathöljet 116 hos motorenheten enligt uppfinningen minst en aluminiumprofil 117 mot vilken kretskortet 115 är monterat, varvid aluminiumprofilen 117 är utformad för att kunna fungera både som kylfläns och kapsling för motorn. Tillhandahållandet av en eller flera sådana, företrädesvis extruderade, aluminiumprofiler i motorenheten enligt uppfinningen säkerställer god värmeavledning från kretskortet och att
10 elektronikkomponenterna monterade på kretskortet inte överhettas.

I en särskilt föredragen utföringsform av motorenheten enligt uppfinningen är de minst två magnetfältsgivarna 112, 113, den minst ena mikroprocessorn 114, samt de övriga i styrsystemet ingående komponenterna placerade på ett och
15 samma kretskort 115. Ett sådant arrangemang förenklar monteringen och gör tillverkningen billigare, samt möjliggör att motorenheten enligt uppfinningen får så små ytterdimensioner som möjligt.

I en fördelaktig utföringsform av motorenheten enligt uppfinningen utgör det i
20 motorenheten 101 integrerade styrsystemet ett återkopplat styrsystem som är anordnat för att reglera position, hastighet eller acceleration hos den yttre rotorn 105.

Den borstlösa DC-motorn 102 hos motorenheten enligt uppfinningen är
25 företrädesvis försedd med en utgående axel 118, varvid apparathöljet 116 uppvisar ett hål 119 som är avpassat för genomföring av den utgående axeln.

Motorenhetens utsida kan fördelaktigt uppvisa minst en synlig signalanordning 120, 121 för indikering av en signal relaterad till den yttre rotorns 105 vinkelläge. I motorenheten enligt uppfinningen som illustreras i figurerna 1-3
30 uppvisar utsidan en röd 120 respektive en grön 121 lampa som är anordnade för att på lämpligt sätt indikera det momentana vinkelläget hos rotorn, vilket kan vara en fördel i samband med injustering av styrelektroniken.

35 För att möjliggöra att motorenheten enligt uppfinningen används som en servomotor, eller liknande, är det integrerade styrsystemet företrädesvis anordnat för att kunna kommunicera med ett överordnat styrsystem som ger börvärden för vinkelläge, hastighet eller acceleration.

I en fördelaktig utföringsform uppvisar motorenheten 101 således åtminstone en kommunikationsport 122 för anslutning till en extern enhet. En sådan port för datakommunikation kan vara utformad med vilket lämpligt standardgränssnitt som helst och användas för datakommunikation mellan motorenheten enligt uppfinningen och ett externt styr-, mät eller diagnostiksystem.

Tabell 1 nedan illustrerar några parametrar för en kommersiellt tillgänglig konventionell motorenhet med borstlös DC-motor med encoder och integrerad positionsstyrning, i jämförelse med motsvarande parametrar för en prototyp av en motorenhet enligt uppfinningen av den typ som illustreras i de bilagda figurerna.

Tabell 1

Parameter:	Kommersiell motorenhet med konventionell teknik	Prototyp av motorenhet enligt uppfinningen
Storlek	120x33x53, 495 gram	80x60x70, 600 gram
Verkningsgrad	70 %	85 %
Effekt (max)	60 (270) W	100 (400) W
Moment (max)	54 (218) mNm	600 (1100) mNm
Varvtal	12000 rpm	4000 rpm
Pris	6000 SEK i butik	Tillverkningskostnad ca 600-800 SEK

Såsom framgår av den ovanstående tabellen har prototypen enligt uppfinningen i detta utförande något högre vikt och större volym, men ger mycket högre moment (11 gånger högre) och högre uteffekt vid högre verkningsgrad, än den kommersiella motorenheten med konventionell teknik. För att kunna komma i närheten av samma höga vridmoment som prototypen enligt uppfinningen skulle motorenheten med konventionell teknik behöva förses med en växellåda som skulle göra den mycket större och tyngre, sänka varvtalet till en låg nivå, samt försämra verkningsgraden ytterligare i jämförelse med motorenheten enligt uppfinningen i Tabell 1.

Man kan tänka sig många olika tillämpningsområden där fördelarna hos motorenheten enligt uppfinningen kan utnyttjas. En sådan tillämpning är att använda motorenheter enligt uppfinningen för att ersätta motorer av stegmotortyp i automationstillämpningar, t.ex. för ombyggnation av manuella tillverkningsmaskiner såsom svarv- och fräsmaskiner. I en sådan tillämpning ger motorenheten enligt uppfinningen förbättrade prestanda till samma eller lägre pris och är därmed mycket konkurrenskraftig. Fördelar som uppnås genom att ersätta en stegmotor med en motorenhet enligt uppfinningen är bland andra: återkopplad positionering, högre hastigheter och högre uteffekt, högt moment vid höga hastigheter, inga vibrationer, att effekt förbrukas bara när nödvändigt, mindre ytterdimensioner och lägre vikt.

I det ovanstående har ett antal utföringsformer av uppfinningen beskrivits med hänvisning till figurerna på de bilagda ritningarna. Det måste förstås att de beskrivna utföringsformerna och detaljerna i figurerna enbart skall ses som exempel och att många andra utföringsformer av uppfinningen är möjliga inom ramen för de efterföljande patentkraven.