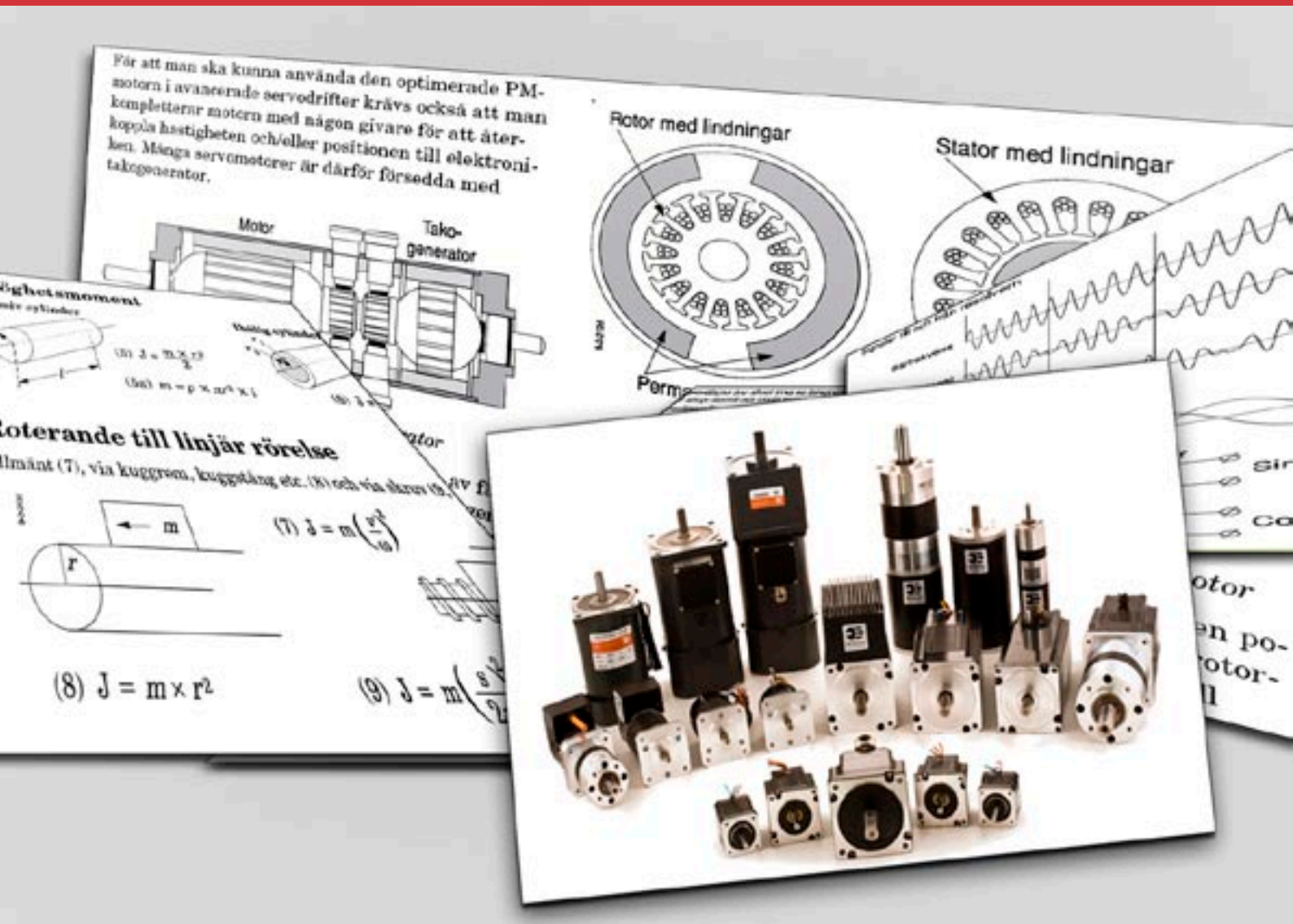


Östergrens Elmotor AB

Elektriska motorer och drivsystem

September 2008





Östergrens Elmotor AB:

En kompetent partner!

VI TAR ORDET MOTOR i vårt firmanamn bokstavligt och är i dag en pålitlig leverantör och partner till ledande OEM-kunder, främst i Europa.

Östergrens Elmotor AB grundades 1917 och i dag utvecklar, producerar och säljer vi motorer, transmissioner and drivlösningar till både kunder och partner.

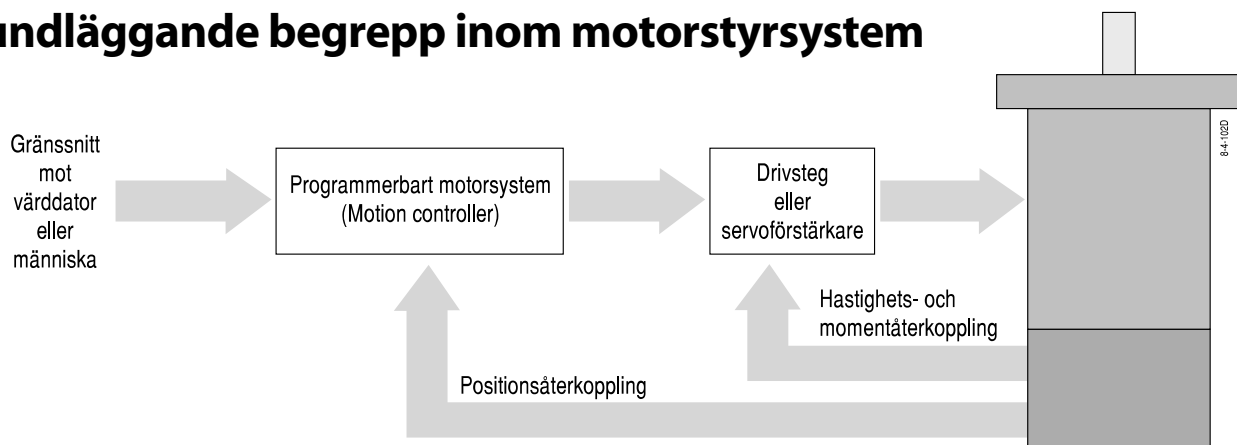
VÅRT FOKUS har hela tiden legat på att utveckla långsiktiga partnerskap som bygger på goda personliga relationer och affärsetik, kombinerat med innovativa lösningar, flexibilitet och know-how.

Vi är ekonomiskt oberoende, vi representeras direkt, eller indirekt genom partner, på ett antal viktiga marknader och befinner oss i ett stadium av internationell tillväxt.

KVALITET ÄR AV YTTERSTA VIKT! Vi kan med visshet säga att hela Östergrens-gruppen är fokuserad på total kvalitetsstyrning och vi är certifierade enligt ISO 9001:2000.

Detta gäller också vårt dotterbolag i Kina som både sysslar med produktion och forskning/utveckling.

Grundläggande begrepp inom motorstyrssystem



Programmerbart motorstyrssystem

Det programmerbara motorstyrssystemet är systemets hjärna. Det kalkylerar parametrar för rörelser och styr systemets drivsteg eller förstärkare. Vanliga parametrar är riktning, hastighet, position, moment och acceleration.

De vanligaste typerna är stegmotor- och servostyrssystem.

De flesta har ett eller flera gränssnitt mot omvärlden, t.ex. tangentbord, operatörspanel eller kommunikationsport till dator eller PLC-system.

De har också ofta ett antal ingångar och utgångar för styrning av maskinfunktioner eller kommunikation med annat styrsystem.

Drivsteg/förstärkare

Effektelektroniken i systemet kallas drivsteg i sam-band med stegmotorer och förstärkare i servodrifter. Den dimensioneras tillsammans med motorn efter moment- och hastighetsbehov.

För stegmotorer är det vanligast med drivsteg som styrs via två ingångar av ett pulståg och en riktningssignal.

För servomotorer är analogt börvärde vanligast, i allmänhet $\pm 10V$. Spänningen motsvarar oftast hastigheten, och spänningens polaritet anger motorns rotationsriktning.

Pulsbreddsmodulering av börvärde förekommer också. I dessa är pulsbredden proportionell antingen mot hastigheten eller mot strömmen (och därmed vridmomentet som är proportionellt mot strömmen).

Många digitala servon kan styras från en stegmotorstyrning, tack vare ingångar för puls och riktning.

Både drivsteg och servoförstärkare finns med inbyggd motorstyrning. De utgör kompletta exakta positioneringssystem.

Motor

Vanligast inom området styrda motorer är stegmotorer, borstlösa servomotorer och DC-servomotorer.

Det finns också hybridlösningar, där stegmotorer används som servomotorer. Även linjära servo- och stegmotorer förekommer.

Frekvensstyrda asynkronmotorer kan användas för enklare tillämpningar. Dessa behandlas ej inom ramen för denna kurs.

Återkoppling

Återkoppling är information om hastighet, moment eller position från motor eller last, som rapporteras till drivsteg, förstärkare eller styrsystem.

Återkoppling är inte alltid nödvändig. Där sådan saknas talar man om ett öterkopplat system, på engelska open loop system. Återkopplade system kallas på engelska 'closed loop systems.'

Ett flertal givare används för återkoppling. För att få information om hastighet är tachogeneratoren och den optiska pulsgivaren (optical encoder) vanligast. För positionsåterkoppling används oftast optisk pulsgivare, resolver eller potentiometer.

Att välja komponenter till ett drivsystem

Att välja komponenter till ett drivsystem är inte alltid enkelt. Det finns många fallor på vägen fram till ett fungerande drivsystem. Här presenteras de vanligaste komponenterna, något om hur de fungerar och hur de används. Innan du börjar välja komponenter måste tillämpningen utvärderas så att du för varje enskild motor-drift har en klar bild över de prestandakrav som måste ställas på de enskilda komponenterna.

Vanligtvis börjar man med att beräkna den mekaniska lasten och beräknar masströghetsmomentet och friktionsmomentet. Därefter ger önskade prestanda i form av accelerations- och

retardationstider och maxhastigheter tillsammans med tidigare beräknade storheter uppgift om nödvändig motorstorlek.

Valen motor och drivutrustning man sedan väljer då man vet moment och varvtalsbehov beror av andra systemkrav, t.ex. sättet att kommunicera med det överordnade styrsystemet. Valet styrs också av pris, tillgänglighet, servicevänlighet etc. Sist finns ett avsnitt med tips ur verkliga livet, vad man bör tänka på. Som hjälp vid den mekaniska beräkningen finns där också formler och omvandlingstabeller för aktuella enheter.



Electro-Craft
PM-likströmsmotorer

Motorer

Likströmsmotorer

Bland borstkommaterade likströmsmotorer är följande typer vanligast: permanentmagnetiserade motorer, serie-, shunt- och compoundmotorer. Gemensamt för dem är att de består av stator med fältmagneter och en lindad rotor, kallad ankare, som är försedd med en kollektor (kommutator) till vilken strömmen överförs via kolborstar.

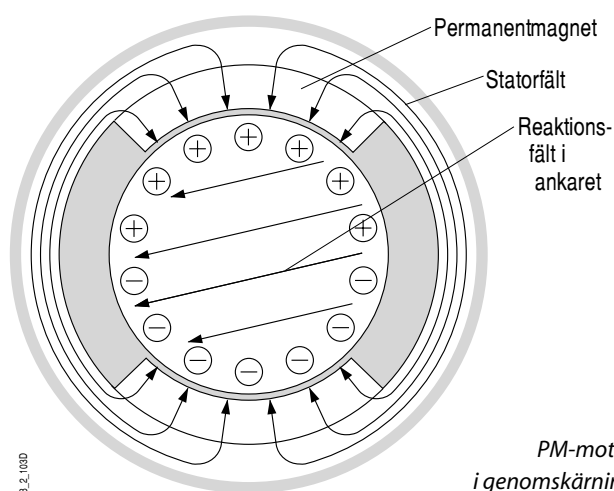
Permanentmagnetiserade motorer

Den permanentmagnetiserade (PM-) motorns fält består av två eller flera permanentmagneter, lika många som antalet poler (på övriga typer av likströmsmotorer skapas magnetfältet i stället av två lindade järnkärnor). Vanligast är olika typer av ferritmagneter.

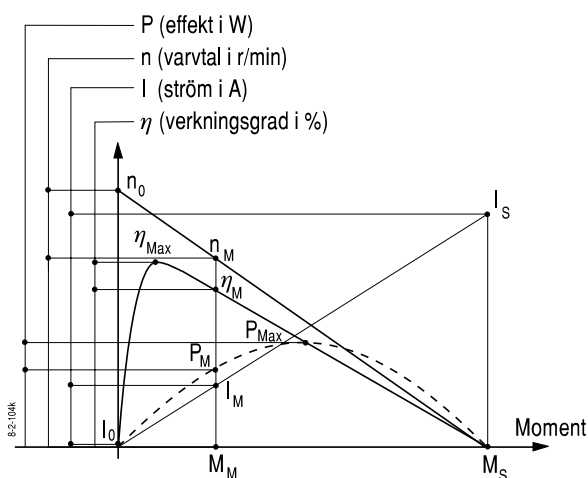
Eftersom PM-motorn saknar fältlindning, behöver endast motorns ankare anslutas, d.v.s. två ledare räcker. PM-motorns karakteristik har vissa stora fördelar jämfört med de övriga, vilket har lett till att den blivit dominerande bland likströmsmotor i effekter under 1 kW.

Karakteristika

Mest kännetecknande för PM-motorn är att vid konstant spänning både varvtal och ström är proportionella mot vridmomentet. Det är därför lätt att utföra beräkningar och dimensionera både motor och övriga systemkomponenter.



Det är också lätt att mäta varvtal och vridmoment på en motor i drift. Nedanstående diagram beskriver PM-motorns karakteristika vid konstant anslutningsspänning. Diagrammet gäller motor av typ Pittman 9236, 24 V.



M_S	Startmoment
M_M	Märkmoment
n_0	Tomgångsvarvtal
n_M	Märkvarvtal
I_0	Tomgångsström
I_M	Märkström
I_S	Startström
P_M	Märkeffekt
P_{max}	Maxeffekt
η_M	Verkningsgrad vid märklast
η_{max}	Max verkningsgrad

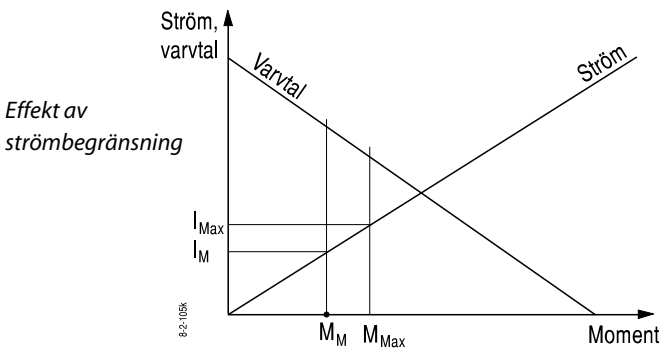
Ytterligare data som är av betydelse är PM-motorns anslutningsresistans R_A , induktans L och tröghetsmoment J_M .

Lägg märke till att startmomentet normalt är 6–8 gånger högre än märkmomentet. Eftersom märkmomentet är begränsat av motorns termiska egenskaper kan man vid intermittenta drifter ofta använda en motor med lägre märkeffekt än vad som krävs. Till exempel kan man vid 25 % intermittens (t.ex. 1 minuts arbete följt av 3 minuters vila) använda en motor vars märkeffekt är hälften av behovet. Det förutsätter naturligtvis att andra viktiga egenskaper beaktas, såsom livslängd, varvtalets belastningsberoende, motorns temperatur m.m. Om PM-motorns höga startmoment är ett problem därför att starten blir för burdus, kan strömbegränsning användas.

Strömbegränsning

De flesta på marknaden förekommande drivdon för PM-motorer har strömbegränsning som standard. Eftersom strömåtgången

är proportionell mot momentet blir start- och max-momentet också proportionella mot inställt strömgränsvärde. Denna metod skonar både motorn och den mekaniska last som den driver samt ökar motorns livslängd.



Begränsningen av strömmen till I_{max} begränsar vridmomentet till M_{max} . I_{max} väljs ofta så att motorn har tillgång till sitt fulla märkmoment. Då I_{max} överskrids stannar motorn, men fortsätter att driva på med momentet M_{max} .

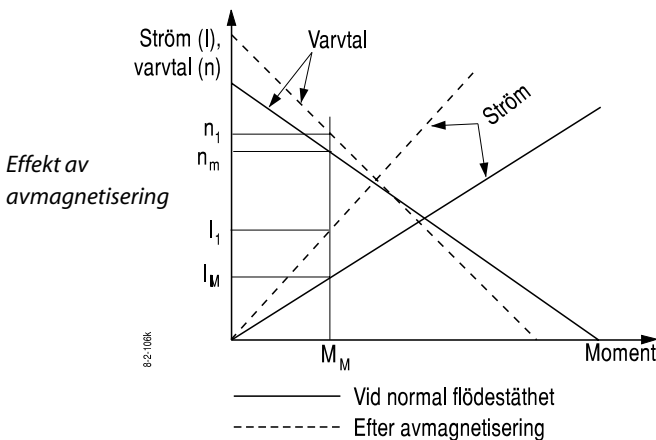
Avmagnetisering och överhettning

Viktigt att veta är att en PM-motors fältmagneter delvis kan avmagnetiseras vid höga strömtoppar. Det är t.o.m. vanligt att de inte tål direkt start vid nominell spänning utan att ett serie-motstånd inkopplas, eller att elektronik med strömbegränsning används. Det är därför viktigt att försäkra sig om att man har möjlighet att skydda motorn och att man inte behöver ett momentant vridmoment som överskrider det som motsvaras av avmagnetiseringsströmmen.

Om motorn trots allt avmagnetiseras, försvagas fältet oftast med 20–25 %. Denna försvagning gör att tomgångsvarvtalet höjs och att startmomentet sjunker proportionellt med försvagningen av flödestätheten.

Vid märkmoment blir varvtalshöjningen mindre, och därför märker man inte alltid denna partiella avmagnetisering. Samtidigt sjunker verkningsgraden, vilket medför stor risk för överhettning.

Som synes ökar varvtalet (från n_M till n_1) även vid märkmoment



vilket medför att uteffekten ökar. Strömförbrukningen ökar dock mer (från I_M till I_1), varför verkningsgraden vid konstant spänning blir avsevärt sämre. Motorn blir överhettad.

Avmagnetisering vid reversering

PM-motorer reverseras genom polomkoppling. Observera att om en PM-motor direktreverseras, d.v.s. polomkopplas så snabbt att den inte hinner stanna innan den startas i andra riktningen, ökar risken för avmagnetisering. PM-motorn är nämligen en utmärkt generator, och avger en spänning som är proportionell med varvtalet. Vid direktreversering avges denna spänning i samma riktning som anslutningsspänningen, varvid motorn under ett kort ögonblick utsätts för nästan dubbla spänningen.

Bästa sättet att räkna ut om en icke strömbegränsad PM-motor riskerar att avmagnetiseras är att dividera anslutningsspänningen U med ankarets anslutningsresistens R_A för att få fram startströmmen I_S :

$$I_S = \frac{U}{R_A}$$

Om direktreversering ska förekomma får I_S inte överstiga halva den angivna maxströmmen.

Drivdon

När spänningen till en PM-motor ändras, förflyttas hela varvtalskurvan parallellt. Detta märker man inte så mycket av när man använder drivdon, eftersom dessa i allmänhet kompenserar belastningsvariationer genom att variera drivspänningen. Om man däremot kopplar in en 24 V-motor på 12 V konstantspänning, halveras både tomgångsvarvtal, startmoment och därmed startström. Fullastmomentet blir nästan detsamma (de s.k. rotationsförlusterna minskar, varför motorn tål ett något högre kontinuerligt moment). Märkeffekten, som är produkten av moment och varvtal blir ca hälften. Toppeffekten, däremot, blir bara en fjärdedel! Därför upplevs en spänningsreglerad motor som kraftlös vid låga varvtal om inte reglerelektroniken kan kompensera spänningen när belastningen ökar. Ett modernt drivdon ger tillgång till motorns märkmoment i hela varvtalsområdet. Även om begreppen momentkonstant och spänningskonstant mest används för servomotordrifter, så förtjänar de att nämnas även här. De belyser just de proportionella förhållanden som beskrivits ovan.

Momentkonstant

Momentkonstanten K_T anges oftast i Nm/A, d.v.s. som ett förhållande mellan vridmoment och ström. Om strömmen genom motorn är känd, multiplicerar man med K_T för att få reda på vilket vridmoment motorn belastas med. K_T kan approximativt beräknas med hjälp av en motorkurva (se t.ex. sid 105) eller med ekvationen:

$$M = K_T \times I_S$$

där M är det sökta momentet, I_S är den uppmätta strömmen och K_T är momentkonstanten

Spänningskonstant

Spänningskonstanten K_E anges i volt per tusen varv i minuten (V/krpm), och uttrycker förhållandet mellan spänning och varvtal. Egentligen sammanfattar konstanten den spänning som motorn skulle generera vid olika varvtal om den användes som generator, men det sambandet överensstämmer mycket nära med sambandet mellan drivspänning och resulterande varvtal.

När man valt motorstorlek och diskuterar vilken variant på lindning som är lämpligast är det intressant att känna till följande samband:

- Moment- och spänningskonstanterna är proportionella. Ändras en motors lindning för att ge högre moment vid en given ström, kommer den också att gå långsammare vid oförändrad spänning.
- Rotorlindningens resistans är ungefär proportionellt med kvadraten på momentkonstanten (beror på vilken lämplig trådarea som finns tillgänglig).

Andra matematiska sammanhang för PM-motorer är:

$$\eta_{\max} = \left(1 - \sqrt{\frac{I_0}{I_s}}\right)^2$$

där K_{\max} betecknar den maximala verkningsgraden, medan I_0 och I_s står för tomgångs- resp. startström, $P = M \times \omega$ där P är effekten i W, M är momentet i Nm och Z står för vinkelhastigheten i radianer per sekund samt

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{M \times \omega}{U \times I}$$

där K betecknar verkningsgraden, I strömmen i A, P_1 och P_2 in- resp uteffekt, M är momentet i Nm och Z står för vinkelhastigheten i radianer per sekund.

Shunt-, serie och kompondmotorer

Till skillnad från PM-motorn skapas fältstyrkan i de här motortyperna med hjälp av elektromagneter, d.v.s. kopparlindningar på järnkärna. De förekommer mest istora anläggningsdrifter som huvuddrifter i pappersmaskiner och i stora eldrivna fordon som spårvagnar etc.

Servomotorer för likström

Den vanligaste typen av DC-servomotor är en PM-motor som optimerats och ibland kompletterats för användning i servodrifter. Faktum är att en vanlig PM-motor mycket väl kan användas i vissa enklare servodrifter. Fjärrstyrning av parabolantennar är ett bra exempel på detta. Elservostyrning av gaffeltruckar är ett annat. I det första exemplet krävs ganska hög precision, men mycket låg hastighet, i det senare krävs lite högre hastighet, men precisionskravet är lågt.

I dessa fall dimensionerar man mer utifrån behov av moment och varvtal än precision och snabbhet.

Vid högre krav på precision, respons och/eller snabbhet måste vissa egenskaper förbättras; PM-motorns ankare (rotor) utförs med liten diameter för att få lågt tröghetsmoment. Rotorns laminerade järnkärna utformas för att tillsammans med kopparlindningen ge låg induktans. Lågt tröghetsmoment ger snabbare acceleration, låg induktans snabbare svar på en styrsignal.

Fältmagnetmaterialet är oftast högvärdigare än på vanliga PM-motorer, och ger högre magnetiskt flöde. Det ger högre moment med den mindre rotorn, vilket innebär att det för servodrifter viktiga förhållandet mellan vridmoment och tröghetsmoment (M/J) blir högt.

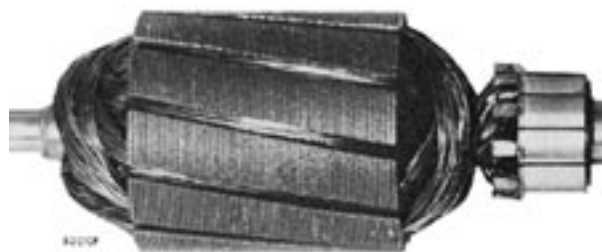
En viktig egenskap för servomotorn är också att ha så lågt momenttrippel som möjligt, d.v.s. att vridmomentet är så jämnt som möjligt under ett motorvarv. Det betyder mycket för resultatet då

ett servo ska fintrimmas för att nå bra styvhet och hög positionerings- och hastighetsprecision.



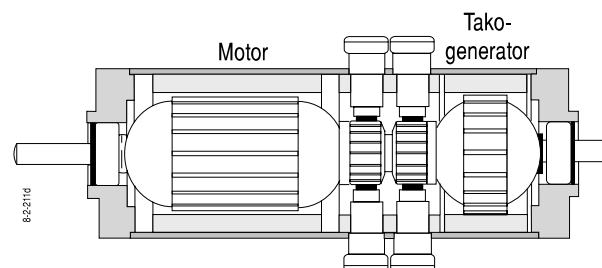
DC-servomotor med resp. utan takogenerator

Jämmt moment erhålles ofta med "spårneddat ankare" d.v.s. spåren är något vinklade i förhållande till rotorns längdriktning. Ibland "vrider" man i stället magnetiseringen av fältmagneterna på motsvarande sätt.



Spårneddat ankare

För att man ska kunna använda den optimerade PM-motorn i avancerade servodrifter krävs också att man kompletterar motorn med någon givare för att återkoppla hastigheten och/eller positionen till elektroniken. Många servomotorer är därför försedda med takogenerator.



DC-servomotor med takogenerator

Takogeneratoren består liksom själva motorn av fältmagneter och lindat ankare. Då motorn roterar ger den en analog spänning proportionell med varvtalet. När motorn belastas mer sjunker varv-

talet. Tack vare takogeneratoren får drivelektroniken reda på detta och kan kompensera med ökad spänning.

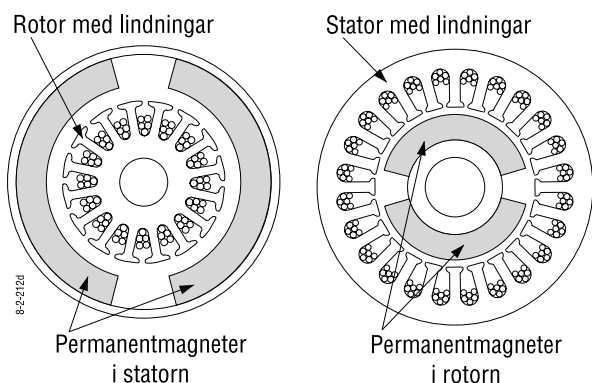
Det är viktigt att takogeneratoren är mycket fast förbunden med motorn, helst ska deras respektive rotorerna ha gemensam axel. Annars uppstår lätt högfrekvent självsvängning. Mer om takogeneratoren i avsnittet "Givare". Om man vill positionera med servomotorn behövs också lägesgivare. Vanligast är optisk pulsgivare. Se avsnittet "Givare" på sid. 290.

PM-motorn lämpar sig väl för servodrifter tack vare de logiska och linjära sambanden ström/moment och spänning/varvtal och dess höga toppmoment. Det förstnämnda gör styralgoritmerna enkla, det sistnämnda möjliggör snabba accelerationer och retardationer. Läs därför också om PM-motorn i avsnittet "Permanentmagnetiserade motorer" på sid. 279.

Borstlösa servomotorer

Då borstlöst blev på modet för en del år sedan fanns det olika åsikter om benämningarna "AC-servomotor" respektive borstlös "DC-servomotor". Detta eftersom de till sin konstruktion har mer gemensamt med växelströms- än likströmsmotorn, medan dess styrning, egenskaper och användningsområden däremot har betydligt fler likheter med DC-servomotorer än med konventionella växelströmsmaskiner.

Begreppet "borstlös servomotor" täcker in samtliga varianter av servomotorer som har elektronisk kommutering i stället för mekanisk. Vi kommer dock också att använda begreppet AC-servo, eftersom det numera är vedertaget som begrepp, vare sig trapezformad eller sinusformad strömkurva används (se "Drivdon till borstlösa servomotorer" sid. 287.)



T.v. borstförsedd motor, t.h. borstlös synkronmotor

Den borstlösa servomotorn har emellertid också en positionsgivare som upplyser drivelektroniken om rotormagneternas (polernas) fasvinkel i förhållande till fältmagneterna. Drivelektroniken strömsätter lindningarna baserat på denna givare. Detta kallas elektronisk kommutering.

En vanlig typ av kommuteringsgivare är halleffektgivaren. Den kompletteras med en optisk pulsgivare för återkoppling av hastighet och position.

En del motorer har en optisk pulsgivare med integrerad kommuteringsgivare. Andra har endast en borstlös analog resolver. Båda dessa modeller använder samma givare för återkoppling av hastighet, kommuterings- och positioneringsläge. Mer om detta i avsnittet "Givare" på sid. 290.

Borstlös synkron servomotor

Den borstlösa synkrona servomotorn kallas oftast AC-servomotor trots att den inte alltid styrs med sinusformad ström. Den består av stator med lindat fält och rotor med permanentmagneter. Magnetmaterialet är oftast neodymjärn eller samariumcobolt, men även barium- eller strontiumferrit förekommer.

Denna motortyp är vanligast bland borstlösa servomotorer, och de har också bäst prestanda. De högvärdiga magneterna ger mycket hög flödestäthet i förhållande till sin vikt och storlek. Därför får motorn högt vridmoment och lågt tröghetsmoment. Mycket snabba hastighetsförändringar blir därigenom möjliga.



Borstlös synkron servomotor

Lindningen i den borstlösa servomotorn är till skillnad från DC-servomotorn placerad i statorn. Det underlättar avledning av den värmeenergi som alstras i lindningen. Det gör det också möjligt att montera ett termoskydd direkt i lindningen, och få bästa tänkbara skydd mot överhettning.

Frånvaron av kolborstar minskar servicebehovet radikalt. Endast lagren är slitdetaljer. Den borstlösa servomotorn är liksom DC-servomotorn försedd med givare för återkoppling av hastighet och position.

Stegmotorer

Stegmotorn har fått sitt namn av att den faktiskt tar ett "steg" i taget, även om detta steg vanligtvis är roterande. Den består liksom de flesta elmotorer av en stator, en rotor och två lagerskålar.

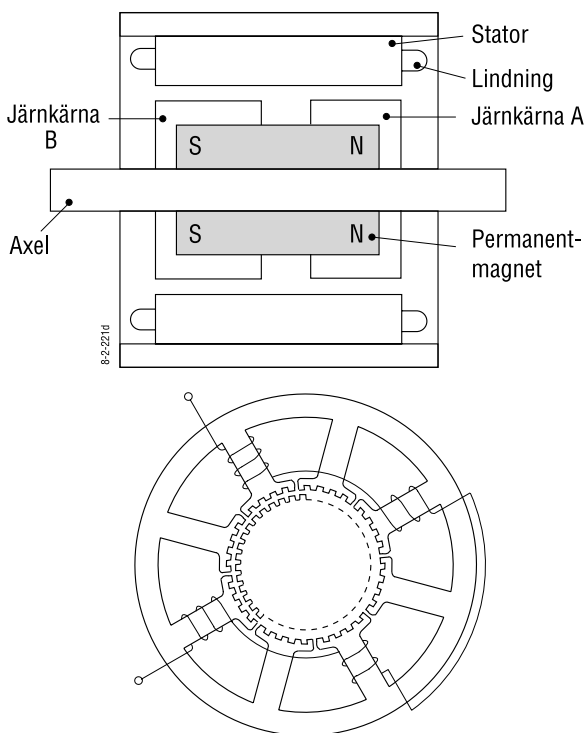
Statorn består oftast av ställaminat försedd med spår, i vilka ett antal kopparlindningar ligger. Enklare modeller har i stället ett antal spolar (billigare att linda).

Rotorn kan bestå antingen av en järnkärna (variabel reluktans), en permanentmagnet (PM) eller en permanentmagnet inlagd i en solid eller laminerad järnkärna (hybrid).

1,8°-motorn har 50 tänder i rotorn och oftast 48 eller 50 tänder i statorn. De 50 rotortänderna innebär att rotorn får 4 distinkta lägen per tand. Den har fyra lindningar, som vid unipolär drivning strömsättes separat och vid bipolär drivning strömsättes med två lindningar serie- eller parallellkopplade.

Variabel reluktansmotorn är relativt ovanlig medan PM-typen, som är enkel att tillverka och därför mycket billig, används flitigt. Den har låg effekt och relativt stora stegvinklar (större än 7,5°).

Hybridmotorer förekommer också ofta eftersom de lämpar sig för hög upplösning (200–500 helsteg per varv) och finns i många effektklasser upp till ca 3 kW. I industriella sammanhang är hybridmotorn helt dominerande.



Stegmotor, principskiss

Normalt är både stator och rotor i en stegmotor försedda med frästa tänder. Antalet kan i någon mån variera, men avsikten med dem är alltid densamma. När en eller flera lindningar strömsätts uppstår ett magnetfält som vrider rotorn tills jämvikt uppstår. Motorn har då funnit en position. Genom att med elektronikens hjälp flytta strömsättningen från lindning till lindning fås rotorn att flytta med, ett steg i taget. Detta är den enklaste formen av stegmotordrift.

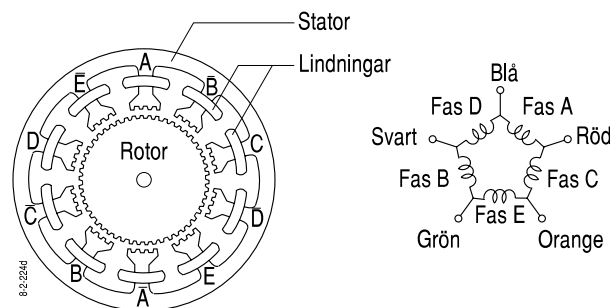
Tvåfas stegmotor

Den på marknaden dominerande hybridmotorn är av tvåfastyp och har en upplösning på 200 helsteg per varv, d.v.s. 1,8° stegvinkel. Den har ett bra pris/prestandaförhållande.

Högre upplösning kan uppnås med hjälp av halv- (400 steg per varv), mini- (800-4000 steg per varv) eller mikrostepping (5000-100 000 steg per varv). Högre upplösning ger inte proportionellt högre precision. Se "Drivdon till stegmotorer" på sid. 288.

Femfas stegmotor

Den femfasiga stegmotorn är en ovanligare variant av hybridmotorn med 500 helsteg/varv. Den har också 50 tänder i rotorn, med 10 helsteg per tand. Det ger vid helstegning något mindre vibrationer och resonanser. Vid mikrostepping är skillnaden däremot obetydlig eftersom upplösningen per tand elektroniskt kan göras lika.

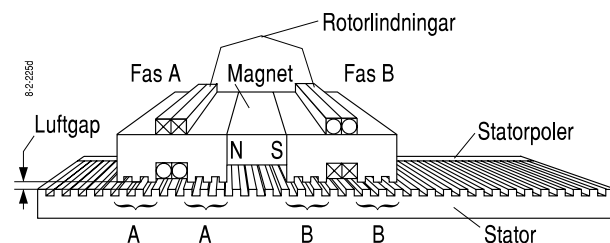


Femfas stegmotor i genomsnitt

Den positionsnoggrannhet som kan uppnås beror mest på motorns antal tänder och styvhet mot lastens påverkan. Angivna värden på vinkelnoggrannhet gäller utan belastning eller friktion. Så snart friktion påverkar motorn kommer den att stanna en bit från sin tänkta position. Vid fullt moment kan onoggrannheten uppgå till ett halvt steg. Men med hjälp av mikrostepping och intelligent motorstyrning kan noggrannheten ökas genom kompensering för friktion och korrigerande.

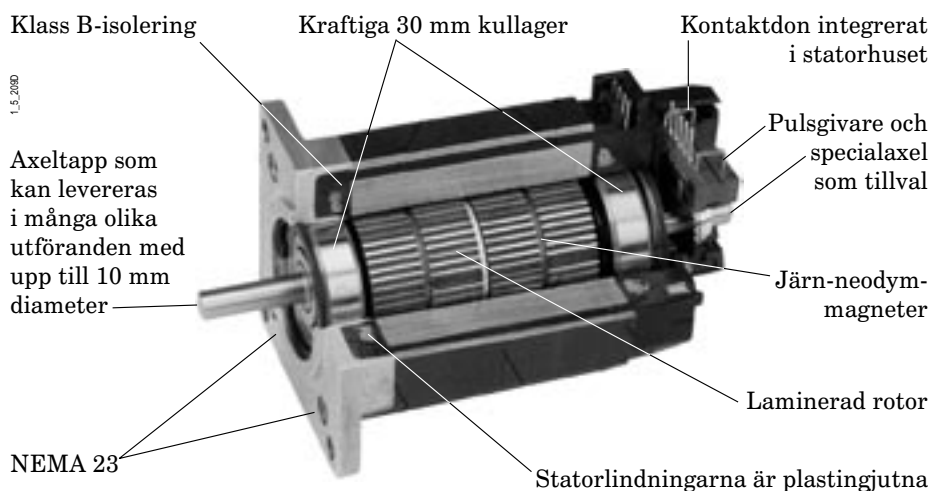
Linjär stegmotor

Den linjära stegmotorn är ovanlig. Rotorn är här bytt mot en stationär, tandförsedd rak bana. Statorn är bytt mot en vagn som består av en lindad ståljärna. Den är alltså inte statisk längre utan rör sig över banan. Strömsättning sker till den rörliga delen.



Linjär stegmotor, principskiss

Mycket få tillämpningar drar fördel av den linjära stegmotorn, eftersom systemet är dyrt och kräver mycket ren omgivning. Den har emellertid mycket höga prestanda i drifter där små laster ska flytta mycket snabbt och med hög precision mellan olika positioner.

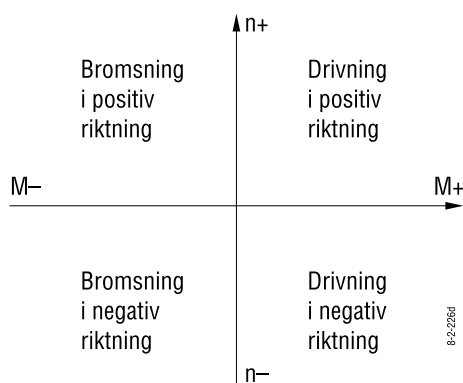


Drivdon

Drivdon till DC-motorer och DC-servomotorer

Eftersom en DC-servomotor i princip är en PM-motor kan den självfallet också drivas som en sådan. Men för vanliga PM-motorer brukar regleringen inskränka sig till varvtalet, ibland med växling av gångriktningen.

I en servodrift talar man emellertid om att reglera även inbromsning, och oftast även position. För att detta ska vara möjligt krävs att servoförstärkaren reglerar i fyra kvadranter. Det innebär att vridmomentet och hastigheten kan regleras dels i båda riktningarna, men även under inbromsning i båda riktningarna. Riktningssändringen av både hastighet och ström är omedelbar och oberoende av varandra.



Principskiss för fyrvadrantdrift

Man brukar skilja mellan två typer av servoförstärkare, moment- respektive hastighetsservo. De flesta moderna servoförstärkare på marknaden kan kopplas om mellan dessa båda typer.

I momentsservot, ibland kallat strömsservot, omvandlas börvärdet till ström till motorn. Strömnivån är proportionell mot börvärdet. Börvärdet är oftast en analog spänning (10 V, där 10 V betyder full ström i ena riktningen och -10 V full ström i den andra. Vid 0 V är motorn strömlös.

Momentsservo

Eftersom ström skapar vridmoment kan man styra motorns kraft genom att styra strömmen. I en del tillämpningar är det viktigt att bara styra momentet. Vissa upprullningsdrifter, där t.ex. en vals sköter hastighetshållningen medan en annan måste bromsas för att skapa rätt dragkraft i materialet. Bromskraften styrs av den bromsande motorns vridmoment, medan dess hastighet helt är avhängig av den dragande valsens hastighet.

Ett momentsservo behöver ingen extern återkoppling av momentet. Strömvärdet erhålls internt i servot genom att spänningsfallet över ett med motorn seriekopplat motstånd mäts.

Momentsservot används allt oftare även i positioneringssammanhang. Tack vare att moderna positioneringssystem har mycket snabba uppdateringstider, kan de styra position (och hastighet, som

ju är sträcka per tidsenhet) genom att kontinuerligt avge nya strömbörvärden. Denna typ av styrning ställer höga krav på styrutrustningen, men erbjuder en fördel som har betydelse i vissa sammanhang: Det går att via det analoga börvärdet reglera både position, hastighet och vridmoment.

Hastighetsservo

Hastighetsservot sköter både momentloopen och hastighetsloopen i fyra kvadranter. Här avser emellertid börvärdet, återigen oftast analogt ± 10 V, önskad hastighet istället för moment. Eftersom motorns spänning är proportionell mot dess varvtal verkar det enkelt. Den analoga spänningen förstärks till en spänning som passar motorn i fråga.

I mycket enkla varvtalsregleringar duger detta kanske, men oftast har man krav på att hastigheten ska vara stabil även om belastningen varierar. Som bekant minskar hastigheten på en servo- (PM-) motor vid ökad belastning. Alltså behöver man mäta antingen hastigheten eller belastningen på något sätt för att kunna kompensera för förändringar i den.

Mot-emk, IR-kompensering

Ett sätt att mäta hastigheten i ett DC-servo är att mäta motorns mot-emk, d.v.s. den spänning motorn själv genererar. Eftersom motorn har induktans är detta inte särskilt exakt, och brukar därför oftast kombineras med mätning av strömmen, som ju är proportionell med belastningen. Då kan man kompensera för belastningsökning respektive -minskning genom att öka respektive minska drivspänningen till motorn. Detta brukar kallas IR-kompensering.

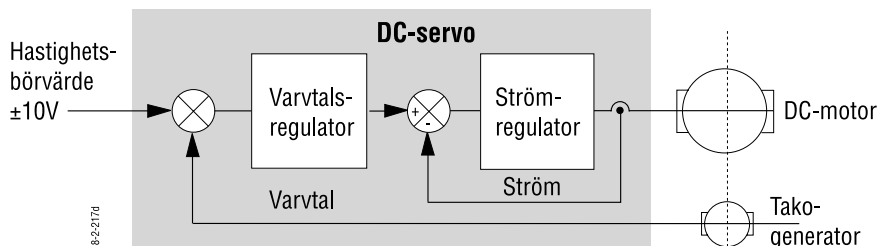
I AC-servoförstärkaren kan man enkelt mäta hastigheten på kommuteringsgivaren. Strömmätning är också möjlig, som på DC-servot.

Takoåterkoppling

Ovanstående reglering räcker dock inte alltid. När en servomotor blir varm minskar momentkonstanten och därmed mot-emk. Permanentmagneters flöde minskar nämligen lite med ökande temperatur. Det påverkar resultatet utan att servot får reda på det.

Om man vill öka ett DC-servos respons och reglernoggrannhet använder man en motor med integrerad takogenerator (se "Servomotorer för likström" på sid. 282). DC-takon är den otvivelaktigt bästa hastighetsgivaren i dessa sammanhang. Hastighetsreglering inom en avvikelse på 1 % av inställt börvärde i hastighetsområdet 1000:1 är inte ovanligt.

Till skillnad från digitala givare ger DC-takon dessutom mjuk gång i alla hastighetsområden ända ned till stillastående. Många DC-servoförstärkare har takoåterkoppling som enda alternativ, eftersom skillnaden är så påtaglig.



DC-servo med takoåterkoppling

Drivdon till borstlösa servomotorer

För borstlösa servomotorer har DC-takon inte vunnit terräng; dels har den kolborstar och dels kan den inte användas som kommuteringsgivare. Eftersom detta krävs används istället optiska puls-givare eller resolvrar, som med servoelektronikens hjälp även kan användas som hastighetsgivare. Se även "Givare" på sid. 290.

På hastighetsservot motsvarar alltså börvärdet ett varvtal på motoraxeln. Om belastningen ökar höjer servot automatiskt spänningen över motorn för att inte varvtalet ska minska. Servot reglerar alltså hastigheten, medan momentet blir vad lasten kräver. Det gör att momentet inte kan styras på samma sätt som med momentservot. Därför finns på många servoförstärkare inte bara möjlighet att ställa in maxmomentet, utan också en analog ingång för att reglera momentet externt.

Hastighetsservot underlättar för styrsystemet. Med en bra hastighetsringa i servoförstärkaren kan positioneringsstyrningen "utgå från" att hastighetsprofilen följs. Då behöver den verkliga positionen uppdateras mindre ofta.

De flesta servoförstärkare har inställbar förstärkningsfaktor (gain). En del har inte bara proportionell utan även integrerande och differentiell förstärkning. Vissa DC-servon har inställbar förstärkning av takoåterkopplingen, AC-servon har valbar pulsgivarupplösning. Variationerna är stora.

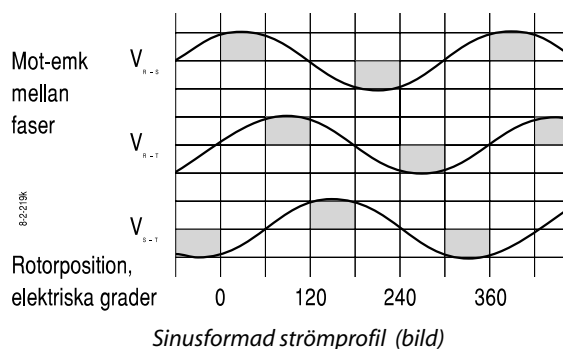
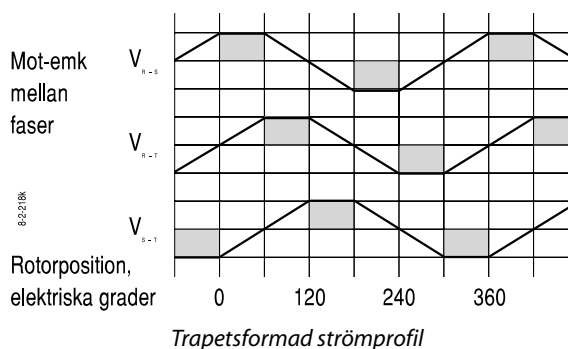
Många servoförstärkare har också gränslägesingångar. De fungerar oftast så att de inhiberar körning i den riktning gränslägesbrytaren träffats, men inte i den andra.

Nästan alla servoförstärkare har en s.k. frigivningsingång (eng. enable/disable). Med den kan man utifrån göra motorn strömlös utan att koppla från servoförstärkaren. Den används ofta i samband med att yttre fel inträffat och man snabbt vill se till att motorn blir kraftlös.

Andra viktiga och vanliga funktioner i en servoförstärkare är skyddsfunktioner för överlast, övertemperatur och överspänning. En utgång för att upplysa t.ex. ett styrsystem om att sådant har inträffat är också viktigt.

Trapets- eller sinusformad ström

Det finns huvudsakligen två sätt att styra strömmen i en AC-servomotor. Trapetsformad ström innebär att lindningarna kopplas in en i taget enligt ett mönster. Strömmen styrs inte, men under en kommuteringscykel regleras den till en viss nivå med strömbegränsningsteknik. Genom lindningens induktans får strömkurvan en trapetsformad profil



Kommuteringspunkterna ger upphov till oregelbundenheter i vridmomentet, s.k. momentrippel. Induktansen och den resulterande stigtiden för strömmen mjukar emellertid upp övergången mellan lindningarna.

I AC-servoförstärkare med sinusformad ström styrs strömnivån kontinuerligt i alla tre faserna i sinusform, så att summan av de resulterande vridmomenten blir konstant. Därigenom minskar momentrippet till ett minimum. I de flesta tillämpningar, t.ex. punkt-till-punktpositionering är trapetsservot alldeles utmärkt. I vissa tillämpningar är det emellertid nödvändigt med sinusformad ström. Vid kurvlinjestyrning och bearbetning med höga precisionskrav kan trapetsservots momentrippel synas på resultatet.

Drivdon till stegmotorer



Drivdon till 3 stegmotorer

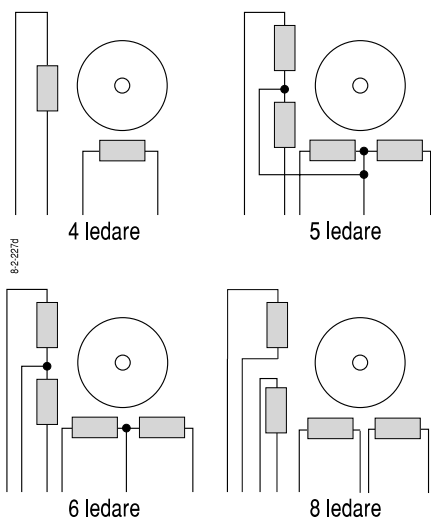
En stegmotor kräver elektronik för att fungera. Denna består principiellt av en logik- och en effektdel. Logiken omvandlar inkommande pulser till att ge lindningarna spänning eller ström på korrekt sekvensiellt sätt. Effektdelen består av effektt transistorer, vars storlek anpassas till den ström och spänning som motorn kräver för att ge önskat vridmoment och varvtal.

Stegmotorer finns med olika antal lindningar och anslutningsledare. De kan elektriskt anslutas till drivdonet på olika sätt och får då olika systemprestanda

Det finns flera principer för drivning av en stegmotor. Man brukar tala om unipolär eller bipolär drivning, och inom dessa grupper om spänningsstyrd eller strömstyrd.

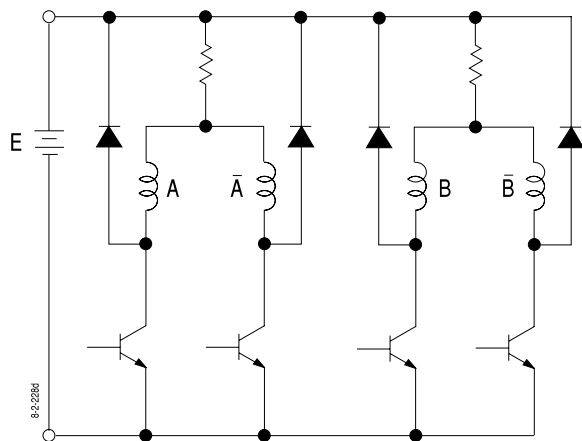
Unipolär drivning

Med unipolär avses att strömmen alltid har samma polaritet genom en lindning. Lindningen måste då ibland vara passiv, d.v.s. strömlös, för att inte motmoment ska uppstå. Man kan säga att



Stegmotorns inkoppling

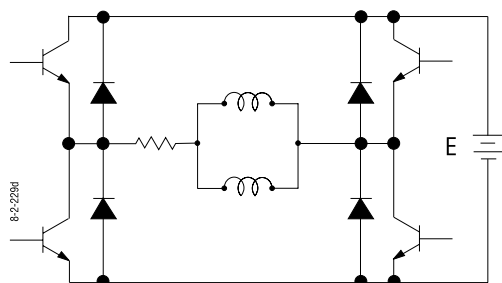
motorn inte utnyttjas helt. Unipolära drifter används dock fortfarande i vissa fall, dels av kostnadsskäl, dels därför att insvängningstiden till position kan bli kortare.



Unipolär drivning

Bipolär drivning

Vid bipolär drivning drivs strömmen i båda riktningarna, vilket innebär att vid helstegning alla lindningar är strömsatta. Motorn kan utnyttjas maximalt.



Bipolär helstegning (bild)

Spänningsstyrd drivning

Förr styrdes strömstyrkan genom att den spänning som genom lindningens resistans resulterade i önskad ström valdes. Det fungerar också bra för låga stegfrekvenser. Men lindningens induktans gör att det tar en viss tid innan strömnivån uppnåtts, och det resulterar i problem vid högre stegfrekvenser. Strömmen hin-

ner helt enkelt inte stiga innan det är dags att strömsätta nästa lindning eller byta strömriktning i stället. Eftersom vridmomentet står i stark relation till strömstyrkan blir motorn svagare.

Strömstyrd drivning

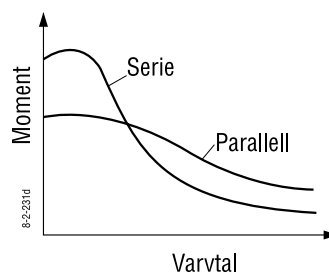
Det strömstyrda drivdonet arbetar istället med en bussspänning som betydligt överstiger den som motorn klarar kontinuerligt utan att överhettas. Då en lindning strömsätts rusar strömmen i snabbt. En krets för strömbegränsning ser till att transistorerna stängs av så fort strömmen uppnått inställd nivå, och sätts på igen då strömmen sjunkit under en viss nivå. Eftersom strömmen nu stiger mycket snabbare varje gång en lindning strömsätts, när man högre stegfrekvenser innan momentet sjunker.

Ingenting har bara fördelar, inte heller det strömstyrda stegmotordrivdonet. Högre bussspänning och den höga switchfrekvensen som används för att styra strömmen orsakar järnförluster i både rotor och stator. Vid mycket hög bussspänning måste man därför vara vaksam på motorns temperatur. Switchelektronik orsakar också alltid elektriska störningar, vilket i vissa tillämpningar är oönskat. Nackdelarna uppvägs dock nästan alltid av fördelarna. Det är det strömstyrda bipolära drivdonet som givit stegmotorn en renässans under 1980- och 1990-talet.

Med ett strömstyrt drivdon kan man negligera motorns eventuella märkspänning. I stället rättar man sig efter den ström som motorn klarar. Här är det viktigt att veta om motorns märkström avser unipolär eller bipolär koppling. På många motorer är också alla fyra lindningarnas båda ändrar åtkomliga. Då kan lindningarna vid bipolär drivning kopplas antingen i serie eller parallellt.

Tre olika fall med andra ord. Vanligast är att motorernas strömmärkning är i ampere per lindning eller ampere per fas. Om det inte särskilt framhålls att en kataloguppgift avser antingen bipolär seriekoppling eller bipolär parallellkoppling, avser den sannolikt unipolär drivning och anger då hur mycket ström som motorn tål med två av fyra lindningar alltid strömsatta. Då gäller följande tumregel:

- Vid seriekoppling, d.v.s. när de två lindningarna från varje fas är seriekopplade, klarar motorn $2^{-0,5}$ av angiven märkström.
- Vid parallellkoppling klarar motorn $2^{0,5}$ av angiven ström.



Eftersom fasinduktansen blir lägre vid parallellkoppling lämpar sig denna bäst då högre stegfrekvenser önskas. Seriekoppling ger högre moment vid en viss strömstyrka, varför den är lämplig då höga moment vid låg frekvens önskas.

Små drivdon för stegmotorer finns i chipform för kretskortsmontering. De kan hantera strömmar upp till ett par ampère. De måste emellertid kompletteras med rätt dimensionerade logikkomponenter, kondensatorer etc och är inte ekonomiskt försvarbara vid mindre serier. Industriella drivdon finns för motorer upp till 3 kW.

Stegmotorsystemet

En stegmotor styrs genom att ett pulståg skickas till drivsteget som ser till att motorns lindningar får ström i rätt ordning för att motorn ska rotera åt önskat håll. Pulstågets frekvens bestämmer motorns rotationshastighet, och uttrycks i steg/s (=Hz), rad/s, varv/s eller varv/min. Förhållandet mellan steg/s och de övriga bestäms av drivdonets och motorns upplösningar. Rotationsriktningen bestäms oftast med en särskild riktningssingång till drivsteget, som vänder drivsekvansen.

Stegmotorns vridmoment beror i lika hög grad på drivdonet som på motorn själv. Man brukar ange en stegmotors hållmoment vid nominell ström för att få ett jämförelsemått. Detta moment är i allmänhet högre än drivmomentet och inte viktigt för dimensioneringen. Det viktiga är oftast vilket moment motorn kan avge vid driftens maxhastighet.

Över en viss frekvens får en stegmotor nästan en moment-varvtalskurva som har konstant effekt ($Uteffekt = Vridmoment \times vinkelhastighet$). Alltså minskar vridmomentet proportionellt med ökande varvtal.

Sambanden är följande: Högre ström = högre vridmoment vid låga varvtal. Högre spänning = högre moment vid höga varvtal.

Om man avkräver en stegmotor för snabb acceleration eller överbelastar den på annat sätt desynkroniserar motorn. Den tappar all kraft och stannar. Det räcker med en kort överbelastning. Eftersom återkoppling saknas (open loop) upptäcks inte problemet av elektroniken.

För att en stegmotor ska fungera bra krävs att den normalt inte kommer att blockeras eller utsättas för stötbelastning. Om så ändå sker är det viktigt att detta inte medför stor olägenhet. Den typiska stegmotordriften har relativt konstant tröghetsmoment och jämnt momentbehov.

Stegmotorn bör också dimensioneras med god marginal. Risken för desynkronisering blir då betydligt mindre. Man kan eliminera osäkerheten i ett stegmotorsystem genom att montera en givare på sådant sätt att signalen från den kan jämföras med stegmotorns tänkta position. Många stegmotorer kan levereras med påbyggda pulsgivare för detta ändamål.

Givare

Givarna har till uppgift att mäta hastighet och/eller position. De viktigaste typerna är DC-takogeneratoren, pulsgivaren och resolvern.

Takogenerator

Takogeneratorns ankare har höghögsmig lindning och är i övrigt optimerad för att ge en jämn, rippelfri signal. Höghögsmig är den för att strömmen ska bli låg och inte bromsa motorn eller skapa för hög temperatur i lindningarna. Spänningen ska vara så nära proportionellt med varvtalet som möjligt. Kolborstarna innehåller ofta silver för att ge bästa anliggningsmot kollektorn. Slitaget är oftast mycket ringa, eftersom belastningen är låg, varvid kolen helt kan optimeras för att minimera friktionen. Livslängder på 20 000 timmar och mer är vanliga.

Nedan beskrivs de viktigaste egenskaperna för en DC-takogenerator:

Linearitet

Uttrycks i procentuell avvikelse från idealisk proportionell utsignal/hastighet. Lineariteten bör vara mindre än 0,5 %, gärna betydligt mindre.

Rippel

Procentuell högfrekvent avvikelse från medelspänningen. Rippel beror mest på kommuteringen, och dess frekvens är därför proportionell mot takons hastighet i varv/s gånger antalet kollektorlameller. Upp till 5 % rippel är normalt, men för riktigt fina varvtalsregleringar bör det vara lägre.



Likströms-takogenerator

Temperaturkoefficient

Uttrycker temperaturens inverkan på signalen i enheten procent per grad (%/°C). Normalt är 0,02 procent per grad Celsius eller lägre. Siffran överensstämmer med samariumkoblots temperaturkoefficient. Takogeneratorer med lägre temperaturkoefficient har temperaturkompensering. Till detta används ett motstånd vars resistans är temperaturberoende.

När takogeneratoren sitter på en värmealstrande motor, räcker det inte att ta hänsyn till omgivningstemperaturen, även motorns inverkan nästa tas med. För att hålla nere motortemperaturen kan det därför vara bra att överdimensionera motorn när tillämpningen kräver extremt god varvtalsreglering.

Optiska pulsgivare

Den optiska pulsgivaren blir allt vanligare, mest för att den är digital och digitala system ökar i popularitet. Den optiska pulsgivaren ger pulser ifrån sig, skapade av en ljuskälla, en slitsad skiva av något slag och en sensor/mottagare. De indelas i inkrementella och absoluta, och i roterande och linjära.

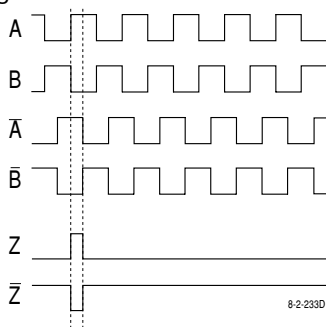


Roterande inkrementell pulsgivare.

Tillverkningstekniken för optiska pulsgivare har utvecklats snabbt. Det innebär att pulsgivare med hög upplösning är billiga.

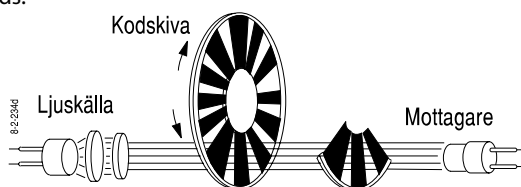
Tack vare hög upplösning kan pulsgivaren också användas för hastighetsåterkoppling. I digitala system används signalen som den är, i analoga via en D/A-omvandlare som ger pulståg ifrån sig vid rörelse. Roterande pulsgivare kan ge mellan några få och många tusen pulser per varv. De har ofta två kanaler vars pulståg är förskjutna 90 elektriska grader. På så sätt kan elektroniken känna åt vilket håll pulsgivaren roterar. De har dessutom ofta en nollpuls (indexpuls). Denna tredje kanal består av en puls per varv och används som referenspunkt. Indexpulsen är lika smal som de andra kanalernas pulser eller smalare. Indexpulsen på en pulsgivare med 2000 linjer/varv är därför inte bredare än ca en 8000-dels varv (0,045°).

Indexpulsen ger därför en hemmaposition med hög precision och repeternoggrannhet.



Pulståg från inkrementell pulsgivare.

Ljuskällan i pulsgivare är oftast lysdioder och pulsgeneratoren en ljuskänslig krets. Den slitsade skivan består antingen av en stansad metallskiva eller av ett genomskinligt material som belagts med en film med slitsat mönster. Plast-, mylar- och glasskivor används.



Uppbyggnaden hos en inkrementell pulsgivare

Det finns pulsgivare som ger olika typer av signaler. I utrustning med små avstånd och låga störnivåer används ofta vanlig 5 V TTL-logik. I industriella sammanhang används i allmänhet antingen differentiell 5 V-logik eller 24 V-logik.

Linjära inkrementella pulsgivare

Den linjära inkrementella pulsgivaren fungerar i stort sett som den roterande, men den slitsade skivan är utsträckt i längdled. Längder upp till 3 meter finns att köpa. På linjära pulsgivare finns oftast flera indexpulser som har kodats på olika sätt, så att elektroniken kan skilja på dem.

Linjära pulsgivare används främst när mätresultatet är mycket viktigt, d.v.s. när precisionskravet är stort och man inte kan acceptera inverkan av transmissionen mellan motor och mätställe. Nackdelen med den linjära givaren är att den genom sin storlek är svår att skydda, otymplig att montera. Det kan också uppstå problem när den används till positionsåterkoppling i servosystem, eftersom transmissionen mellan motoraxel och linjär rörelse kan glappa eller svikta, vilket lätt ger självsvängning.



Linjär inkrementell pulsgivare

Roterande absoluta pulsgivare

Med absolut menar man att varje position är unik. Givaren avger ett system av signaler som tillsammans talar om var man befinner sig. Det består av ett antal kanaler som kombineras binärt; den första bestämmer vilken halva av varvet man befinner sig på, nästa vilken fjärdedel, nästa vilken åttondel, o s v. Om en absolut-pulsgivare ska ge hög upplösning krävs med andra ord många kanaler. 10 kanaler, en s.k. 10 bitars pulsgivare, ger t.ex. $2^{10} = 1024$ unika positioner på ett varv, en 12 bitars ger 4096 etc.

Fördelen med absolutpulsgivaren är att systemet inte behöver hitta referenspunkt vid spänningssättning. Så fort pulsgivaren fått spänning kan den meddela styrsystemet exakt position. Nackdelen är att den är ganska dyr, och att den kräver mer av elektroniken. Den kan också oftast bara ange positionen inom ett motorvarv. Varianter finns med växel som ökar upplösningen. Likaså finns varianter med elektronisk överföring och kodning av ett stort antal varv, men även detta kräver mer av styrelektroniken.



Kodskiva till en roterande absolut pulsgivare

Resolver

En resolver består av en stator och en rotor med lindningar. Funktionen påminner i viss mån om en transformator, men ändrar sin karakteristik när den roterar.

Över en av statorns lindningar läggs en bärfrekvens på 1–20 kHz. Denna frekvens skapar i de andra faserna en sinus- resp en cosinussignal. Med hjälp av signalbehandling kan fasvinkeln mellan sinus- och cosinussignalerna mätas och visa rotorns vinkeläge.



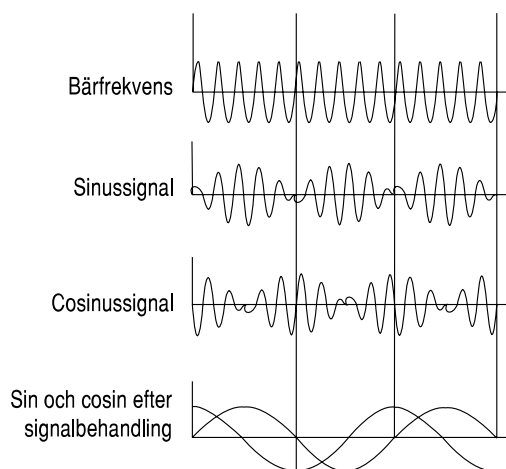
Hålaxelresolver



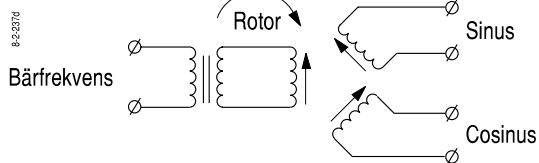
Kapslad resolver

Signalerna avges även vid stillastående, vilket gör resolutern till absolutgivare inom ett varv.

Signaler till och från resolutern



Resoluterns elschema



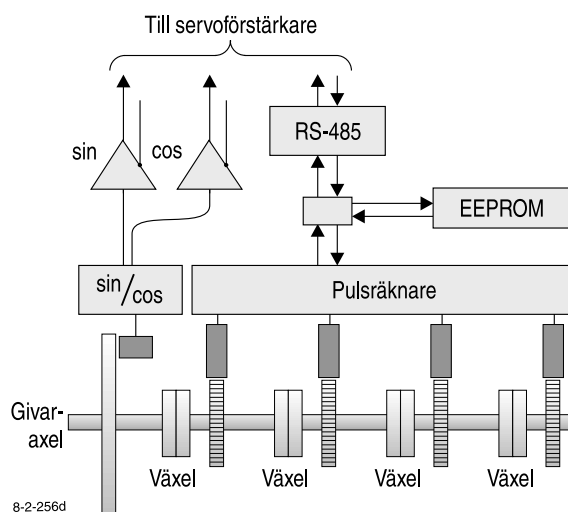
Principschema för resolver

Resolutern har funnit kommersiell användning främst i växelström��matade servosystem. Dess fördelar är dels att den är robust och har ringa temperaturkänslighet och dels att den är absolut. Servoförstärkaren behöver ingen ytterligare givare när resolutern kan svara för såväl hastighets- och positionsåterkoppling som för den elektroniska kommuteringen.

Flervarviga absolutgivare

Pulsgivaren har flera roterande glasskalar kopplade till en axel via en mekanisk växel. Vanlig utväxling på sista växelsteget är 4096:1. Om signalerna från de olika stegen kombineras får man absoluta värden inom 4096 motorvarv. Från första steget tas ett envarvigt mätvärde i form av sinus- och cosinussignaler som används till att finpositionera och återkoppla servoslingan. Systemupplösningen bestäms av antalet sin/cos-signaler per varv i kombination med pulsgivaringångens ADC-upplösning. 512 signaler och 12 bitar ADC ger t.ex. systemupplösningen 4 194 304 pulser per varv.

Det flervarviga absoluta värdet som adderas till det envarviga läses in i servoförstärkaren via en RS-485-kanal som också kan användas till att läsa/skriva värden till en minnesbuffert, t.ex. strömgränser, lindningsdata och andra motordata som förstärkaren behöver för att styra motorn. När den spänningssätts läses dessa data över från givaren via RS-485-kanalen.



Allmänt om servoteknik

Ordet servo (lat. servus) betyder slav. Därmed kan begreppet servoteknik ges en mycket vid betydelse. Här avhandlas bara sådant som berör elservosystem.

Ett normalt elservo består av följande komponenter:

- Servomotor
- Ärvärdesgivare för varvtal och/eller position
- Drivelektronik
- Styrelektronik

Drivelektroniken kallas ofta servoförstärkare, och har tillsammans med styrelektroniken till uppgift att ständigt kontrollera ärvärdesgivaren och korrigera så att skillnaden mellan ärvärde och börvärde hålls så liten som möjligt. Gränsen mellan driv- och styrelektronik ibland svår att definiera, eftersom de flesta servoförstärkare i allmänhet också tar hand om delar av styrningen.

Servosystemet består av två eller tre styrkretsar (loopar eller slingor):

1. **Strömslingan**, en intern mycket snabb krets, som styr strömmen till motorlindningarna, och därmed är direkt relaterad till motorns vridmomentet.
2. **Hastighetsslingan** är överordnad strömslingan. Här ingår oftast någon form av extern givare, t.ex. en DC-takogenerator. Signalen från denna, hastighetsärvärdet, jämförs med börvärdet, som kan komma från en potentiometer, ett styrsystem eller ett positioneringssystem. Hastighetsslingans respons är långsammare än strömslingans. Nu har vi ett hastighetsservo för noggrann reglering av hastigheten i ett stort reglerområde.
3. **Positionsslingan** jämför värdet på en positionsgivare med ett analogt eller digitalt (programmerat) börvärde, och styr hastighets- och/eller strömslingan för att minimera avvikelserna.

Strömslingan är oftast helt proportionell. Det duger bra, med tanke på att snabb respons är viktigare än att strömvärdet är exakt.

Hastighetsslingan har oftast även en integrerande term, för att ge stabilt och exakt varvtal. Det underlättar för positionsslingan om hastigheten är så nära vad systemet väntar sig som

möjligt. I hastighetsslingan kan ibland också filter finnas för att minska effekten av mekaniska glapp och bristande mekanisk styvhet.

Positionsslingan har ofta flera termer: Proportionell, integrerande, differentiell, hastighetsfeedforward och ibland även andra varianter som tillverkaren av systemet funnit ge bra resultat i vissa drifter. Positionsslingan är den långsamaste av alla. Den är överordnad de övriga, och måste därför avvakta resultatet av förändringar i hastighetsslingan innan nya positionsärvärden får ge aktion.

Det är bra att förstå att servosystem är "avvikelsestyrda". Det krävs en avvikelse mellan ärvärde och börvärde för att motorn ska röra sig. Det innebär att perfekt positionsföljning inte existerar. Frågan är bara om felet är litet nog för att kunna accepteras i en viss drift. I drifter av punkt till punkt-karaktär är man oftast inte så bekymrad över precisionen under själva förflyttningen, utan koncentrerar sig på att nå tillräcklig noggrannhet då motorn stannat. I en kurvlinjestyrt dremot, t.ex. i en skärmaskin, får felets storlek under själva rörelsen avgörande betydelse för resultatet.

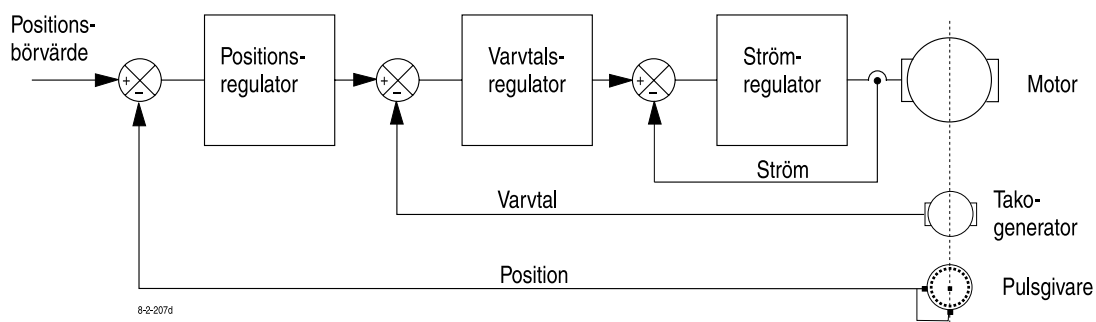
Servot måste då trimmas in så att felet aldrig överskrider maskinens specifikation. Ibland får man pruta på hastighetskravet för att få tillräcklig precision.

Skissen nedan visar principen för ett komplett positioneringssystem med servomotor. Vissa system "går förbi" hastighetsslingan, och styr motorns vridmoment i stället för varvtalet. Det sker genom att börvärdet till servoförstärkaren representerar önskad strömnivå (momentet är ju proportionellt mot strömmen).

Dessa servon är ofta lämpliga i punkt till punktdrifter. De kan däremot ibland vara olämpliga för drifter som kräver mycket jämn hastighet, t.ex. för matningsmotorer i bearbetande utrustning.

Det finns också system som utgör integrerade styr- och drivutrustningar, där samma processor sköter samtliga algoritmer i servot, och styr effektt transistorerna direkt. I vissa servodrifter utgör mänskliga sinnen "ärvärdesgivare". Styr servo i fordon är ett typiskt exempel. Motorn är då en mekanisk effektförstärkare av mänsklig rörelse. I dessa tillämpningar krävs ofta ingen annan återkoppling än ögats uppfattning.

Vanligast är dock att ett programmerbart styrsystem kommanderar motorn att flytta sig mellan olika positioner. Bl.a. verktygsmaskiner, industrirobotar och kapningsutrustningar använder denna teknik.



De tre reglerslingorna

Fördelar och nackdelar

I det här avsnittet går vi igenom fördelar och nackdelar hos de tre vanligaste motortyperna. De uppräknade egenskaperna kan vara mer eller mindre utpräglade, då det kan skilja en hel del mellan olika motorserier och tillverkare.

Den borstförsedda likströmsmotorn

Fördelar

- **Beprövad** Den borstförsedda likströmsmotorn är en sedan länge känd konstruktion som tillverkas i många olika utföranden med varierande egenskaper.
- **Mjuk gång**
- **Hög verkningsgrad i hela vartalsområdet.** Borstmotorer har oftast ett högt förhållande mellan topp- och kontinuerligt vridmoment, och med rätt inställt drivdon kan konstant moment erhållas i hela varvtalsområdet. God verkningsgrad vid högre varvtal.
- **Ekonomisk** Automatiskt tillverkade motorer i grundutförande utan högprestandamagneter kan erbjudas till låga priser. Drivdonen är också enklare och därmed billigare än till stegmotorer och borstlösa.
- **Tyst** Det mekaniska oljudet är mycket lägre än hos en stegmotordrift.

Nackdelar

- **Förslitning** Den mekaniska konstruktionen med kommutator och kolborstar begränsar livslängden och ökar underhållskostnaderna. Den faktiska livslängden för kolborstarna beror på materialval, hur väl genomarbetad konstruktionen är med avseende på god kommutering (låg gnistbildning vid drift) och inte minst hur den används i tillämpningen. Upprepade starter och stopp med högt lastmoment och högt varvtal eller drift i låg temperatur då luftens relativa fuktighet är mycket låg (ingen smörjning med vattenmolekyler) bidrar till att reducera livslängden.
- **Gnistbildning** Då det vid kommutering uppstår gnistor i större eller mindre omfattning är den borstförsedda likströmsmotorn olämplig för tillämpningar i explosiva miljöer.
- **Elektriska störningar** Kommutering med kolborstar skapar en del elektriska störningar, som måste minskas med någon lämplig avstörningsmetod.

Stegmotorn

Fördelar

- **Låga kostnader** Enkel och robust uppbyggnad, låga eller inga underhållskostnader. Förhållandevis lågt inköpspris.
- **Idealisk för positionering** Behöver till skillnad från övriga motortyper ingen rotorlägesgivare i positioneringsdrifter.
- **Högt moment vid låga varv** Vid låga varvtal har stegmotorn, i förhållande till sin fysiska storlek, ett mycket högt vridmoment.

Nackdelar

- **Ljud** Eftersom motorn drivs med ett elektriskt pulståg uppstår momentpulsationer som bl.a. ger upphov till oljud.
- **Resonans** Vid vissa frekvenser på pulståget kan man få resonansproblem som resulterar i uteblivet vridmoment och förlorad position.
- **Lågt moment vid höga varv** Moment-varvtalskurvan visar ett med ökat varvtal fallande vridmoment. Det är viktigt då man väljer stegmotor efter tillämpningens momentbehov i hela varvtalsområdet, annars riskeras att motorn stannar eller tappar position. I positioneringsdrifter med stegmotorer har man vanligtvis inte någon rotorlägesgivare, så drifttillstånd då positionen går förlorad är förödande för tillämpningen.

Den borstlösa likströmsmotorn

Fördelar

- **Tyst** Ingen pulsresonans, inget mekaniskt oljud.
- **Lättkyld** Effektförlusterna som till största delen uppstår i statorpaketet kan enkelt kylas.
- **Effektiv** Den borstlösa likströmsmotorn har vanligtvis ett högt förhållande mellan topp- och kontinuerligt vridmoment. De har också i allmänhet mycket högt vridmoment i förhållande till tröghetsmomentet, en egenskap som gjort att de i dag dominerar i snabba servodrifter.
- **Passar överallt** Då kolborstar helt saknas finns inte längre några tillämpningar som är uteslutna. Borstlösa motorer passar utmärkt för tillämpningar med mycket högt varvtal, snabba starter och stopp samt kan arbeta i både vakuum och explosiva miljöer.

Nackdelar

- **Magnetmaterial** För att kunna utnyttja motors alla goda elektriska egenskaper vill man också att motorns eget tröghetsmoment skall vara lågt varför den oftast bestyckas med mycket högklassigt magnetmaterial (kobolt-samarium eller järnneodym).
- **Tillverkning** Rotordiametern blir liten och därmed ett lågt tröghetsmoment, tyvärr ökar kostnaden då dessa magnetmaterial kostar mer än magneter i något ferritmaterial. Då rotorn gjorts lång med liten diameter blir också statorpaketet längre och smalare. Detta medför att det är mer arbetsintensivt och kostsamt att lägga in lindningshårvorna i statorpaketet.
- **Drivelektronik** För att driva motorn behöver rotoraxeln någon form av rotorlägesgivare som används för att styra kommuteringen. Denna givare samt en mer komplicerad drivelektronik ökar kostnaden för ett komplett drivpaket.

Linjärmotorn (synkrontyp)

Fördelar

- **Hög hastighet** Ca 10 m/s
- **Tyst** Inga mekaniska oljud
- **Hög upplösning** Kan förses med högupplösande linjära pulsgivare för positionering med mikrometernoggrannhet.
- **Inget spel** Driften innehåller inga komponenter som kan ge mekaniskt spel.

Nackdelar

- **Magnetmaterial** För att motorns goda egenskaper ska kunna utnyttjas måste den bestyckas med högklassigt magnetmaterial.
- **Skala och linjÄrlager** Vid höga hastigheter och hög upplösning måste den linjära pulsgivaren hålla samma klass som önskad noggrannhet.
- **Kapsling** Måste förses med yttre kapsling när den ska användas i svåra miljöer.

Engelsk-svensk ordlista

absolute positioning *absolutpositionering* Positionering med referens till en nollpunkt (utgångsposition). Se även *incremental positioning*.

acceleration *acceleration* Hastighetsförändring som funktion av tiden. Mäts i rad/s² (ibland steg/s² för stegmotorer) för roterande acceleration (vinkelacceleration) och m/s² för linjär acceleration.

accuracy *noggrannhet* Skillnaden mellan förväntad och verklig position. Se även *relative accuracy* och *repeatability*.

ambient temperature *omgivande temperatur* Temperaturen hos omgivande materia, vanligtvis luften i motorns eller annan utrustnings omedelbara närhet.

amplifier *förstärkare* Inom servoterminologin ofta använt för servoförstärkaren, dvs den kraftelektronik som förstärker signalen från styrsystemet och driver motorn. Se även *drive*.

armature *ankare* Rotorn i en likströmsmotor med kommutator. Se även *rotor*.

ascii *ascii* Amerikansk standardkod för informationsutbyte. Ger ett nummer till varje bokstav i alfabetet, siffra och tecken. Möjliggör kommunikation mellan olika datorer och styrsystem.

back emf *spänningskonstant, mot-emk* Uttryck för genererad spänning i förhållande till varvtal då en motor roteras med extern kraft (som generator). Mäts i V/ rad/s, eller V/krpm (volt per 1000 r/min). Kallas även *voltage constant*.

CAN controller area network *fältbuss för seriekommunikation* Exempel på CAN-protokoll som används till rörelsestyrning är DeviceNet och CANopen. Det senare stöds bl.a. av Baldor och Digiplan. Vanligen används partvinnad skärmad kabel (tvåtråds kommunikation).

chopper drive *chopper-drivsteg* Pulsbreddsmodulerat drivsteg, som reglerar strömstyrkan till en stegmotor. Oftast bipolärt, d.v.s. ström i båda riktningarna förekommer i lindningarna.

closed loop *återkopplat styrsystem* Styrsystem med givare e.d. som kontinuerligt upplyser styrelektroniken om verklig hastighet, moment, eller position. Även en människa kan "återkoppla".

cogging *kuggning* En term som beskriver den ojämnhet i en rörelse som orsakas av ojämnt vridmoment. Störande kuggning uppträder ofta i enkla varvtalsreglerade motorer eller servosystem.

commutation *kommatering* Drivströmmens växlingssekvens, som krävs för att motorn ska röra sig kontinuerligt. DC-motorer kommuteras med kolborstar och kollektor. På AC-servomotorer eller borstlösa DC-motorer avläser en givare rotorns position i förhållande till statorn. Se även *rotor* och *stator*.

continuous stall torque *kontinuerligt moment med låst rotor* Anger det moment som en motor kan avge kontinuerligt med låst rotor utan att överhettas. Används ofta som märkmoment för servomotorer.

datum (position) *hemmaläge* Referensposition i ett positioneringssystem. Oftast mekaniskt definierat med hjälp av givare. Kallas även *home* eller *zero (position)*.

deceleration *retardation* Hastighetssänkning som en funktion av tiden (negativ acceleration)

desynchronised *desynkroniserad* När en stegmotor upphör att följa sitt pulståg, och antingen stannar och står stilla med ett tjutande ljud eller rycker utan kontroll sägs den vara desynkroniserad.

detent torque *moment strömlöst* Det moment som krävs för att vrida axeln på en strömlös motor. Begreppet används oftast för stegmotorer, eftersom det är försumbart för de flesta andra motortyper. Kallas även *residual torque*.

drive *drivsteg, drivare, drivdon* Detta begrepp används mest för stegmotorns drivelektronik. Den omvandlar pulståget till omkoppling av effekten till stegmotorns lindningar, så att motorn rör sig stegvis eller kontinuerligt. Det engelska begreppet används ibland också för servoförstärkare, *servo drive*.

duty cycle *driftcykel* Beskriver en motors körschema över tiden.

dynamic braking *dynamisk broms* En passiv metod att bromsa en DC- eller AC-servomotor. Strömmen kopplas bort, och motoranslutningarna kortsluts, direkt eller via effektmotstånd. Resultatet blir en bromsning efter en exponentiell funktion, med sjunkande bromsmoment med hastigheten. En vanlig metod för nödbromsning vid strömbortfall.

efficiency *verkningsgrad* Förhållandet uteffekt/in-effekt. Uttrycks oftast i procent.

home (position) *hemmaläge* Referensposition i ett positioneringssystem. Oftast mekaniskt definierad med hjälp av givare. Kallas även *zero* eller *datum* (*position*)

hysteresis *hysteres* Ett systems avvikelse i respons till en ökande eller minskande signal.

incremental positioning *inkrementell positionering, kedjemåttpositionering* Positionering relativt den punkt man befinner sig, d.v.s. en sträcka snarare än en position avses. Se även *absolute positioning*.

indexer *positioneringsenhet* Avser oftast positioneringsutrustning för stegmotorer.

inertia *tröghetsmoment* Ett mått på materias motstånd mot vinkelhastighetsförändring. Ju högre tröghetsmoment något har, desto högre vridmoment kräver det för att accelerera eller retardera. Tröghetsmomentet är en funktion av ett objekts material och form. Mäts i kgm^2 .

inertia ratio *tröghetsmomentförhållande* Förhållandet mellan lastens och motorns eget tröghetsmoment. En av många aspekter att beakta vid dimensionering av positioneringssystem. Speciellt för servosystem är det olämpligt med ett för högt förhållande; det resulterar lätt i självsvängning eller svårigheter att snabbt nå korrekt position.

interpolation *interpolering* Koordinerad rörelse mellan en eller fler axlar. Vanligast är linjär och cirkulär interpolation, vilket innebär att två motorer som driver ett xy-bord beskriver linjära eller cirkulära rörelser i planet.

ISA Industry Standard Architecture Expansionsbuss och standard för instickskort till pc-datorer. Förekommer inte så ofta i nya datorer, där man i stället använder instickskort av PCI-typ.

limit switch *gränslägesbrytare* Elektrisk brytare som ger signal till styrsystem eller drivdon att motorn nått gränsen för rörelsens område. Positioneringssystem har ofta även programvarugränslägen, d.v.s. man kan i ett parameterregister ange inom vilket område rörelser får programmeras.

microstepping *mikrostegning* Ett sätt att elektroniskt skapa ett större antal pulser per varv på en stegmotor, d.v.s. öka upplösningen. Ger stegmotorn jämnare gång, lägre ljudnivå, högre precisionen och bättre repeternoggrannhet.

motion controller *programmerbart motorstyrsystem*.

open loop *oåterkopplat styrsystem* Styrring utan ärvärdesgivare. De flesta stegmotorsystem förlitar sig på att motorn går till angiven position utan efterkontroll, medan ett servosystem kräver återkoppling för att fungera.

opto-isolation *optokoppling* En metod att sända en signal från en enhet till en annan utan krav på gemensam jordpotential. Signalen överförs via en ljuskälla (oftast en lysdiod, LED), och mottages med en ljussensor (fototransistor).

overshoot *översvängning* I hastighetsservo: Då en motor först går förbi och sedan tillbaka till önskad hastighet vid acceleration el. retardation. I positionsservo: Då motorn går förbi och sedan tillbaka till önskad position.

PCI Peripheral Component Interconnect Expansionsbuss och standard för instickskort till pc-datorer.

power *effekt* För motorer är uteffekten lika med vridmoment \times hastighet (Se torque och velocity). Mäts i W (watt)

PWM pulse width modulation *pulsbreddsmodulering* Ett digitalt pulståg omvandlas till analoga spänningar, t.ex. via ett RC-filter.

pulse rate *pulsfrekvens* Pulser per sekund, motsvarar hastigheten hos en stegmotor eller pulsstyrd servomotor.

ramping *rampning* Acceleration och retardation av en motor.

rated torque *märkmoment, specificerat moment* En motors momentkapacitet vid ett givet varvtal. För stegmotorer bör detta moment även relateras till en given typ av drivsteg och dess spänning och ström/fas.

regeneration *regenerering, effekttåterföring* Då en motor bromsas elektriskt blir den en generator och avger effekt till drivelektroniken. Drivelektroniken och dess nätaggregat måste dimensioneras därefter, särskilt då stora tröghetsmoment ska bromsas eller vertikal last sänkas.

relative accuracy *relativ noggrannhet* Används för att definiera mikrostegens inbördes noggrannhet. I det perfekta systemet bör varje mikrosteg vara lika stort, men både motorn och drivsteget har egenheter, som ger avvikelser, upp till denna siffra. Kallas även step-to-step accuracy

repeatability *repeternoggrannhet* Anger hur nära man återkommer till en position upprepade gånger från samma håll varje gång (unidirectional) eller från valfritt håll (bidirectional). Repeternoggrannheten i ett positioneringssystem är ofta viktigare än dess precision. Den är också alltid bättre, ofta upp till 10 gånger.

residual torque *moment strömlöst* Det moment som krävs för att vrida axeln på en motor som är strömlös. Begreppet används oftast för stegmotorer, eftersom det är försumbart för de flesta andra motortyper.

resolution *upplösning* Det minsta inkrementet i ett positioneringssystem. Avgörs för stegmotorn av antalet steg per varv, och för servomotorn av antalet pulser per varv eller längdenhet på systemets ärvärdesgivare. OBS! Förväxla ej med precision! Ett servosystem kan oftast inte positionera med last intill en enda puls! En stegmotor "fjädrar" från sin position vid belastning, vid högupplösande mikrostegning många pulser. Upplösningen bör vara minst 5, helst 10 gånger önskad precision.

resolver *resolver* En typ av lägesgivare, som inom ett varv ger absolut positionsangivelse. Ger analog information, som med en elektronikkrets kallad resolver eller digitalomvandlare kan omvandlas till digital. Resolvern används ofta för återkoppling av hastighet och position i AC-servosystem.

resonance *resonans, självsvängning* För stegmotorer ett tillstånd som uppstår då motorn körs vid en frekvens nära motorns egenfrekvens. Resonansproblem minskar avsevärt med ökande upplösning i servosystem uppträder självsvängning då den styrsignal som genereras av återkopplingen är så stark att resultatet ger en rörelse som är större än felet var från början.

revolution *varv* Ett varv på en roterande axel. Används ofta för att ange roterande sträcka. Ibland i talspråk också för hastighet, som r/s (revolutions/s) el. r/min , r/min (revolutions per minute).

ringing *ringning* En högfrekvent oscillation eller självsvängning, ofta orsakad av för hårt trimmat servosystem.

RMS root mean square *kvadratisk medelvärde* Inom motortekniken används RMS-ström och RMS-moment för att jämföra med motorns märkmoment.

rotor *rotor* Den roterande delen i en motor.

RS-232C En datakommunikationsstandard vanlig inom industrin p.g.a. relativt låg störkänslighet och enkelt protokoll. Data skickas seriellt. Standarden definierar spänning och tid, så att olika tillverkares utrustningar kan kommunicera med varandra. En eller flera RS-232C-portar är standard på varje pc.

RS-422 och **RS-485** Utveckling av RS-232C, med en differentiell hårdvarukonfiguration, som ger förbättrad immunitet mot störningar. Kan användas över längre avstånd, och ger möjlighet att kommunicera med fler utrustningar via s.k. multi-drop-konfiguration.

servo amplifier *servoförstärkare*

servo controller *servostyrsystem*

servo *servo* Ett system bestående av ett antal enheter, som kontinuerligt övervakar aktuell information (t.ex. hastighet, position), jämför dem med önskade värden, och utför korrigering för att minimera avvikelserna.

slew *slew* Den del av en rörelse som sker med konstant hastighet skild från noll. Avser ibland ett systems angivna maximala konstanta hastighet.

stall torque *startmoment* Vridmomentet då motorn låses mekaniskt. Se även *Continuous stall torque*.

start-stop frequency *start-stopp-frekvens* Den högsta frekvens med vilken en stegmotor med angiven last kan starta och stanna utan rampning av frekvensen. Kallas även *start-stop speed*.

static torque *hållmoment*

stator *stator* Den statiska del av en motor som skapar det magnetiska fältet kring rotorn.

stepper motor drive *drivsteg till stegmotor*

step-to-step accuracy *relativ noggrannhet* Används för att definiera mikrostegets inbördes noggrannhet. I det perfekta systemet bör varje mikrostege vara lika stort, men både motorn och drivsteget har egenheter, som ger avvikelser, upp till denna siffra. Kallas även *relative accuracy*.

stiffness *styvhet* Förmågan att motverka rörelse vid påverkan av yttre vridmoment (för roterande rörelser) eller kraft (vid linjära rörelser).

synchronism *synkronisering* En motor som roterar vid en hastighet som motsvarar ett applicerat pulståg är "i synkronisering", eller "går synkront". Se även *desynchronised*.

tacho generator *takogenerator* En givare som ger en analog spänningsignal som är proportionell mot hastigheten. Är oftast konstruerad som en DC-motor, men borstlösa finns också. Även en pulsgivare kan användas som digital takogenerator. Frekvensen är proportionell med hastigheten. Pulsgivaren är mindre störningskänslig än takogeneratoren, men ger en mer olinjär signal vid låg hastighet.

tachometer *takometer* Samma som *tacho generator*.

torque *vridmoment* Kraft som anbringas på en radie i roterande riktning. Mäts i Nm (Newtonmeter).

torque constant *momentkonstant* En motors förhållande mellan vridmoment och strömstyrka. Mäts i Nm/A.

torque-to-inertia ratio *moment/tröghetsmoment-förhållande* En motors förhållande mellan dess vridmoment och tröghetsmoment. Ju högre förhållandet är, desto snabbare kan motorn accelerera. Viktigt då hög acceleration av last med lågt tröghetsmoment krävs.

torsional stiffness *torsionsstyvhet* Mått på en växels vridstyvhet på utgående axeln med låst ingående axel. Anges i Nm/rad. Nm/bågminut vore mer praktiskt, eftersom växels spel oftast mäts i bågminuter, d.v.s. 1/60 grad.

TTL (Transistor-to-Transistor Logic) *TTL* Vanlig typ av digital logikkrets eller enhet som används i många digitala elektronikutrustningar. En logisk nolla representeras av <0,8 V och logisk etta av 2,5–5 V. Vanlig signal från t.ex. optiska pulsgivare.

tuning *trimning* Återkopplade styrsystem kräver trimning för att ge rätt tidskonstanter och nivåer på den styrsignal som resulterar från återkopplingen och därmed undvika instabilitet.

velocity profile *hastighetsprofil* En kurva som beskriver hastighetsändring som en funktion av tiden. Ett utmärkt sätt att definiera en servo- eller stegmotordrift grafiskt, eftersom både hastigheter, accelerationer och stilleståndstider definieras.

velocity *hastighet* Roterande eller linjär hastighet. Roterande mäts i rad/s (radianer/sekund) el. varv/min, linjär i m/s. För stegmotorer används även steg/sekund, sps (steps per second).

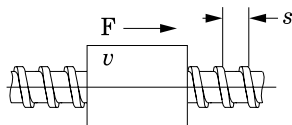
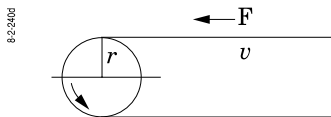
winding *lindning* Stator och/eller rotor är oftast lindad i en elmotor. Vanligast material är koppar.

voltage constant *spänningskonstant, mot-emk* Uttryck för genererad spänning i förhållande till varvtal då en motor roteras med extern kraft (som generator). Mäts i V/rad/s eller V/krpm (Volt per 1 000 r/min). Kallas även *back emf*.

zero (position) *hemmaläge* Referensposition i ett positioneringssystem. Oftast mekaniskt definierat med hjälp av givare. Kallas även *datum* eller *home (position)*.

Formler för mekaniska beräkningar

Vridmoment, varvtal, hastighet



M	= moment	Nm
F	= kraft	N
r	= radie	m
s	= stigning	m
v	= hastighet	m/s
n	= varvtal	varv/min
ω	= vinkelhastighet	rad/s

(1) $M = F \times r$

(3) $M = \frac{F \times s}{2\pi}$

(2) $n = \frac{v \times 60}{r \times 2\pi}$

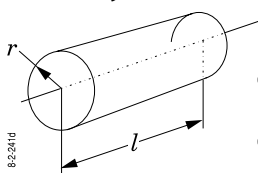
(2a) $\omega = \frac{v}{r}$

(4) $n = \frac{v \times 60}{s}$

(4a) $\omega = \frac{v \times 2\pi}{s}$

Tröghetsmoment

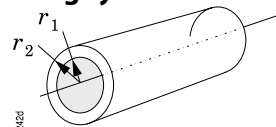
Massiv cylinder



(5) $J = \frac{m \times r^2}{2}$

(5a) $m = \rho \times \pi r^2 \times l$

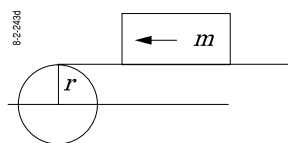
Ihålig cylinder



(6) $J = \frac{m (r_1^2 + r_2^2)}{2}$

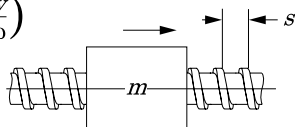
J	= tröghetsmoment	kgm ²
m	= massa	kg
ρ	= specifik vikt	kg/m ³
l	= längd	m
r	= radie	m
r ₁	= innerradie	m
r ₂	= ytterradie	m

Roterande till linjär rörelse



(8) $J = m \times r^2$

(7) $J = m \left(\frac{v}{\omega}\right)^2$

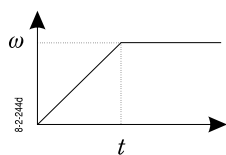


(9) $J = m \left(\frac{s}{2\pi}\right)^2$

(10) $J_2 = J_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$

J = den linjärt förflyttade massans tröghetsmoment (inkl. rem el. dyl.) överfört till roterande rörelse (kgm²)
 m = linjärt förflyttad massa (kg)
 J₁ = tröghetsmoment för ursprunglig axel
 n₁ = varvtal för ursprunglig axel

Vinkelacceleration och vinkelförflyttning



(11) $\alpha = \frac{\omega}{t}$

(12) $\Theta = \frac{\alpha \times t^2}{2} = \frac{\omega^2}{2\alpha}$

α	= vinkelacceleration	rad/s ²
t	= accelerationstid	s
ω	= uppnådd vinkelhastighet	rad/s
θ	= vinkelförflyttning	rad

Accelerationsmoment (exkl. friktion)

(13) $M_\alpha = \alpha \times J$

Effekt

(14) $P_{ut} = M_L \times \omega$

(15) $P_{in} = U \times I$

Ström- och spänningsbehov

(16) $I = \frac{1}{K_T} (M_L + M_F + \omega \times D)$

(17) $U = \frac{n}{1000} \times K_E + I \times R_T$

M _α	= accelerationsmoment	Nm
J	= Totalt tröghetsmoment	kgm ²
P _{ut}	= uteffekt	W
M _L	= belastande vridmoment	Nm
P _{in}	= ineffekt	W
U	= anslutningsspänning	V
I	= ström	A
K _T	= momentkonstant	Nm/A
M _F	= motorns statiska friktion	Nm
D	= viskös friktionskoefficient	$\frac{Nm}{rad/s}$
K _E	= spänningskonstant	V/krpm
R _T	= anslutningsresistans	ohm

Enhetsomvandling

Så här använder du tabellerna: Välj den enhet du vill utgå från bland raderna i tabellens förspalt. Välj sedan den enhet du vill förvandla till bland kolumnerna i tabellens huvud. Multiplicera sedan det värde du har med den faktor som står i skärningspunkten för den rad och kolumn du valt.

Exempel: Du vill förvandla 159 kpm till lb-ft. Du finner kpm på andra raden i förspalten och lb-ft i sjätte (sista) kolumnen i tabellhuvudet. På andra raden i sjätte kolumnen finner du faktorn 7,23. Du multiplicerar 159 kpm med 7,23 och får 1 150 lb-ft.

Tröghetsmoment

	till	kgm ²	kgcms ²	oz-in-s ²	lb-in-s ²	oz-in ²	lb-in ²	lb-ft ²
från	kgm ²	1	10,2	141,6	8,85	5,47 × 10 ⁴	3,42 × 10 ³	23,73
	kgcms ²	0,098	1	13,68	0,868	5,36 × 10 ³	335	2,32
	oz-in-s ²	7,06 × 10 ⁻³	0,0719	1	0,0625	386,09	24,13	0,1676
	lb-in-s ²	0,113	1,152	16	1	6180	386,09	2,681
	oz-in ²	1,83 × 10 ⁻⁵	1,87 × 10 ⁻⁴	2,59 × 10 ⁻³	1,62 × 10 ⁻⁴	1	0,0625	4,34 × 10 ⁻⁴
	lb-in ²	2,93 × 10 ⁻⁴	2,985 × 10 ⁻³	0,0414	2,59 × 10 ⁻³	16	1	6,94 × 10 ⁻³
	lb-ft ²	0,0421	0,429	5,968	0,373	2304	144	1

Vridmoment

	till	Nm	kpm	kpcm	oz-in	lb-in	lb-ft
från	Nm	1	0,102	10,2	141,6	8,85	0,738
	kpm	9,81	1	100	1390	86,8	7,23
	kpcm	0,0981	0,01	1	13,9	0,868	0,0723
	oz-in	7,06 × 10 ⁻³	7,20 × 10 ⁻⁴	0,072	1	0,0625	5,20 × 10 ⁻³
	lb-in	0,113	0,0115	1,15	16	1	0,0833
	lb-ft	1,356	0,138	13,83	192	12	1

Massa

	till	g	kg	oz	lb
från	g	1	1000	0,0353	2,205 × 10 ⁻³
	kg	10 ⁻³	1	35,3	2,205
	oz	28,35	0,0284	1	0,0625
	lb	454	0,454	16	1

Rotationshastighet

	till	rad/s	varv/min
från	rad/s	1	9,549
	varv/min	0,1047	1

Tryck, mekanisk spänning

	till	Pa	bar	kp/cm ² , at	torr, mm Hg	atm	lbf/in ² , psi
från	Pa	1	10 ⁻⁵	1,0197 × 10 ⁻⁵	7,5006 × 10 ⁻³	9,8692 × 10 ⁻⁶	6,14504 × 10 ⁻³
	bar	100 000	1	1,0197	750,06	0,98692	14,504
	kp/cm ² , at	9 8066	0,98066	1	735,56	0,96784	14,223
	torr, mm Hg	133	1,332 × 10 ⁻³	1,3595 × 10 ⁻³	1	1,3158 × 10 ⁻³	0,019337
	atm	101 320	1,0132	1,0332	760	1	14,696
	lbf/in ² , psi	6 894,8	68,948 × 10 ⁻³	0,070307	51,715	0,68046	1

Toleranser för hål och tappar

Toleransbeteckningar för tappar och hål (nominella diametrar i mm), översatta till toleransmått i µm.

Nominell diameter		Axlar										Hål				
>	<	g6	h6	h7	h8	h9	h10	j6	j7	k6	m6	D10	G7	H7	H8	H9
0	3	-2	0	0	0		0	+4	+6	+6	+8	+60				
		-8	-6	-10	-14		-40	-2	-4	0	+2	+20				
3	6	-4	0	0	0	0	0	+7	+8	+9	+12	+78	+16	+12	+18	+30
		-12	-8	-12	-18	-30	-48	-1	-4	+1	+4	+30	+4	0	0	0
6	10	-5	0	0	0	0	0	+7	+10	+10	+15	+98	+20	+15	+22	+36
		-14	-9	-15	-22	-36	-58	-2	-5	+1	+6	+40	+5	0	0	0
10	18	-6	0	0	0	0	0	+8	+12	+12	+18	+120	+24	+18	+27	+43
		-17	-11	-18	-27	-43	-70	-3	-6	+1	+7	+50	+6	0	0	0
18	30	-7	0	0	0	0	0	+9	+13	+15	+21	+149	+28	+21	+33	+52
		-20	-13	-21	-33	-52	-84	-4	-8	+2	+8	+65	+7	0	0	0
30	50	-9	0	0	0	0	0	+11	+15	+18	+25	+180	+34	+25	+39	+62
		-25	-16	-25	-39	-62	-100	-5	-10	+2	+9	+80	+9	0	0	0
50	80	-10	0	0	0	0	0	+12	+18	+21	+30	+220	+40	+30	+46	+74
		-29	-19	-30	-46	-74	-120	-7	-12	+2	+11	+100	+10	0	0	0
80	120	-12	0	0	0	0	0	+13	+20	+25	+35	+260	+47	+35	+54	+87
		-34	-22	-35	-54	-87	-140	-9	-15	+3	+13	+120	+12	0	0	0
120	180	-14	0	0	0	0	0	+14	+22	+28	+40	+305	+54	+40	+63	+100
		-39	-25	-40	-63	-100	-160	-11	-18	+3	+15	+145	+14	0	0	0
180	250	-15	0	0	0	0	0	+16	+25	+33	+46	+355	+61	+46	+72	+115
		-44	-29	-46	-72	-115	-185	-13	-21	+4	+17	+170	+15	0	0	0
250	315	-17	0	0	0	0	0	+16		+36	+52	+400	+69	+52	+81	+130
		-49	-32	-52	-81	-130	-210	-16		+4	+20	+190	+17	0	0	0
315	400	-18	0	0	0	0	0	+18	+29	+40	+57	+440	+75	+57	+89	+140
		-54	-36	-57	-89	-140	-230	-18	-28	+4	+21	+210	+18	0	0	0
400	500	-20	0	0	0	0	0	+20	+31	+45	+63	+480	+83	+63	+97	+155
		-60	-40	-63	-97	-155	-250	-20	-32	+5	+23	+230	+20	0	0	0

Gängade axeltappar (DIN 332)

Tappdiameter	7-10	>10-13	>13-16	>16-21	>21-24	>24-30	>30-38	>38-50	>50-85
Gänga	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
Gänglängd	9	10	12,5	16	19	22	28	36	42

Isolationsklasser

I elmotorer används isolationsmaterial av olika kvalitet. Isolationsmaterialen delas in i olika klasser som anger den högsta temperatur materialet tål. Klasserna betecknas med bokstäverna A, E, B, F och H.

Omgivningens temperatur, tillåten temperaturstegring och en bestämd temperaturreserv är faktorer som avgör hur mycket en motor kan belastas. Märkeffekten gäller normalt vid omgivningstemperaturen 40 °C. Om omgivningen är varmare måste effektuttaget minska.

Isolationsklass	A	E	B	F	H
Omgivningstemperatur, °C	40	40	40	40	40
Tillåten temperaturstegring, °C	60	75	80	105	125
Temperaturreserv, °C	5	5	10	10	15
Sluttemperatur, °C	105	120	130	155	180

Kapslingsklasser för elektrisk materiel

Kapslingsklasser för elektrisk materiel enligt svensk standard SS IEC 529. Beteckningarna har formen **IP x y**.

- Den första siffran (x) anger den grad av skydd som kapslingen ger, såväl för personer som för det som finns inuti.
- Den andra siffran (y) anger den grad av skydd som kapslingen ger mot skador av inträngande vatten.

Skydd mot fasta föremål (x)

0	Inget skydd	
1	Skydd mot fasta föremål större än 50 mm	Kroppsdela, t.ex. hand, men inget skydd mot avsiktligt inträngande. Fasta föremål större än Ø 50 mm.
2	Skydd mot fasta föremål större än 50 mm	Fingrar etc., som inte är längre än 80 mm. Fasta föremål större än Ø 12 mm.
3	Skydd mot fasta föremål större än 50 mm	Verktyg, trådar etc., med diameter eller tjocklek större än 2,5 mm. Fasta föremål större än Ø 2,5 mm.
4	Skydd mot fasta föremål större än 50 mm	Trådar eller remsor, tjockare än 1,0 mm. Fasta föremål större än Ø 1,0 mm.
5	Skydd mot damm	Damm kan inte tränga in i sådan mängd att normal drift äventyras.
6	Dammtät	Damm kan inte tränga in (eng. <i>damn tight</i>).

Skydd mot inträngande vatten (y)

0	Inget skydd	
1	Skydd mot droppande vatten	Lodrätt droppande vatten får inte ha skadlig inverkan.
2	Skydd mot droppande vatten vid högst 15° lutning	Lodrätt droppande vatten får inte ha skadlig inverkan även om kapslingen lutar upp till 15° från sitt normala läge.
3	Skydd mot strilande vatten	Strilande vatten i upp till 60° från lodlinjen får inte ha skadlig inverkan.
4	Skydd mot överstrilning med vatten	Vatten som strilar mot kapslingen får inte ha skadlig inverkan från vilken riktning det än kommer.
5	Skydd mot vattenstrålar	Vatten som spolas genom ett munstycke mot kapslingen får inte ha skadlig inverkan från vilken riktning eller i vilken mängd det än kommer.
6	Skydd mot tung sjö	Vatten från tung sjö eller vatten som spolas i kraftiga strålar får inte tränga in i kapslingen i skadlig mängd.
7	Skydd mot inverkan av kortvarig nedsänkning i vatten	Vatten i skadlig mängd får inte tränga in när kapslingen sänks ned i vatten vid ett visst tryck och under viss tid.
8	Skydd mot inverkan av långvarig nedsänkning i vatten	Materielen är lämpad för långvarig nedsänkning i vatten under villkor som ska anges av tillverkaren.

Innovative solutions, flexibility and know-how

GOTHENBURG

Domestic sales

Östergrens Elmotor AB

Herkulesgatan 1D
Tel. +46 31 764 41 00
Fax +46 31 764 41 99

STOCKHOLM

Östergrens Elmotor AB

P.O. Box 6045
se-171 06 Solna
Tel. +46 8 546 111 00
Fax +46 8 546 111 99
info@ostergrens.se

FERNDOWN

Östergrens Ltd.

ÅLBORG

Östergrens Elmotor A/S

Søparken 2
dk-9440 Åbybro
Tel. +45 70 20 50 31
Fax +45 70 20 50 41
info@ostergrens.dk

BAD ABBACH

Östergrens GmbH

CHANGZHOU, CHINA

Östergrens Elmotor Co.Ltd
Design and production.



www.ostergrens.com
info@ostergrens.com