

Kjell Pernestål

Elektriska drivsystem

för maskiningenjörer



Andra upplagan

Elektriska drivsystem för maskiningjörer



Kjell Pernestål

2:a upplagan

Förord

Användning av elektrisk energi är en självklarhet idag. Elektriskt drivna maskiner, verktyg, belysning, uppvärmning, datorer osv. är ett naturligt inslag i vardagen. Kunskap om hur det elektriska systemet är uppbyggt och används är en nödvändighet för alla yrkesutövande ingenjörer.

Ett drivsystem är kombinationen av en motor och den maskin motorn drar. I detta kompendium behandlas motorn som en maskin som levererar ett vridmoment på en roterande axel och hur denna kopplas till den dragna maskinen. Vidare behandlas det elektriska system som finns i alla anläggningar och som förser motorn med elektrisk energi.

Ett avsnitt om elektrisk mät- och övervakningsutrustning har inkluderats. Där behandlas vanliga typer av givare och sensorer och hur dessa kan användas för att styra och övervaka processutrustning. I bilagor sammanfattas grunderna i kretsteori för lik- och växelström för den som vill vidga sina kunskaper.

Använda beteckningar i ekvationer mm är de som normalt används i eltekniska sammanhang och kan därför skilja sig från de som vanligen används inom maskinteknik. Således står U för elektrisk spänning, I för elektrisk ström, R för resistans, τ för (mekaniskt) moment, P för effekt osv.

Slutligen vill jag tacka för alla som kommit med bidrag och synpunkter. Särskilt vill jag tacka Marcus Berg och Ingrid Drevin för korrekturläsning.

Uppsala juli 2015

Kjell Pernestål

Förord till andra upplagan

I andra upplagan har vissa moment förtydligats och kompletterats. Vidare har en exempelsamling inkluderats.

Uppsala oktober 2019

Kjell Pernestål

Innehållsförteckning

1 Elektriska drivsystem.....	6
1.1 Allmänt.....	6
1.2 Allmänt om drivsystem.....	6
1.3 Energiprincipen.....	7
1.4 Verkningsgrad.....	7
1.5 Dimensionering av drivsystem.....	8
1.6 Sammanfattning.....	8
1.7 Övningsuppgifter.....	9
2 Elektriska grundbegrepp.....	10
2.1 Elektriska ledare och isolatorer.....	10
2.2 Elektriska spännings- och strömkällor.....	10
2.3 Elektrisk ström och spänning.....	11
2.4 Resistans och motstånd: Ohms lag.....	12
2.5 Elektrisk effekt och energi.....	13
2.6 Hur strömmar och spänningar fördelar sig.....	14
2.7 Mätning av ström, spänning och resistans.....	16
2.8 Sammanfattning.....	16
2.9 Övningsuppgifter.....	17
3 Viktiga elektriska samband.....	18
3.1 Elektrisk ström och magnetiskt fält.....	18
3.2 Induktion.....	18
3.3 Kraftverkan.....	19
4 Principer för elektriska maskiner.....	21
4.1 Generatoren.....	21
4.2 Motorn.....	22
4.3 Övningsuppgifter.....	23
5 Växelspänning och växelström.....	24
5.1 Grunder.....	24
5.2 Effekt och effektivvärde.....	24
5.3 Effektberäkning vid växelström.....	25
5.4 Trefassystemet.....	28
5.5 Trefassystemet: definitioner.....	30
5.6 Effektberäkning i 3-fassystem.....	31
5.7 Sammanfattning.....	32
5.8 Övningsuppgifter.....	33
6 Elnätets utformning.....	34
6.1 Växel- och likström.....	34

6.2 Det svenska elnätet.....	35
6.3 Transformatorn.....	38
6.4 Elektriska ritningar, symboler och konventioner.....	40
6.5 Skytning.....	43
6.6 Sammanfattning.....	44
6.7 Övningar.....	45
7 Elektriska motorer.....	46
7.1 Motors elektriska funktion.....	46
7.2 Växelströmsmotorer.....	47
7.3 Synkronmotorer.....	49
7.4 Asynkronmotorer.....	50
7.5 Likströmsmotorer.....	55
7.6 Specialmotorer.....	57
7.7 Utföranden.....	61
7.8 Kringutrustning.....	63
7.9 Sammanfattning.....	66
7.10 Övningsuppgifter.....	67
8 Drivsystem.....	68
8.1 Inledning.....	68
8.2 Växlerverkan mellan motor och last.....	68
8.3 Startförloppet.....	69
8.4 Motors arbetspunkt.....	71
8.5 Startmomentet.....	74
8.6 Ändring av varvtal.....	75
8.7 Frekvensstyrning.....	78
8.8 Avbrottsfri elförsörjning.....	81
8.9 Elfordon.....	82
8.10 Sammanfattning.....	83
8.11 Övningsproblem.....	84
9 Givare, sensorer mm.....	86
9.1 Givare och vakter.....	86
9.2 Mätssystem.....	87
9.3 Lägesgivare.....	93
9.4 Positions- och vinkelgivare.....	93
9.5 Nivågivare.....	94
9.6 Kraftgivare.....	94
9.7 Flödesmätare.....	96
9.8 Temperaturmätning.....	96
9.9 Accelerometrar och vibrationsmätning.....	97
9.10 Sammanfattning.....	98

9.11 Övningsuppgifter.....	98
10 Elsäkerhet.....	99
10.1 Inledning.....	99
10.2 Det primära skyddssystemet.....	99
10.3 Säkringar.....	100
10.4 Jordfelsbrytare.....	102
10.5 S- och CE- märkning och förstärkt isolering.....	103
10.6 Riskmiljöer.....	103
10.7 Trasigt material.....	104
10.8 Skyltning.....	104
10.9 Brand.....	104
10.10 Olyckor.....	105
10.11 Lagar och förordningar.....	105
10.12 Märkning.....	105
10.13 Kablar.....	106
10.14 Kontaktdon.....	107
10.15 Eget kopplingsarbete.....	107
Bilaga 1 Kretsteori.....	108
B1.1 Allmänt.....	108
B1.2 Kretsteorins byggstenar.....	108
B1.3 Ohms och Kirchhoffs lagar.....	109
B1.4 Potentialvandring.....	110
B1.5 Nätanalys.....	111
B1.6 2-poler.....	112
B1.7 Några vanliga kopplingar.....	113
B1.8 Elektrisk effekt.....	115
Bilaga 2 Växelströmsteori.....	117
B2.1 Allmänt.....	117
B2.2 Vektorrepresentation.....	118
B2.3 Tillämpning av fasorer.....	119
B2.4 Impedans och reaktans.....	120
B2.5 $j\omega$ -metoden och det komplexa talplanet.....	120
B2.6 Fundamentala kretsar.....	122
B2.7 Trefassystem.....	125
B2.8 Övningsuppgifter.....	127
Svar till övningsuppgifter.....	128
Kommentarer till lösningar.....	130

1 Elektriska drivsystem

1.1 Allmänt

Energiförbrukningen i Sverige är ca 440 TWh/år (år 2010), varav ca 140 TWh är elektrisk energi producerad i huvudsak i vatten- och kärnkraftverk. Elenergi är ingen energikälla utan en energiform som används för att förflytta och fördela energi i form av el från vatten- och vindkraftverk och från kraftvärme- och kärnkraftverk till användare.

Man talar om **elkrafts**systemet och **elkraftteknik** och om **kraftverk** och **kraftledningar** för produktion och distribution av elektrisk energi. Begreppet **kraft** i detta sammanhang har annan innebörd än begreppet **kraft** i mekaniken. De får inte förväxlas! På engelska används "electric power technology" dvs teknik för elektrisk effekt.

Utbyggnaden av elsystemet har haft stor betydelse för den tekniska utvecklingen. Stora mängder energi kan på ett enkelt och mycket miljövänligt sätt förflyttas, fördelas och användas till de mest skiftande ändamål. Elektrisk energi används för att driva motorer och datorer, till lampor och för uppvärmning av bostäder, ugnar, svetsning osv. Vårt informationssystem med internet och datorer i centrum drivs med el. Användning av el för fordonsdrift ökar.

Syfte och mål med denna bok är att beskriva det elkrafttekniska systemets uppbyggnad och användning och hur man väljer, dimensionerar och styr elektriska motorer mm.

1.2 Allmänt om drivsystem

Med ett **elektriskt drivsystem** menas en elmotor som driver en (mekanisk) **last** av något slag. Exempel på laster kan vara pumpar, hissar, lyftkranar, rulltrappor och robotar. Förbindelsen mellan motor och last kan bestå i en **roterande axel** eller en **linjär rörelse** i form av en pistong, kedja, vajer eller liknande. I axeln överförs ett (vrid-) **moment** och i pistongen en **kraft**. För härledning av nedanstående samband hänvisas till standardböcker i mekanik.

För ett roterande system gäller för överförd mekanisk effekt (Watt eller Nm/s)

$$P_{rot} = \omega_{mek} \cdot \tau \quad \text{Ekv 1.2.1}$$

där ω_{mek} är den roterande axelns vinkelfrekvens och τ är **momentet** (Nm). Vinkelfrekvensen kan beräknas från varvtalet $\omega_{mek} = 2\pi f_{mek} = 2\pi r/60$ (rad/s) där f_{mek} är axelns (rotations-) frekvens (varv per sekund eller Hz) och r är varvtalet i rpm (rotationer per minut).

För linjärt överförd effekt gäller

$$P_{lin} = v \cdot F \quad \text{Ekv 1.2.2}$$

där v är pistongens hastighet (m/s) och F är dess kraft (N) i rörelseriktningen.

I ett **hydrauliskt drivsystem** drar en motor en pump som ger olje**flöde** med högt **tryck** som sedan används för att driva kolvar eller hydrauliska motorer etc. Pumpen kan dras av en elmotor.

I ett **pneumatiskt** system drar en motor en kompressor som ger ett tryckluft**flöde** under **tryck**. Kompressorn kan dras av en elmotor. För överförd effekt för hydrauliska system gäller;

$$P_{hydr} = v \cdot F = v \cdot A \cdot p = \Phi \cdot \quad \text{Ekv 1.2.3}$$

där p är trycket (N/m²), A kolvens area (m²), v kolvens hastighet (m/s) och Φ flödet (m³/s).

5 Växelspänning och växelström

De första elsystemen byggde på användning av batterier. De höll spänningen på sina terminaler (nästan) konstant, dvs spänningen var lika stor hela tiden, och kom därmed att kallas för **likspänning** och **likström**. På engelska är beteckningen 'direct voltage' och "direct current" - DC. I och med utbyggnaden av elsystemen med stora generatorer och långa överföringsavstånd visade det sig att växelspänning, som varierar sinusformat med tiden, hade stora fördelar, se kap 6. Eftersom spänningen varierar (växlar i amplitud) hela tiden blev den engelska beteckningen "alternating current" - AC. De svenska benämningarna är **växelspänning** och **växelström**.

Vårt elsystem är baserat på växelspänning och växelström. Likström förekommer endast i speciella applikationer som i bilar, i elektronik eller där särskilda krav på motordrift förekommer som i spårvagnar. Likström har även fått användning för storskalig elenergiöverföring med mycket hög spänning - HVDC (High Voltage Direct Current).

5.1 Grunder

Om man låter en spole rotera med konstant varvtal kring en axel vinkelrät mot ett homogent magnetfält så kommer en periodisk spänning att induceras så som beskrivits i Kap 4.1. Om spolens vinkelfrekvens är ω får man en inducerad periodisk sinusformad spänning $U(t)$;

$$U(t) = \hat{U} \sin(\omega \cdot t) \quad \text{Ekv 5.1.1}$$

dvs spänningen ändrar värde hela tiden. Den karakteriseras av **periodtiden** T och **amplituden** \hat{U} , se figur 5.1.1. I stället för periodtid används **frekvensen** f .

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Ekv 5.1.2}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad \text{Ekv 5.1.3}$$

Figur 5.1.1 Den inducerade spänningen som funktion av tiden för en spole som roterar i ett homogent magnetfält.

Om man ansluter en resistans R till generatormen så får man en sinusformad ström

$$I(t) = \frac{U(t)}{R} = \frac{\hat{U} \cdot \sin(\omega \cdot t)}{R} = \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad \text{Ekv 5.1.4}$$

dvs strömmen blir också sinusformad och beskriven av strömmens **toppvärde** (amplitud) \hat{I} samt vinkelfrekvensen ω . I allt växelströmsarbete utgår man från att spänning och ström är sinusformade.

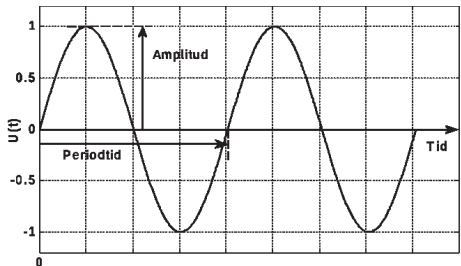
5.2 Effekt och effektivvärde

När växelström går genom en **resistans** uppstår en tidsberoende effektutveckling

$$P(t) = U(t) \cdot I(t) = R \cdot I(t)^2 \quad \text{Ekv 5.2.1}$$

där $I(t)$ är strömmen genom och $U(t)$ är spänningen över resistansen.

Det är opraktiskt och svårt att mäta tidsberoende strömmar och spänningar. Man har därför infört begreppet effektivvärde för ström och spänning (på engelska rms-value). Effektivvärdet utgår från att man vill beräkna den elektriska medeleffekten.

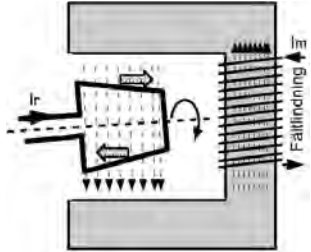


7 Elektriska motorer

7.1 Motorns elektriska funktion

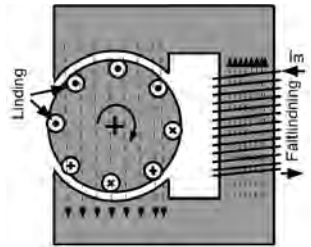
En elektrisk motor omvandlar elektrisk energi till mekanisk, vanligtvis i form av moment på en roterande axel. Det finns även motorer som ger en linjär rörelse. Den principiella grunden för alla motorer är kraftverkan mellan ström i ledare och ett magnetfält. Figur 7.1.1a visar utformningen av en likströmsmotor. En strömgenomfluten ledare, formad som slinga, påverkas genom kraftverkan med ett magnetfält skapat med en strömgenomfluten spole (fältlindning). Den roterande delen kallas **rotor** och den fasta **stator**. Ledarna i rotor och stator kallas för **lindningar** (med ledare).

Figur 7.1.1a Förenklad bild av en motor. Fältlindningen skapar ett magnetiskt flöde i stator och rotor. Ström i rotorns lindning skapar en magnetisk kraftverk an som vill vrida rotorn. När rotorn riktat in sig och kraftverkan upphör vänder man strömmens riktning och rotationen kan fortsätta.



För att öka det magnetiska flödet i motorn görs även rotorn av järn och de strömförande ledarna placeras i spår i rotorn, dvs järnet i rotorn roterar med axeln. Genom att ha flera lindningar och spår i rotorn kan man åstadkomma ett kontinuerligt verkande moment. Genom att förse statorn med polskor, som minskar gapet mellan stator och rotor, kan flödet i stator/rotor ökas och längden på området där kraftverkan sker kan ökas, se figur 7.1.1b.

Figur 7.1.1b Praktiskt utförande av en motor. Rotorn består av järn som roterar med de strömgenomflutna ledarna. Polskor på statorn minskar gapet till rotorn och ökar längden på det område där kraftverkan sker. Ledarna ligger i spår i rotorn.



Allt eftersom rotorn vrider sig sker en polomkoppling av rotorns lindningar med en **kommutator**, dvs kontaktbleck på axeln utformade så att omkopplingen sker av sig själv. För att överföra ström till rotorns lindningar används glidande kontakter av kol (egentligen grafit).

Storleken på statorns flöde

$$\Phi_{stat} = B_{stat} \cdot A_{stat} = k_{stat} I_{stat}; B_{stat} = k_{stat} I_{stat} \quad \text{Ekv 7.1.1} \quad \text{där } A_{stat} \text{ är den effektiva arean på flödet genom maskinen och } I_{stat} \text{ är strömmen i fältlindningen och } k_{stat} \text{ är en maskinkonstant som beror på utformningen av statorn.}$$

Momentet på axeln beror på strömmen i rotorlindningen

$$\tau_{rot} = k'_{rot} \cdot B_{stat} \cdot I_{rot}^{eff} \cdot r \cdot l_{rot} = k_{rot} \cdot B_{stat} I_{rot}^{eff} \quad \text{Ekv 7.1.2} \quad \text{där } k'_{rot} \text{ är en maskinkonstant för rotorn, } I_{rot}^{eff} = 2 \cdot N_{lind} \cdot I_{rot} \text{ är den effektiva strömmen i rotorn (där } N_{lind} \text{ är antalet lindningsvarv och det är 2 lindningar, } I_{rot} \text{ är strömmen tillförd till lindningen). Vidare är } r \text{ radiella avståndet till lindningen (momentarmen) och } l_{rot} \text{ rotorns axiella längd.}$$

Samtliga mått är ”effektiva” i så mott att de inte är direkt mätbara. När rotorn med lindning roterar i det magnetiska flödet kommer en **motriktad** spänning att induceras i rotorns lindning, se figur 7.1.2.

$$U_{rot}^{ind} = \frac{d\Phi}{dt} = B_{stat} \cdot N_{lind} \cdot 2 \cdot r \cdot l_{rot} \cdot \omega = k_{ind} \cdot I_{stat} \cdot \omega \quad \text{Ekv 7.1.3} \quad \text{där } \omega \text{ är rotorns vinkelfrekvens.}$$

8 Drivsystem

8.1 Inledning

Ett drivsystem består av en motor och den last som motorn ska dra. Lasten kan bestå av någon typ av maskin såsom en fläkt, en pump, transportör, kross, vagn etc. Lasten kan beskrivas i termer av momentbehov och varvtal på en axel. Även tröghetsmomentet är en dimensionerande parameter.

Konstruktörens uppgift är att finna och anpassa en motor så att den kan dra lasten. Två villkor måste uppfyllas:

- Momentet som motorn kan leverera måste alltid vara större än lastens behov, annars stannar motorn. Detta gäller även startförlopp, momentana lasttoppar etc.
- Varvtalet måste anpassas till lastens. Om varvtalet måste variera så måste detta inkluderas i valet av lösning.

8.2 Växelverkan mellan motor och last

Moment och varvtal är kopplade till effekten P_{mek}

$$P_{mek} = \omega \cdot \tau \quad \text{Ekv 8.2.1,}$$

där ω är vinkelfrekvensen i radianer per sekund eller $\omega = 2 \cdot \pi \frac{r}{60}$ där r är varvtalet i rpm och τ är

momentet i Nm. Enligt energiprincipen så är den energi (och effekt) som motorn avger i varje ögonblick lika stor som den energi (och effekt) som lasten behöver, dvs

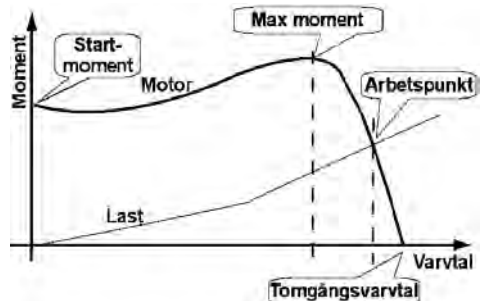
$$P_{motor} + P_{last} = 0 \quad \text{Ekv 8.2.2}$$

Vi inför nu teckenkonventionen att avgiven effekt (från t ex en motor) har negativt tecken och tillförd effekt (till en last) med positivt tecken.

För både motor och last finns normalt ett samband mellan moment och varvtal. Ekv. 8.2.1 kan skrivas som

$$P_{mek}(\omega) = \omega \cdot \tau(\omega) \quad \text{Ekv 8.2.1 b}$$

Figur 8.2.1 Typisk momentkurva för en asynkronmotor. Momentkurvan för en typisk last har lagts in och arbetspunkten har identifierats.



I figur 8.2.1 ovan finns en generell beskrivning av sambandet mellan moment och varvtal för en typisk elmotor och en typisk last t ex en fläkt av något slag. Motorn strävar efter att uppnå det varvtal där avgivet moment är lika stort som lastens momentbehov. Så länge som det moment motorn kan avge är större än lastens behov kommer varvtalet att öka. Den belastade motorn finner ett varvtal där det avgivna momentet (och effekten) är detsamma som lastens moment- (och effekt-)behov.

Om lastens storlek ändras, så kommer motors varvtal att ändras. I figur 8.2.2 visas en försto-

9 Givare, sensorer mm

För att styra och kontrollera ett drivsystem eller en process behövs information som anger processens läge, tillstånd, driftförhållanden etc. Givare och sensorer ger denna information. I en modern process kan kostnaderna för styr- och övervakningssystemet med givare och kablage utgöra upp till 50 % av investeringen och en betydande del av kostnaderna för drift och underhåll avser just dessa delar.

Informationen från givare används t ex för att styra lägen, temperaturer, varvtal etc, ofta genom att utnyttja datorbaserade regulatorer. För att få överblick över en process vill man vanligen överföra informationen till ett kontrollrum, där en operatör kan följa processen. Informationen lagras i datorer som ett led i kvalitetskontroll och för planering av drift och underhåll.

Idag används i stor utsträckning elektriska sensorer, som ger en elektrisk spänning eller ström som representerar den mätta storhetens storlek.

9.1 Givare och vakter

Man skiljer vanligen mellan **givare** som ger en signal proportionell mot den mätta storheten och **vakter** som ger en signal om en förutbestämd gräns över- eller underskrids.

Givare och vakter består av en sensorkropp som omvandlar den fysiska informationen (t ex temperatur, kraft, läge etc) till en elektrisk signal. För vissa typer av sensorer krävs en aktiv signalomvandling i form av förstärkare eller dator. Givare och vakter kan också kräva en spänningsmatning för att fungera.

Det finns i princip fyra olika typer av **utsignal** från givare och vakter;

- Mekanisk eller elektrisk brytare med en funktion som en vanlig strömbrytare. Sensorkroppen skapar på något sätt en mekanisk rörelse som öppnar eller sluter en eller flera kontakter. Exempel är en vanlig termostatkontakt, en mekanisk eller en tryckstyrd kontakt (som en nivåvakt respektive en sk pressostat). Utsignalen kan ta ett av två lägen; till/från.
- Analog givare som ger en analog utsignal i form av en spänning eller ström proportionell mot det mätta värdet. Analoga givare förses vanligen med förstärkare, som ger en ström proportionell mot den mätta storheten mellan 4 och 20 mA. Om strömmen av någon orsak är = 0, så är det ett tecken på ett fel. En variant är en spänning mellan 1 och 6 V där spänningen är = 0 är en felindikering. Exempel är en nivåmätare i en tank.
- En vakt ger en digital signal för att indikera ett av två lägen (Till / Från eller "0" / "1") ofta med en spänning vanligen 0 eller 5 V. I praktiken är en spänning < 1,2 V digital "0" och > 2,7 V digital "1". Andra spänningar förekommer.
- Digitalt värde proportionellt mot den mätta storheten. Informationen kommer i form av ett digitalt "ord". Om ordet har 8 digitala bitar har man en upplösning av 1:256. Det digitala värdet överförs med en "buss" till den dator som ska processa värdet. Exempel är en digital termometer.

10 Elsäkerhet

10.1 Inledning

Användning av el på fel sätt innebär risker. Överbelastning, fel typ av material eller materialfel kan leda till bränder och personsador, i värsta fall till död. Skadat elektrisk material innebär i sig en potentiell risk och av den orsaken ska elektrisk utrustning som kablar, skåp, lådor osv placeras i särskilda utrymmen där ingen annan verksamhet sker eller placeras så att de inte kan skadas av annan verksamhet.

Om en människa får ström genom kroppen kan detta leda till brännskador och i värsta fall till död. Av den anledningen måste ett aktivt arbete hela tiden pågå för att minska riskerna.

10.2 Det primära skyddssystemet

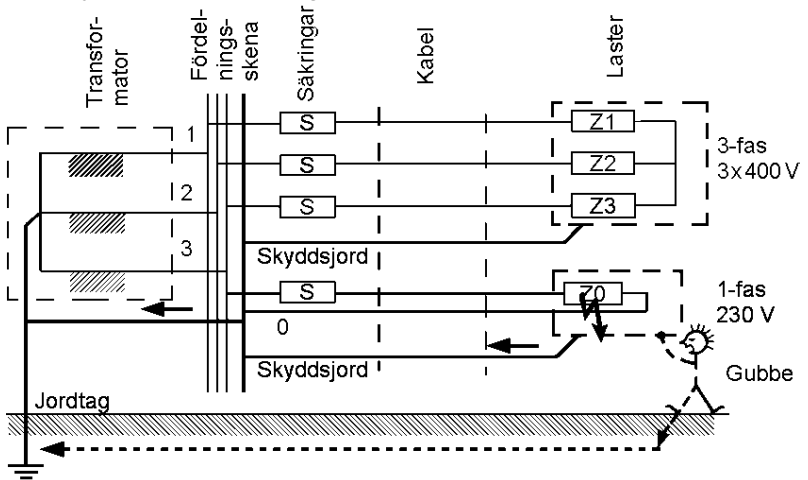
10.2.1 Skyddsjord

Det primära skyddssystemet finns i uppbyggnaden av distributionssystemet. Figur 10.2.1 visar en principskiss av utformningen. Till vänster finns den trefastransformator som matar det lokala (lågspännings-) elnätet och en elcentral med säkringar. Från mittpunkten för transformatorns tre sekundärlindningar kopplas en ledare till den fysiska jorden, ofta i form av ett spett som drivs ner i marken eller av nedgrävda oisolerade ledare (jordtag). Detta markeras med en jordsymbol. En ledare, benämnd "PE" (Protective earth), dras ut från mittpunkten till användarna. Från elcentralen dras även en ledare benämnd "0" ut till användarna.

Användaren ansluter sina trefaslaster (för 3x400 V huvudspänning) illustrerade med Z_1 , Z_2 och Z_3 . Höljet på lasten (av metall) kopplas till skyddsjordledaren "PE". Enfaslaster (för 230 V) illustreras med Z_0 och dess metallhölje kopplas till jordledaren "PE". Höljet på lasterna är därmed alltid förbundna med "jord", dvs med den omgivande marken.

Figur 10.2.1
Utformningen av det primära elsäkerhets-systemet.

Transformatorns mittpunkt ansluts till en fysisk jord (ett spett i marken). Från transformatorn går sedan 5 ledare; 1-3, 0 och jordledaren PE. Lasterna Z_0 - Z_3 omges av



ledande höljen förbundna till PE. Om det blir fel i lasten och någon spänningsförande del kommer i kontakt med höljet leds strömmen direkt tillbaka till transformatorn i jordledaren PE. Även säkringen S kommer att lösa ut.

Sakregister

2-pol.....	112	Direktstart.....	54, 69	Fasläge.....	117
3-fassystem.....	30f.	Distributionsnät.....	37	Fasor.....	119
3x400 Volt.....	30	Dokumentation.....	40	Fasspänning.....	30f.
4 – 20 mA.....	87	Dragmagnet.....	60	Fasvinkel.....	27
AC.....	24, 34	Drivkrets.....	58	Felområde.....	90
Accelerometer.....	97	Drivlina.....	82	Finsäkringar.....	101
Ackumulator.....	11	Drivsystem.....	6	Flermotorsystem.....	77
AD-omvandlare.....	87	Dödmansgrepp.....	64	Flottör.....	94
Addera strömmar.....	124	Effekt och effektivvärde.....	24	Flänsmontage.....	62
Agnetventil.....	60	Effekt- och energimätare.....	16	Flödesmätare.....	96
Alternating current.....	24	Effektbalans.....	35	Fotmontage.....	62
Aluminium.....	12	Effektberäkning.....	28, 122	Frekvens.....	24, 37
Ampere.....	11	Effektberäkning i 3-fassystem		Frekvensomriktare.....	70, 77
Amplitud.....	24	31	Frekvensomriktare.....	56
Analog till digitalomvandlare		Effektfaktor.....	28	Fyrkvadrantdrift.....	56, 72
.....	87	Effektivvärde.....	25, 117	Färgmärkning.....	101
Arbetspunkt.....	47, 71	Effektivvärdesvisande.....	25	Förlusteffekt.....	73
Asynkronmotor.....	48	Effekttriangel.....	26f.	Förluster.....	34
Automatsäkring.....	38, 101	Eftersläpning.....	51, 53	Förstärkt isolering.....	103
Avbrottsfri.....	81	Ekvivalent resistans.....	13	Gastät.....	104
Avskärmning.....	79	Elastisk koppling.....	65	Generator.....	11, 21f.
Batteri.....	10	Elcentral.....	44	Givare.....	86
Behörig elektriker.....	38	Elektrisk ekvivalent.....	27	Grafisk lösning.....	112
Belastning.....	13	Elektrisk energi.....	13, 34	Grupp.....	38, 44
Blybatteriet.....	11	Elektrisk last.....	13	Gränsfrekvensen.....	123
Borstar.....	55	Elektrisk maskin.....	21	Grön-gul färg.....	100
Borstlös.....	59	Elektrisk motor.....	22	Halvledare.....	10
Brandceller.....	42	Elektrisk potential.....	108	Huvudspänning.....	30f.
Brandfarliga miljö.....	104	Elektrisk spänning.....	10, 108	HVDC.....	24
Bromsotstånd.....	78	Elektrisk ström.....	11, 18	Hybridfordon.....	82
Brum.....	39	Elektrisk ström.....	108	Hydrauliskt drivsystem.....	6
Bryggkoppling.....	114	Elektriska ledare.....	10	Högpasfilter.....	124
Brytare.....	34, 40	Elektriska storheter.....	16	Impedans.....	120
Brytare,.....	37	Elektromagnet.....	22	Impeller- och propellermätare	
Burlindning.....	50	Elfordon.....	82	96
CE-märkt.....	103	Elkraftsystemet och		Inducerade spänning.....	18
CEE-don.....	43	elkraftteknik.....	6	Induktans.....	25, 117
D-koppling.....	31, 51	Elnät.....	34	Induktion.....	18, 25
DC.....	24, 34	Elsvets.....	12	Inre resistans.....	113
Deplacementsmätare.....	96	Energiprincipen.....	7	IP-nummer.....	52, 105
Digitala multimetrar.....	16	Enfasig asynkronmotor.....	58	Isolatorer.....	10
Dioder.....	10	Fasföljd.....	52	Jordade uttag.....	100
Direct current.....	24	Fasledare.....	29, 31	Jordfelsbrytaren.....	102

Jordkabel.....	42	Lagertemperaturen.....	92	Nätanalys.....	111, 121
Joule.....	14	Last.....	13	Ohm.....	12
Järn.....	18	Lastceller.....	95	Ohms lag.....	109
Järnkärna.....	38	Ledare.....	108	Ohms lag i matrisform.....	111
J ω -metoden.....	120	Likspänning.....	24	Oljetryck.....	92
Kabel.....	10	Likström.....	24, 34	Olyckor.....	105
Kabelbrand.....	100	Likströmsmotor.....	55	Osäkerhet.....	90
Kabelgravar.....	42	Linjeström.....	30f.	Parallell.....	14
Kabellistor.....	42	Linjär rörelse.....	58	Parallellhybrid.....	82
Kabelskydd.....	43	Litiumbatterier (3 - 4V).....	11	Parallellkoppling.....	113
Kabelstegar.....	42	Ljusbåge.....	34	Periodtid.....	24
Kablar.....	10, 40, 42	Lysdioder.....	10	Permanentmagnetiserad.....	49
Kapacitans.....	117	Lågpassfilter.....	123	Piezoelektrisk.....	95
Kapacitet batterier.....	81	Lågpassfilter.....	123	Piezoresistiv.....	95
Kapslingsklasser.....	105	Magnetisk flödestäthet.....	18	Plintar.....	41
Kilrem.....	76	Magnetisk kraftverkan.....	19	Pneumatiskt system.....	6
Kippmoment.....	53	Magnetiskt flöde Φ	18	Polomkoppling.....	77
Kirchhoffs lag.....	109	Magnetiskt fält.....	18	Poltal.....	48
Klokoppling.....	66	Magnetiskoppling.....	61	Potentialvandring.....	110
Kol.....	56	Magnetståg.....	60	Primär.....	39
Kommutator.....	46, 55	Matningsspänning.....	47	Principschema.....	41
Komplexa talplanet.....	120	Mekanisk effekt.....	6	Propp.....	101
Kompoundmotorer.....	56	Mekanisk miljö.....	103	Pulsbreddsmodulation.....	78
Konduktans.....	108	Mittpunkt.....	29	Pulser.....	87
Kontakter.....	40	Mjukstart.....	70	Pulsräknare.....	87
Kontaktor.....	41, 60	Moment.....	46, 68	Pumpkurva.....	72
Kontinuerlig drift.....	53	Momentan effekt.....	28, 118	PWM.....	78
Kontrollrum.....	41	Momentanvärden.....	117	Reaktans.....	120
Koppar.....	12	Momentet.....	6	Reaktiv effekt.....	26
Kopplingar.....	34	Moments styv.....	49, 56	Regionnät.....	37
Kopplingsplint.....	40	Motorkontaktor.....	64	Relä.....	34, 61
Kortslutning.....	38	Motorskydd.....	63	Reläskydd.....	102
Kraftledningarna.....	6, 10, 35	Motorstart.....	74	Remtransmission.....	76
Kraftverk.....	6	Motstånd.....	12	Reservkraft.....	56
Kraftverkan.....	19	Motståndstermometer.....	97	Resistans.....	12, 108
Kretsschema.....	40, 108	Multimetern.....	16	Resistiva nät.....	117
Kretsteori.....	29, 108	Märkeffekt.....	53	Resistivitet.....	12
Kräms.....	11	Märkning.....	40	Resonans.....	122
KWh.....	14	Märkplåt.....	31, 52	Riktfas.....	27, 119
Kylfläkt.....	75	Mätfel.....	89	Riskmiljöer.....	103
Kylning.....	62, 75	Mätinstrument.....	25	Ritningar.....	40
Kärnkraftverk.....	35	Ni-MH.....	11	Rotationsriktning.....	52
Laddhybrid.....	82	Nolla.....	31	Roterande maskiner.....	36
Laddning.....	11	Nolledaren.....	30	Roterande massa.....	36
Lagerström.....	63	Nollspänningsutlösare.....	64	Roterande vektor.....	118

Rotor.....	22, 55	Starkströmföreskrifterna...105	Tyristorer.....	10		
S-märkning.....	44	Startförlopp.....	Underspänning.....	54		
Schema.....	40f.	Startkondensator.....	Universalmotor.....	58		
Sekundär.....	39	Startmoment.....	8, 54, 70	Uppriktning.....	65	
Selektivitet.....	38	Stegmotor.....	57	UPS.....	81	
Sensor.....	86	Stigare.....	37	Utsignal.....	86	
Seriehybriden.....	82	Stjärnkoppling.....	51	Vakter.....	86	
Seriekoppling.....	15, 113	Strypfläns.....	96	Variator.....	77	
Serielindad.....	56	Strömmens effektivvärde...118	Varmtrådsmatäre.....	96		
Serieresonans.....	122	Strömslinga.....	88	Varvtal.....	68, 75	
Servomotor.....	59	Strömtång.....	16	Vattenkraftverk.....	35	
Shimsplåt.....	65	Symboler.....	40	Vektor.....	27	
Shuntlind.....	56	Symmetri.....	29	Verkn.grad.....	73	
Shuntlindad.....	56	Symmetrisk last.....	30	Vibrationsmätning.....	92, 97	
Siemens.....	30	Synkrona varvtalet.....	48	Vindkraftverk.....	35	
Sinusformad växelström.....	25	Synkronmotor.....	47, 49	Vinkelfrekvens.....	24	
Sinusfunktion.....	21	Systemschema.....	41	Vinkelhastighet.....	21	
Skalkonstant.....	87	Säkring.....	37	Volt.....	11	
Skena.....	38	Temperaturberoende.....	12	Volt Ampere.....	27	
Skenbar effekt.....	27, 32, 39	Temperaturkoefficienten....13	Temperaturmätning.....	96	Växelspänning.....	24
Skenor.....	10	Temperaturmätning.....	96	Växelström.....	24, 34, 117	
Skyddsjord.....	99, 103	Terminaler.....	10	Växelströmsmotor.....	47	
Skyltning.....	43, 104	Termoelement.....	97	Växlar.....	75	
Släpringad motor.....	70	Tomgångsvarvtal.....	51	Watt.....	13	
Släpringar.....	21	Toppvärde.....	24	Wennström.....	30	
Smältsäkringar.....	100	Transformator.....	34, 38	Y-D start.....	70	
Solceller.....	10	Transformatorn.....	12	Y-koppling.....	31, 51	
Spole.....	22	Transformatorolja.....	39	Y/D-koppling.....	54	
Spårbunden.....	82	Transistorer.....	10	Återledare.....	29	
Spänning.....	11	Trefasssystem.....	29, 34, 125	Överbelastning.....	37, 99	
Spänningens effektivvärde	118	Triangelkoppling.....	51	Överlast.....	38	
Spänningsdelare.....	114	Tryckgivare.....	95	Överledare.....	82	
Spänningskälla.....	10	Tryckknapp.....	41	Överspänning.....	54	
Spänningsnivå.....	37	Tryckmätning.....	94	Övertemperaturskydd.....	64	
Stabilitet.....	35	Trådbussar.....	82	Övervakningssystem.....	91	
Stamnät.....	35	Trådtöjningsgivaren.....	95			
Starkström.....	44	Trög säkring.....	101			

El är ett viktig inslag i det dagliga livet och det är därför nödvändigt att ha kunskap om elsystemets utformning och användning. Som konstruktör behöver man känna till vilka egenskaper elektriska motorer har och hur man hanterar och dimensionerar dem. Som arbetsledare behöver man ha kännedom om hur man hanterar det elektriska material man använder.

Elektriska drivsystem för maskiningenjörer är skriven för att ge maskiningenjörer grunderna i elektriska maskiner, hur de fungerar och deras egenskaper och användning. Vidare finns ett kapitel som behandlar elektriska givare och mätsystem. Som komplement finns en bilaga som ger grunderna i den elektriska kretsteorin för dem som kommer att fortsätta med reglerteknik och mekatronik. Övningsuppgifter med svar och kommentarer finns till kapitlen.

Av förlaget utgivna böcker:

- **Formler och tabeller för mekanisk konstruktion**
- **Hållfasthetslära för teknologi och konstruktion**
- **Elementär mekanik**

Karl Björks Förlag HB

Uppgårdsvägen 50, 163 52 Spånga

Tel: 070 59 42 317

E-post: info@bjorksforlag.se

Web: www.bjorksforlag.se