

Innhold

1	Likestrøm	6
2	Vekselstrøm	18
3	Resistorer	26
4	Spolen	38
5	Kondensatoren	44
6	Dioden	56
7	Effekt.....	76
8	Seriekopling.....	82
9	Elektrisk potensial	90
10	Parallellkopling.....	94
11	Elektromotorer	102
12	Startmetoder	118

13	Styring og regulering av hastighet	130
14	Reguleringsteknikk – en innføring.....	150
15	Kontakorer og releer	158
16	Vern	172
17	Givere	182
18	Elektriske styreskjemaer	206
19	Tidsreleer og styringsprinsipper	236
20	PLS-teknologi	246
21	Fordelingssystemer– lavspente forsyningsnett.....	258
22	Sikkerhet.....	336
23	Måleinstrumenter	354
	Stikkord	358

Ohms lov

Det er ganske innlysende at for eksempel *lengden* på glødetråden avgjør hvor stor strøm som går gjennom lampen. Andre faktorer som påvirker størrelsen på strømmen, er *materialet* glødetråden er laget av, og *størrelsen* på spenningen.

Simon Ohm (1787–1854) la ned mye arbeid i å undersøke elektriske strømmer i ledere. Motstanden mot elektrisk strøm i en leder – for eksempel i glødetråden – kalte han *resistans*.

Eksempler på resistanser er kokeplater, varmeelementer, glødelamper og den som kanskje er viktigst, nemlig den komponenten som har som eneste oppgave å begrense strømmen i en elektrisk krets, *resistoren*.

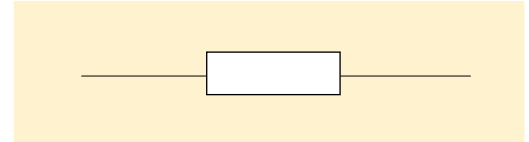
Ohm beviste at jo mindre resistansen er, desto større er strømmen når spenningen er gitt. Han beviste også at når vi har en bestemt resistans og øker spenningen, øker også strømmen.

Resistansen blir målt i *ohm* (Ω), og i elektrisitetslæra har resistansen betegnelsen *R*. Den resistansen som gir opphav til en strøm på 1 A når den blir koplet til en spenning på 1 V, blir kalt 1 Ω .

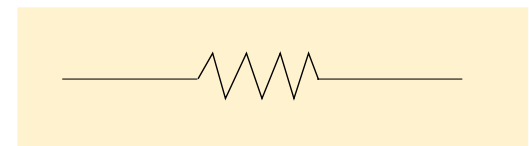
Formelen som er grunnlaget for all elektrisitetslære, blir kalt *Ohms lov*. Den sier at

$$I = \frac{U}{R}$$

der *I* er strømmen i ampere, *U* spenningen i volt og *R* resistansen i ohm.



Figur 1.7 Symbolet for en resistor



Figur 1.8 I USA blir dette symbolet brukt for resistorer

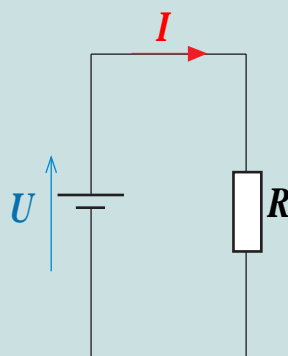
Resistans måles i Ω

Ohms lov:

$$I = \frac{U}{R} \text{ eller}$$

$$U = I \cdot R \text{ eller}$$

$$R = \frac{U}{I}$$



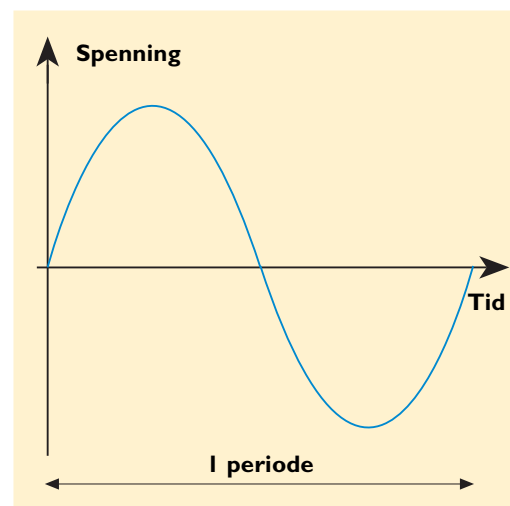
Vi har tidligere nevnt at en strøm som stadig endrer retning – omtrent på samme måte som stempelet på et gammelt damplokomotiv – blir kalt *vekselstrøm*. Elektronikk blir drevet av likespenning, og de fleste belastninger fungerer utmerket med likespenning. Likevel er det nesten bare vekselstrøm som blir levert til forbrukerne. Det er flere grunner til det: Vekselspanning er lettere å produsere. I dag har bilene vekselstrømsgeneratorer til tross for at all elektronikk i bilen blir drevet med likestrøm. Vekselstrøm kan *transformeres*, det vil si at vi kan endre størrelsen på spenningen. Dessuten kan vi transportere vekselstrøm over lange avstander i et system (trefaset) som på en enkel måte reduserer kostnadene mye i forbindelse med strømleveranser.

Sinusformet vekselspanning

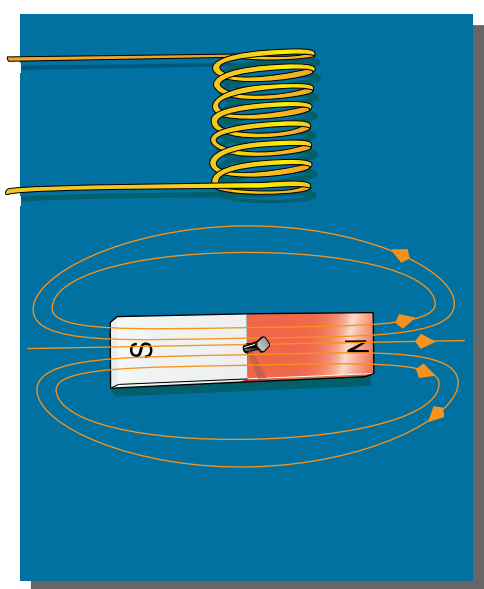
Med *vekselspanning* mener vi en induisert spenning som periodisk endrer både størrelse og retning. Vekselspanningen vi bruker, er *sinusformet*. Hvorfor den har fått dette navnet, skal vi komme tilbake til.

Dersom vi belaster vekselspanningen, får vi en strøm som endrer størrelse og retning periodisk. Strømmen er også sinusformet.

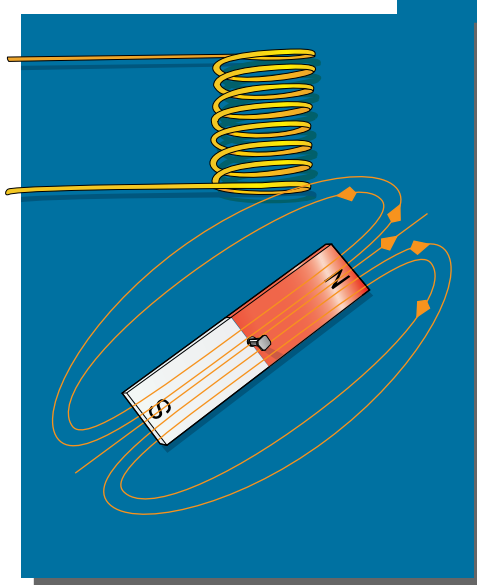
I Norge, og i Europa for øvrig, endrer vekselspanningen retning 100 ganger per sekund. USA har valgt å la spenningen endre retning 120 ganger per sekund.



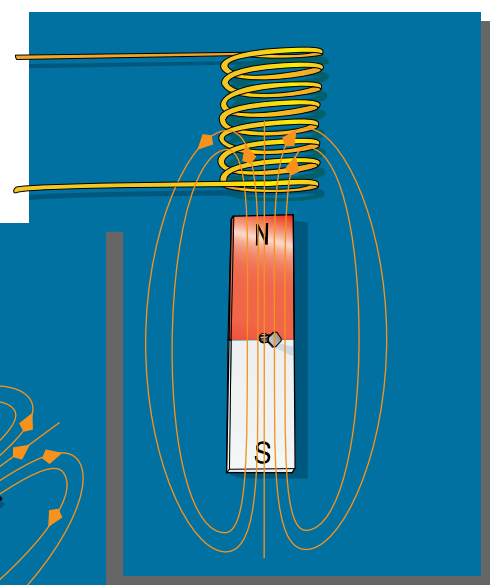
Figur 2.1 Vekselspanningen er sinusformet



1 Startøyeblikket – feltlinjene skjærer ikke spolen



2 Her begynner feltlinjene å skjære spolen. Det dannes spenning i spolen



3 Den tetteste delen av magnetfeltet har nådd spolen. Nå er spenningen i spolen på sitt høyeste

Figur 2.2

Generering av vekselspenning

Prinsippet for en vekselstrømsgenerator er svært enkelt. Vi trenger en *spole*, som det skal induseres en spenning i, og en *permanentmagnet*. Permanentmagneten, som selvfølgelig kan skiftes ut med en elektromagnet, må vi få til å rotere.

For å gjøre det enkelt borer vi et hull midt i magneten, spikrer den opp og snurrer den rundt.

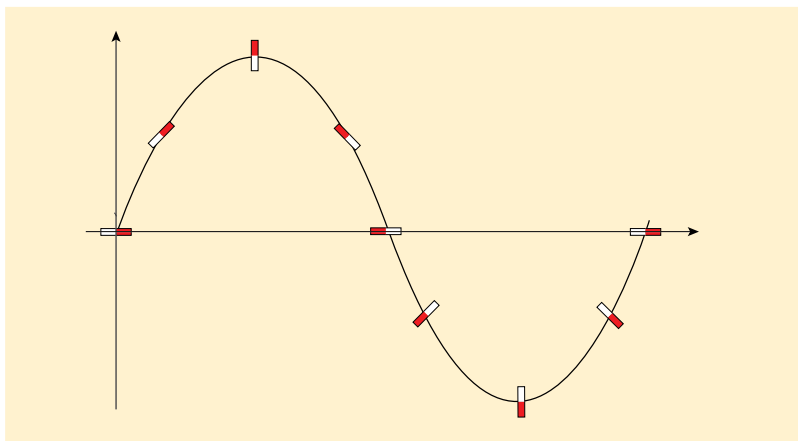
Det er viktig at vi *alltid* går ut fra samme startposisjon når vi skal beskrive vekselspenning. Det er enighet om å starte i vannrett posisjon med nord til høyre. Det er også enighet om at magneten *alltid* skal dreie mot urviseren.

I startøyeblikket er det ingen feltlinjer som skjærer spolen, og spenningen som induseres, er lik null.

Når magneten går mot loddrett posisjon, skjærer stadig flere feltlinjer spolen. Spenningen blir større og større, og når sin maksimumsverdi når magneten står loddrett.

Dreier vi magneten videre i samme retning, blir spenningen mindre og mindre. Når magneten står i den andre vannrette posisjonen, er spenningen igjen lik null. Når rotasjonen fortsetter, øker spenningen igjen, og når sin maksimumsverdi når magneten står loddrett, *men polariteten er nå motsatt*. På veien tilbake til utgangsposisjonen blir spenningen mindre og mindre, og når magneten igjen står i vannrett posisjon, er spenningen lik null.

Når magneten har tilbakelagt en *omdreining*, sier vi at den har gått gjennom en *periode*. Etter denne perioden er vi tilbake i startposisjonen og kan begynne på en ny periode. Antall omdreininger magneten tilbakelegger per sekund, kaller vi *frekvensen*. Dersom magneten gjør femti omdreininger per sekund, er dermed frekvensen 50. Frekvens ble tidligere angitt i perioder per sekund (p/s), men nå skal den angis i *hertz* (Hz).



Figur 2.3 Spenningen i spolen ved ulike stillinger av magneten. De tre første stillingene er de samme som på forrige side

Frekvens:

Tallet på omdreininger per sekund.

Frekvens blir målt i hertz

1 Hz = 1 omdreining per sekund

I engelsk litteratur ble frekvensen angitt som cycles per second (C/s), og fremdeles kan vi støte på utstyr der den gamle betegnelsen blir brukt

omdreining cycle

Når magneten gjør femti omdreininger per sekund, blir frekvensen 50 Hz. Gjør den 200 omdreininger per sekund, er frekvensen 200 Hz.

Noen begreper

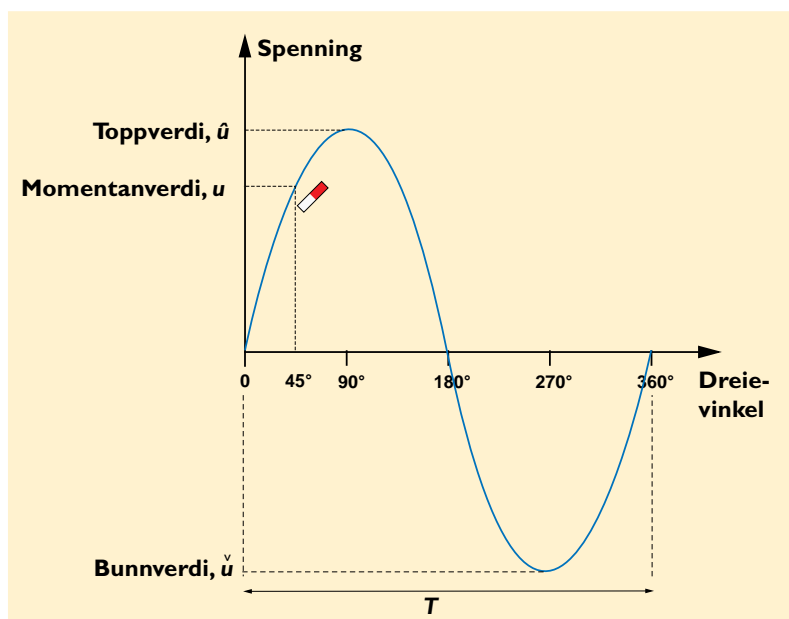
Tiden det tar for en magnet å gjøre en omdreining, kaller vi *periodetiden*. Den har betegnelsen T . Sammenhengen mellom periodetiden og frekvensen gir seg selv. Dersom frekvensen er 50 Hz, gjør magneten 50 omdreininger i sekundet. Det betyr at hver omdreining tar et femtidels sekund ($1/50$ s). Gjør magneten tusen omdreininger per sekund, blir periodetiden

$$T = \frac{1}{1000} = 1 \text{ ms}$$

Det vil si:

$$f = \frac{1}{T}, \text{ eller omvendt: } T = \frac{1}{f}$$

der T er tiden i s og f frekvensen i Hz.



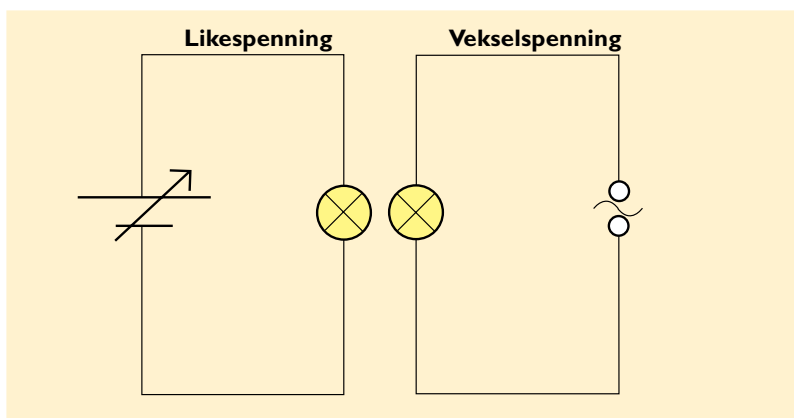
Figur 2.4 I periodetiden T er toppverdien den høyeste spenningsverdien og bunnverdien den laveste. Verdien i et bestemt øyeblikk blir kalt momentanverdien eller øyeblikksverdien (her vist ved 45°)

Den største verdien en vekselspanning kan ha, kaller vi *toppverdien* (amplitudeverdien) eller *maksimumsverdien*. Den statiske verdien betegnes med store bokstaver og den dynamiske (foranderlige) med små. Toppverdien har for eksempel betegnelsen \hat{u} . (Hatten over bokstaven viser at det er en toppverdi.)

Vekselspanningen har også en negativ toppverdi som vi kaller *bunnverdien* eller *minimumsverdien*. Den har betegnelsen \check{u} . Iblant er vi interessert i å vite hvor stor spenningen er på et bestemt tidspunkt. Denne verdien kaller vi *momentanverdien* eller *øyeblikksverdien*. Den har betegnelsen u .

Effektivverdi

Hvordan skal vi kunne beregne en spenning som hele tiden endrer størrelse og retning? Det er faktisk ikke så vanskelig. Vi kan ikke regne ut spenningen på ethvert tidspunkt, men vi kan finne en *gjennomsnittsverdi* ved å sammenlikne effekten av en vekselspenning og en likespenning.



toppverdi	peak value
effektivverdi	RMS, root mean square

Figur 2.5 Når lampene lyser like sterkt, forbruker de like mye effekt

Glødelampene på de to figurene over er helt like. Vi plasserer lampene inntil hverandre og setter på spenningen. Likespenningskilden er regulerbar, og vi varierer spenningen helt til de to lampene lyser nøyaktig like sterkt. Likespenningen gir da samme effekt som vekselspenningen. Størrelsen eller verdien på likespenningen når effekten er den samme, kaller vi vekselspenningens *effektivverdi*.

Det er en sammenheng mellom effektivverdien og toppverdien:

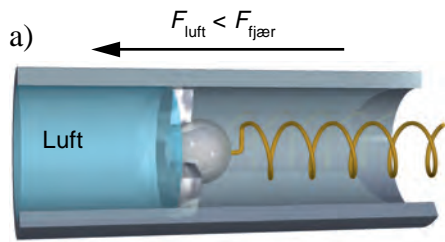
$$\text{effektivverdien} = \frac{\text{toppverdien}}{\sqrt{2}}$$

Vi angir effektivverdien med store bokstaver. For effektivverdien til spenningen U får vi da:

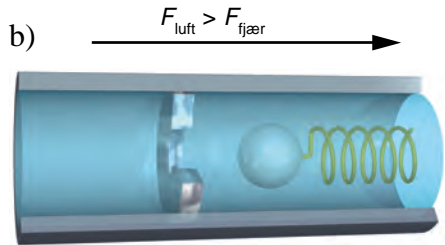
$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

Spenningens effektivverdi

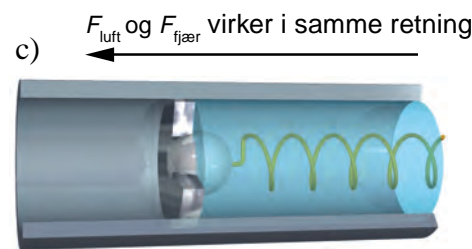
$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$



a) Fjærkraften er større enn lufttrykket.
Ventilen er stengt

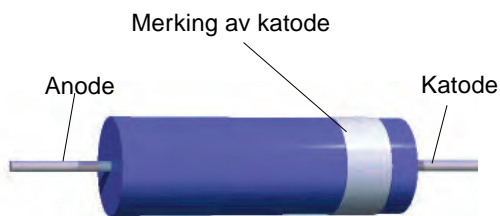


b) Lufttrykket er større enn fjærkraften.
Ventilen er åpen



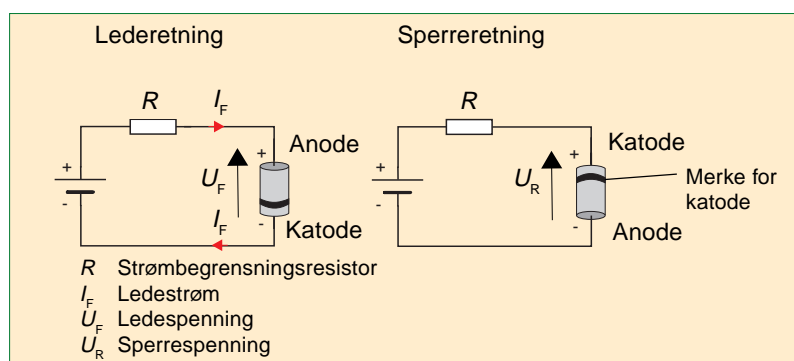
c) Lufttrykket og fjærkraften virker i samme retning. Ventilen er helt stengt

Dioden har to elektroder (Figur 6.3). For at vi skal kunne skille dem fra hverandre, har de fått ulike navn. Vi kaller den ene elektrodene *anode* og den andre *katode*. Katoden er alltid merket på komponenten.



Figur 6.3 Elektrodene til dioden blir kalt anode og katode

Dioden står i lederetningen når anoden er mer positiv enn katoden, og i sperretningen når vi kopleer motsatt.



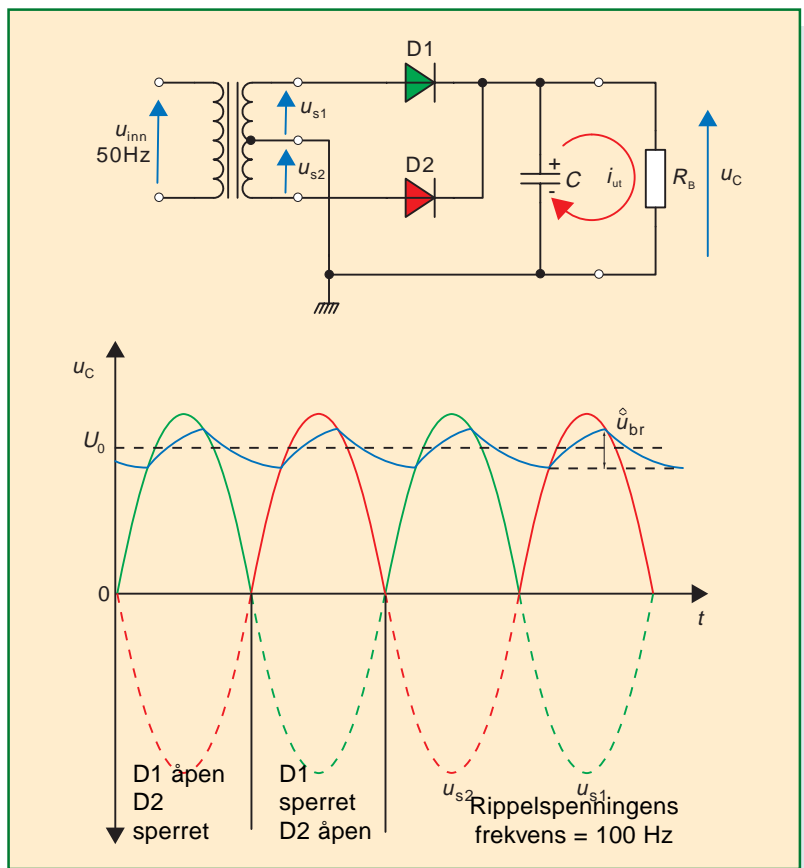
Figur 6.4 Ventilvirkningen til dioden

katode	cathode
anode	anode
overgang	junction
sperrespenning	barrier tension
sperresjikt	barrier layer

Toveislikeretter (helbølgeretter)

Enveislikeretteren brukes bare i enkelt utstyr der lav pris er viktig. I alle andre tilfeller blir begge halvperiodene av vekselstrømmen utnyttet, og vi får en *toveislikeretter*. Den største fordelen med en toveislikeretter er at kondensatoren lades opp dobbelt så ofte, slik at rippelspenningen blir halvert.

Det fins to måter å utnytte begge halvperiodene av vekselstrømmen på. Den ene måten, som var helt dominerende før det ble vanlig å bruke halvledere, er å ha en sekundærvikling med midtuttak på transformatoren. Midtuttaket blir jordet slik at spenningen på oversiden og undersiden av transformatoren får motsatt retning. Se Figur 6.30.

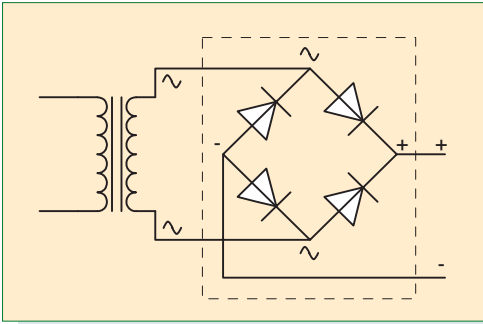


Figur 6.30 Toveislikeretting med to dioder og transformator med midtuttak

Når spenningen på oversiden er positiv, er spenningen på undersiden negativ. Likerettingen skjer da i D1. I den andre halvperioden er spenningen positiv på den nedre viklingen. Likerettingen skjer da i D2.

Den store ulempen med denne koplingen er at sekundærsiden må ha to viklinger. Det gjør transformatoren større, tyngre og dyrere. Den andre måten finner vi i moderne elektronikk der det er viktig å holde pris, vekt og størrelse nede, og derfor er *brokopling* med fire dioder fullstendig dominerende i dag.

toveislikeretter full wave rectifier



Figur 6.31 Likeretning med graetzbro

Tyskeren Graetz lanserte denne måten å kople fire dioder på, og koplingen blir derfor vanligvis kalt en *graetzbro*. Se Figur 6.31.

Det er praktisk å kjøpe ferdige broer (som en komponent). Se Figur 6.32.

Betegnelsene på graetzbroen betyr:

B = brolikeretter

40 = maksimal spenning i effektivverdi (transformatorens sekundærspenning må ikke overstige 40 volt)

C = broen tåler den store oppladningsstrømmen som oppstår når den koples til en kondensator (C)

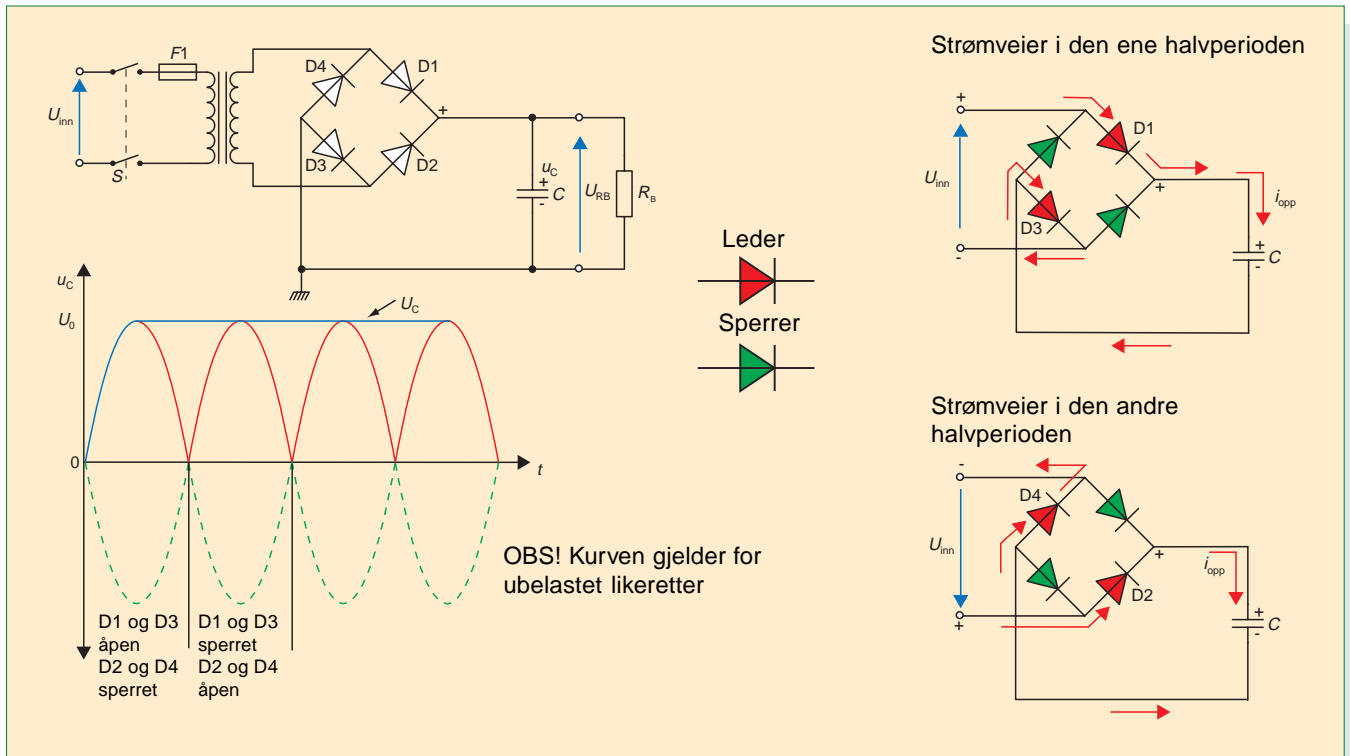
5000/3300 = maksimal belastningsstrøm i mA. Det første tallet, 5000, er høyeste tillatte strøm med kjøling (ofte limes komponenten fast til chassis), det andre, 3300, er den maksimale strømmen ved fri montering



Figur 6.32 Eksempel på graetzbro

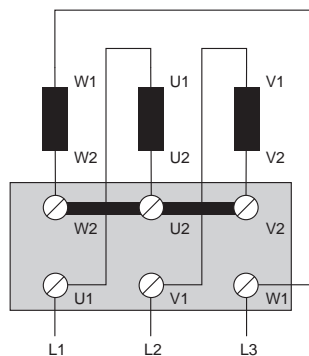
Graetzbroen

Koplingen virker slik at diodene leder vekselvis to og to. Ulempen ved denne koplingen er at vi mister to spenningsfall i lederretningen, men det kan vi gjøre noe med ved å legge på noen ekstra vindinger på sekundærviklingen. Se Figur 6.33.

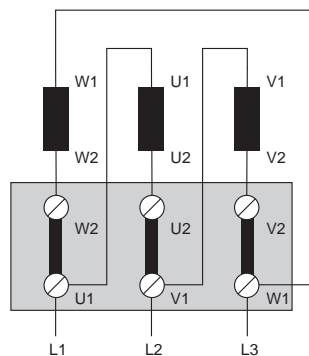


Figur 6.33

Dersom motoren tilkoples de tre fasene slik figuren viser: L1 til U1, L2 til V1 og L3 til W1, vil den gå i riktig retning, som normalt er med klokka når vi ser på motoren fra driftssiden (den siden som akselen er montert på).



Figur 11.4 Stjernetkopleing



Figur 11.5 Trekantkopleing

7,5 kW

Dette forteller oss at motoren er beregnet for å avgi 7,5 kW effekt. Denne effekten er den mekaniske effekten motoren avgir på akselen, og er derfor ikke den effekten motoren bruker som elektrisk effekt. På grunn av friksjon i lager, magnetisering og resistans i viklingene er det tap i alle motorer. Disse tapene går over i varmeeffekt og må føres bort fra motoren. Derfor er en del motorer utført med kjøleribber (stor overflate avgir mer varme enn liten overflate) og vifte. Store motorer kan også være utført med egen kjøling.

Dersom vi kjenner motorens virkningsgrad, som betegnes med den greske bokstaven η , så kan vi regne ut den tilførte effekten etter formelen

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}$$

P_1 er en vanlig betegnelse på tilført effekt, noen bruker også P_t
 P_2 er en vanlig betegnelse på avgitt effekt, noen bruker også P_a
 Tilført effekt kan også beregnes etter formelen

$$P_1 = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi$$

For vårt eksempel blir:

$$P_1 = 230 \cdot 26,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,82$$

Virkningsgraden for denne motoren blir:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{7,5}{8,66} = 0,87$$

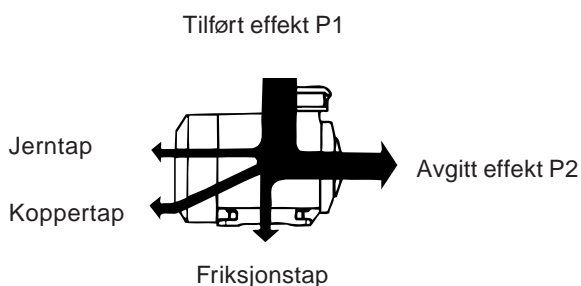
Virkningsgraden kan også oppgis i prosent (%). En virkningsgrad på 0,87 tilsvarer da 87 %. Det betyr at det er 13 % tap i motoren, og disse 13 % blir varme som motoren produserer.

En motors virkningsgrad varierer fra omtrent 0,6 til 0,97 og er bedre jo større motoren er. Tabellen, som er hentet fra en motor-katalog, viser virkningsgrader for noen motorer.

Motoreffekt	0,12	1,5	11	22	55	110	250	400	900
Virkningsgrad	56	74	88,5	91,2	94	94,8	96	96,4	97,1

En får dårligere virkningsgrad og dermed større tap når motoren går lite belastet. Det er derfor viktig å velge en motor som har en effekt som er nærmest mulig effekten som den maskinen den skal tilkoples, krever. Data fra motorfabrikanter viser også at motorer med lave turtall gir lavere virkningsgrad enn motorer med samme effekt, men med høyere turtall.

Tapene i motoren består av magnetiseringstap, som også kalles jerntap, resistanstap, som også kalles kobbertap og friksjonstap. Jerntap og kobbertap er noenlunde konstante, mens kobbertap øker med økende belastning.



Figur 11.6

26,5/15,3 A

Dette er motorens strømforbruk. Vi må se denne opplysningen i sammenheng med spenningsopplysning og kopling.

Ved trekantkopling skal motoren tilkoples 230 V og bruker 26,5 A

Ved stjernekopling skal motoren tilkoples 400 V og bruker 15,3 A

Effekten er den samme ved begge koplingene.

Strømmen synker proporsjonalt med spenningsøkning, og forholdet mellom høy og lav verdi av både strøm og spenning er $\sqrt{3}$.

cos φ

Effektfaktoren, som har betegnelsen $\cos \varphi$, angir hvor mye reaktiv effekten motor forbruker. Det ideelle er en effektfaktor på 1. Det forteller oss at all effekt som forbrukes, er aktiv effekt. All induktiv belastning, som spoler, transformatorer, magnetventiler, kontaktorer og motorer, er med på å gi et elektrisk anlegg en effektfaktor som er mindre enn 1. Motorers effektfaktor varierer fra 0,6 på de minste motorene til 0,93 på de største. Her er noen typiske verdier hentet fra en motorkatalog:

Motoreffekt	0,25	3	7,5	22	30	75	200	400	800
Effektfaktor	0,82	0,82	0,86	0,88	0,89	0,9	0,9	0,91	0,91

De oppgitte verdiene er hentet fra en motor med et turtall på 3000 o/min. For motorer med lavere hastighet ligger verdiene noe lavere.

Vær oppmerksom på at effektfaktoren i likhet med virkningsgraden blir dårligere jo mindre en motor er belastet i forhold til full belastning. Dårlig effektfaktor gir stor strøm, det ser vi av formelen for strømmen for en motor:

$$I = \frac{P_2}{U\sqrt{3} \cos \varphi \cdot \eta}$$

Stor strøm medfører at vi kan få et dyrere anlegg enn med liten strøm, blant annet fordi dimensjonering av kabel, bryterutstyr og vern tar utgangspunkt i belastningsstrømmen. Dersom vi kan redusere strømmen litt og dermed minske tverrsnittet på kabelen, så kan det være mye penger å spare på dette.

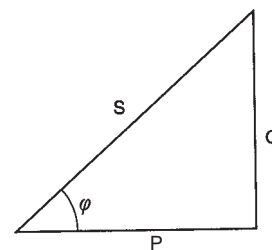
Effektene som oppstår i et motoranlegg, kan beregnes etter disse formlene:

$$\text{Tilsynelatende effekt} = S = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \quad (\text{måles i kVA})$$

$$\text{Aktiv effekt} = P = S \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \quad (\text{måles i kW})$$

$$\text{Reaktiv effekt} = Q = S \cdot \sin \varphi = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin \varphi \quad (\text{måles i kVAr})$$

Ved beregninger kan vi bruke effekttrekanten.



Figur 11.7 Effekttrekanten

Start med motor vernbryter

Når en ikke har behov for fjernbetjening av motoren, er det vanlig å starte den med motorvernbytter som også gir full spenning til viklingene. Slik starter vi for eksempel utstyr som dreiebenker, boremaskiner og snekkersager, der starterutstyret står tett ved eller på maskinen som skal startes.

Den direkte startmetoden er enkel både ved montering og ved feilsøking. Den krever lite starterutstyr, og det gjør den relativt billig.

Metoden har imidlertid en ulempe: Den krever mye strøm i startøyeblikket. Det skyldes at motorer utgjør en induktiv belastning på nettet. Slike belastninger krever mye strøm i innkoplingsøyeblikket. Når motoren har kommet opp i vanlig driftsturtall, synker så strømmen til driftsstrøm fordi motoren gir en motindusert spenning ved drift. I startøyeblikket er den motinduserte spenningen 0 V, derfor blir startstrømmen stor. Størrelsen på startstrømmen er 5–7 ganger motorens driftsstrøm og synker til driftsstrøm i løpet av noen sekunder. Hvor fort det går før motorstrømmen har stabilisert seg på driftsstrømmen, avhenger av om motoren starter med stor eller liten belastning.

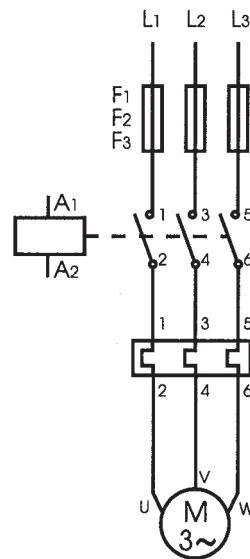
Startstrømmen gir et strømsjokk og i visse tilfeller et kortvarig spenningsfall på nettet. Dette er en ulempe som vi bør prøve å unngå, ettersom det kan skape store problemer hvis nettet er dårlig dimensjonert. Av den grunn tillot ikke energiverkene tidligere direkte start av motorer over en viss størrelse. Nå er de fleste nettene forsterket, og den direkte startmetoden skaper ikke lenger så store problemer.

En annen ulempe ved den direkte startmetoden er at alt utstyr, for eksempel motor, termisk relé og kontaktor, blir utsatt for en stor strøm. Det kan føre til slitasje, spesielt i kontaktorens bryteevne, og kontaktoren må dimensjoneres for å tåle slike store strømmer. Store startstrømmer kan også føre til uønsket oppvarming av motoren og det termiske releet. Det fører til at motoren bare kan utføre et begrenset antall starter per minutt.

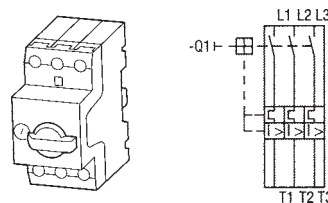
Til tross for disse ulempene er direkte start den mest brukte metoden. Dersom en tar hensyn til startstrømmen når en velger materiell, skaper denne startmetoden oftest ikke store problemer.

Start med redusert spenning

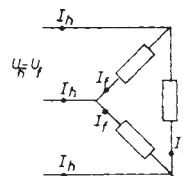
Dersom direkte start ikke kan anvendes av elektriske eller mekaniske årsaker, eller den gir store elektriske og mekaniske ulemper, så kan vi bruke en startmetode som ved oppstart ikke gir full spenning på viklingene. Det finnes flere metoder for slik oppstart; de to mest brukte er start med en kontaktorstyrt stjerne-/trekantvender og start med mykstarter. En kan også finne start med transformator.



Figur 12.1 Kontaktor



Figur 12.2 Motorvernbytter



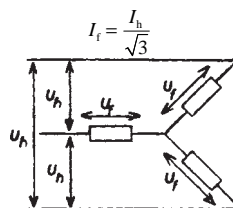
Figur 12.3 Ved trekantkoplede er:

$$U_f = U_h \quad \text{og} \quad I_f = \frac{I_h}{\sqrt{3}}$$

Stjerne-/trekantstart

For å redusere startstrømmen kan en kople motoren i stjerne under oppstarten og så over i trekant etter en viss tid, for eksempel 8 sekunder.

Ved direkte start er viklingene koplet i trekant, og de får tilført full spenning. Ved stjerne-/trekantstart er de koplet i stjerne under oppstarten, og får da redusert spenning, og full spenning under drift når de koples over i trekant. Ved start i stjerne får de en spenning som tilsvarer full spenning dividert med kvadratroten av 3. Det ser vi av figurene som du vel husker fra elektroteknikken.



Figur 12.4 Ved stjernekopling er:

$$U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} \text{ og } I_f = \frac{I_h}{\sqrt{3}}$$

Startmetode "Stjerne-trekant"

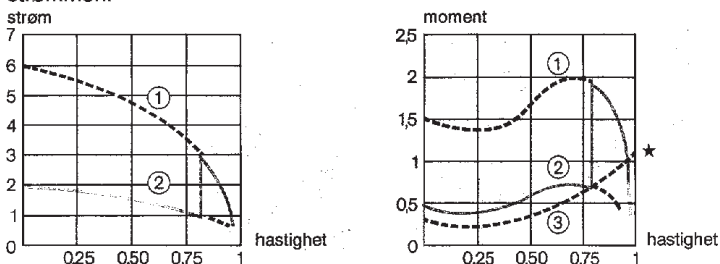
Spesifikasjoner: Ferdig koplet med alle hoved- og manøverstrømsforbindelser.

Denne startmetode er beregnet for motorer hvor merkespenningen ved trekantkopling samsvarer med tilførselspenningen, og hvor statorviklingen er lagt ut på 6 terminaler.

Denne startmetoden bør bare anvendes ved start uten belastning eller ved lavt motstandsmoment som øker relativt langsomt:

- Startmomentet i stjerne er redusert til en tredjedel i forhold til direktestart, d.v.s. ca. 50% av merkemomentet.
- Startstrømmen i stjerne er ca. 1,8 til 2,6 ganger merkestrømmen.

Overgangen fra Y til D bør skje straks hastigheten har stabilisert seg. For rask økning av belastningsmomentet fremtvinger en altfor lav stabiliseringshastighet og fjerner enhver grunn for å velge denne startmetode. Dette er tilfelle når motstandsmomentet øker proporsjonalt med hastigheten (f. eks. sentrifuger). Alle Telemecanique Y/D startere er utstyrt med en spesiell tidsblokk LA2-DS2 som gir en forsinkelse på 40 ms ± 15 mellom åpning av Y-kontaktoren og lukking av D-kontaktoren. Dette for å sikre en tid tilstrekkelig til at stjernekontaktoren kan bryte strømmen.



- ① start direkte i trekantkopling
- ② start i stjernekopling
- ③ maskinens motstandsmoment

★ Motorleverandørene spesifiserer normalt klassen for motstandsmoment. Eks.: Maks. motstandsmoment når Y/D-starten er utført (uttrykt i forhold til merkemomentet).

(1) Beskyttelse må sikres ved et termisk rele som bestilles separat. Velg rele i h.h.t. 0,58 av motorens merkestrøm (se side 2/216 og 2/217).

(3) Hjelpkontakt LA1-D... kan påsettes hvis ønskelig.

⊗ Telemecanique nyhet.

Telemecanique

2/149

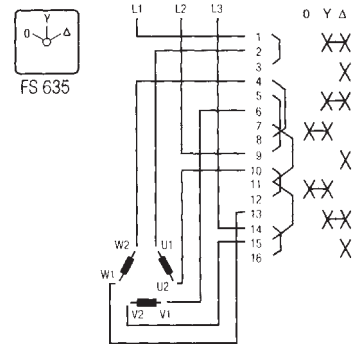
Figur 12.5

Når spenningen over viklingene blir redusert, blir også strømmen redusert tilsvarende, og vi unngår det strømsjokket som vi får på nettet ved en direkte start. Stjerne-/trekantstartere finnes ofte på eldre anlegg, og ble mye brukt tidligere på grunn av «svake» nett. Stor startstrøm fører nemlig til spenningsfall på nettet, og dette er selvfølgelig ikke ønskelig. Nå blir denne startmetoden brukt sjeldnere, men den finnes fremdeles på en del anlegg. Figuren, som er hentet fra en leverandørkatalog, viser litt om denne startmetoden og hvordan strøm og moment er under oppstart.

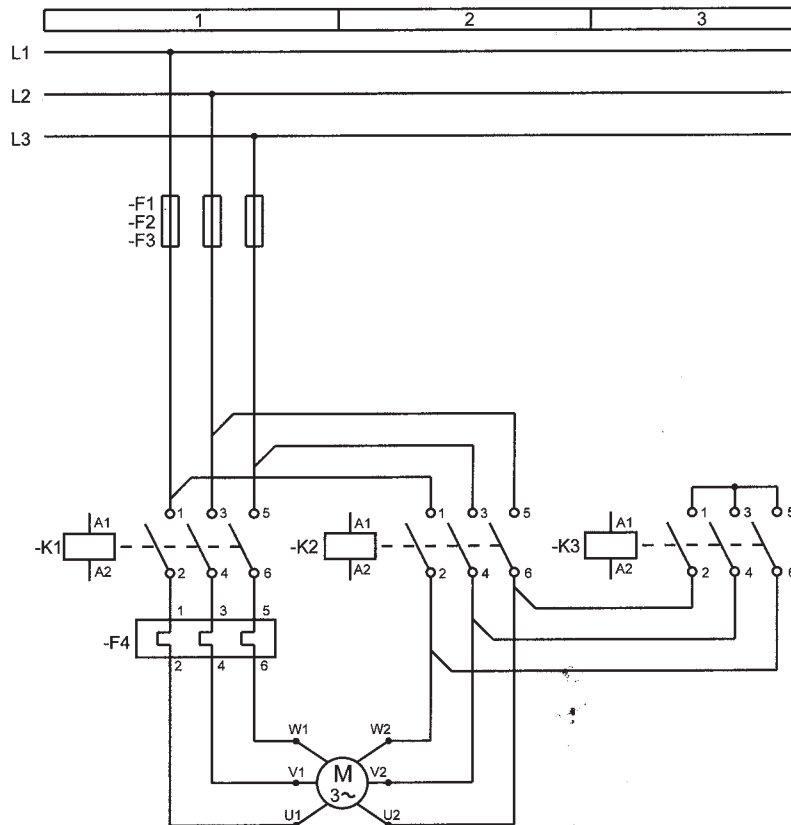
Stjerne-/trekantstartere blir ofte kalt Y/D-startere, der Y står for stjernekopling og D for trekantkopling. De har som nevnt den fordel at en unngår den høye startstrømmen, men de har også en del ulemper:

- Motorens moment (kraft) reduseres, og dermed kan den bare starte på tomgang eller ved lav belastning.
- Det trengs to kabler til motoren, noe som gjør anlegget dyrere og mer komplisert.
- Det trengs tre kontaktorer, og anlegget blir dermed dyrere og mer komplisert.
- Et mer komplisert anlegg gjør sjansen for feil større, samtidig som det blir vanskeligere å feilsøke.

Til stjerne-/trekantstart ble det tidligere ofte brukt manuelle brytere, men nå er de fleste anlegg styrt med automatiserte kontaktorstyringer. Figur 12.7 viser et eksempel på hovedstrømskjema for en kontaktorstyring.



Figur 12.6 Manuell stjerne-/trekantvender



Figur 12.7 Hovedstrømsskjema for en kontaktorstyring

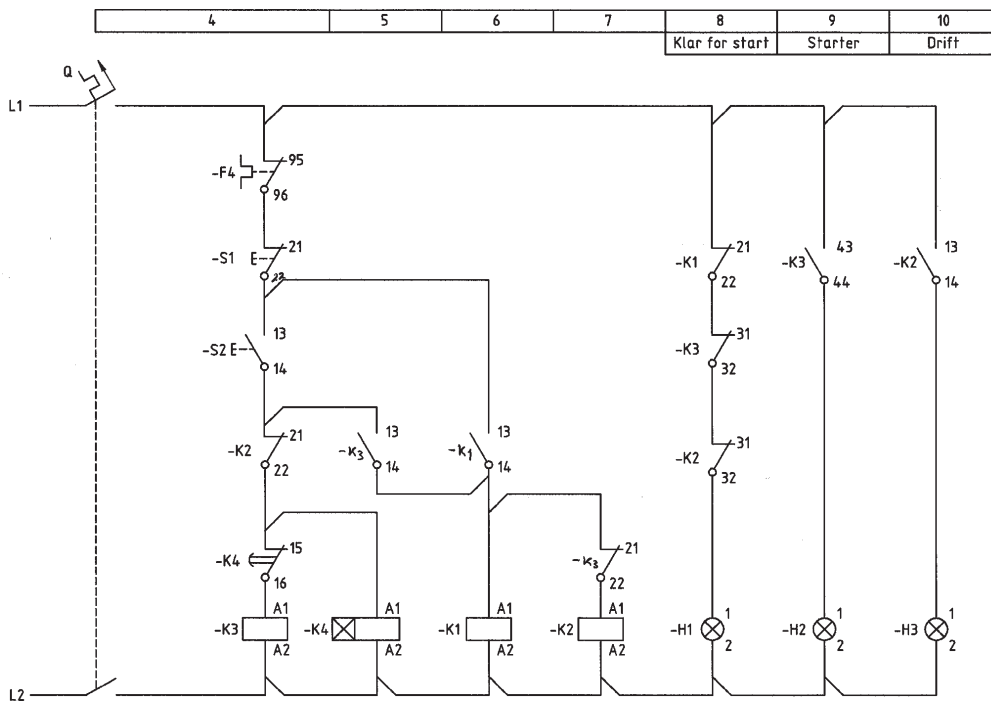
Virkemåte

Motoren starter i stjerne. Da ligger K1 og K3 inne. K1 sørger for spenning til viklingene ved å være tilkople U1, V1 og W1, og K3 kople sammen viklingene ved å kople sammen U2, V2 og W2, slik at motoren blir stjernekoplet.

Etter innstilt tid (i et tidsrelé som du finner på neste skjema) slår K3 ut, og K2 blir lagt inn. Dermed er motoren trekantkoplet. Det er viktig at K3 slår ut før K2 slår inn, så det ikke blir kortslutning i motorkretsen.

Legg merke til at det går to kabler ut til motoren, og at det er fasestrømmen som går gjennom kontaktorene og det termiske releet. Dermed kan kabler og kontaktorer dimensjoneres etter fasestrømmen, som er hovedstrømmen dividert med kvadratroten av 3. Det samme gjelder det termiske releet. Dette skal innstilles på fasestrømmen. Ved en slik kopling som vist på figuren må vi altså ikke velge et termisk relé som er likt motorstrømmen, men ett som er motorstrømmen dividert med $\sqrt{3}$.

Dersom vi bruker en effektbryter med elektromagnetisk og termisk utløsning, så blir den plassert der sikringene er på skjemaet, altså i hovedstrømmen. Innstillingen på den termiske utløsningen vil i et slikt tilfelle være på merkestrømmen (merkeskilt på motoren). Det samme gjelder dersom vi bruker en kompaktstarter.



Figur 12.8 Styringen for en kontaktorstyrt stjerne-/trekantvender

Ved trekantkoblede motorer er

$$I_f = \frac{I_h}{\sqrt{3}} \text{ og } U_f = U_h$$

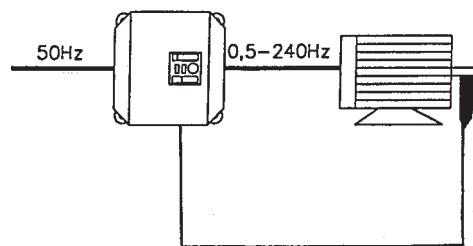
Ved stjernekopplede motorer er

$$I_f = \frac{I_h}{\sqrt{3}} \text{ og } U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}}$$

Styringen for en kontaktorstyrt stjerne-/trekantvender kan utføres som vist på Figur 12.8.

En regulering kan se ut som på Figur 13.2.

Vi stiller inn hastigheten på ønsket nivå. En føler måler hastigheten og gir tilbakemelding om at hastigheten er riktig i forhold til den innstilte verdien, eller at vi må foreta ytterligere regulering. Med slik tilbakekopling er styringen endret til en regulering.



Figur 13.2 Regulering

Forandring av motorens turtall

Når vi skal forklare hvordan turtallet kan forandres, kan vi ta utgangspunkt i formelen for motorens turtall:

$$n = \frac{f \cdot 60}{p} - s$$

f = frekvensen (normalt 50 Hz)

p = antall polpar i motoren (ett eller to er mest vanlig)

s = motorens sakking

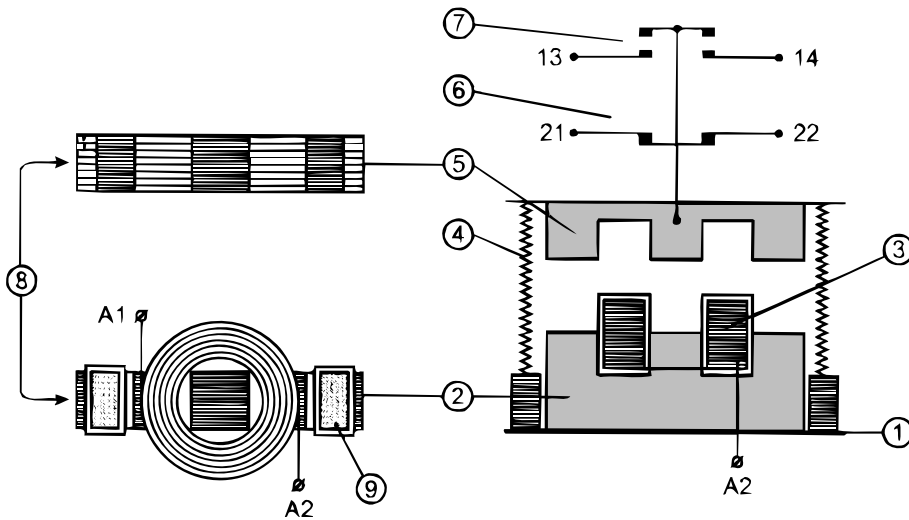
Frekvensen blir oppgitt per sekund, mens turtallet blir oppgitt per minutt. For å få samsvar må vi derfor regne om med en konstant på 60. Ut fra denne formelen ser vi at det er to størrelser som kan forandres dersom vi ønsker å forandre motorens hastighet: polparet p og frekvensen f .

Trinnvis hastighetsregulering

Dersom vi forandrer p , får vi en trinnvis endring av motorens turtall. Dette gjør vi ved å vikle motoren på en spesiell måte, slik at vi får enten dahlanderkoplede (også kalt polomkoplbare) motorer eller motorer med atskilte viklinger. (Også disse kalles polomkoplbare.) Av disse motorene er den dahlanderkoplede motoren mest brukt, fordi den vanligvis er billigst.

Motorer med to hastigheter finner vi en rekke steder i automatiserte anlegg, for eksempel:

- Kraner som går med lav og høy hastighet
- Vifter i ventilasjonsanlegg som gir mye eller lite luft avhengig av varme og aktivitet
- Pumper som dermed kan gi mer eller mindre væske avhengig av hastighet



Figur 15.1 Prinsippet for et kontaktorrelé

- 1 Del av kontaktor/reléhus
- 2 Stasjonærkjerne
- 3 Elektrisk spole
- 4 Returfjær
- 5 Bevegelig anker
- 6 Hvilekontakt
- 7 Arbeidskontakt
- 8 Laminert isolert blekk
- 9 Filtblank flate
- 10 A1 og A2, elektrisk tilkopling

Både den stasjonære kjernen og det bevegelige ankeret er satt sammen av laminert jernblykk som er isolert fra hverandre for å unngå virvelstrømstap. Rundt beinet i midten på den stasjonære kjernen ligger en elektrisk spole. Når spolen blir aktivert, det vil si at den får tilført spenning, søker ankeret mot den stasjonære kjernen på grunn av det magnetiske feltet som oppstår når det går strøm i spolen som blir påvirket av den stasjonære kjernen. Kjernen fungerer nå som en elektromagnet.

Vekselstrømmens frekvens følger en sinuskurve. Det fører til at magnetiseringen slipper litt hver gang den passerer nullgjennomgangen fra minus til pluss og fra pluss til minus, men ikke nok til at returfjærene skyver ankeret helt ut. Dette forårsaker brumming. For å unngå det er det lagt inn kopperringer som kan ses på som en kortsluttet vikling, og feltet som da oppstår, motvirker brummingen. På landbaserte anlegg brukes 50 Hz, og på skipsanlegg brukes ofte 60 Hz. Det fører til at vi får mange nullgjennomganger hvert sekund.

Kontaktorer, relékjerner og ankere for likespenning er utført av massivt bløtt jern, siden vi ikke har de samme problemene ved bruk av denne spenningstypen.

Termisk vern

Det vanligste termiske vernet for motorer i forbindelse med kontaktorer er overstrømsreleet. Vernet skal kunne bryte enhver overstrøm opp til og med den forventede kortslutningsstrømmen på stedet der vernet er installert, slik at kretsens ledere ikke fører strøm av en størrelse som fører til en temperaturstigning som kan være skadelig for isolasjon, skjøter, avslutninger eller lederens omgivelser.

Overstrømsreleet skal beskytte motorer, kabler og ledninger mot skader på grunn av

- overbelastning
- fasebortfall
- startefeil

Hovedstrømløpet

Bimetallet er fast oppspent og består i prinsippet av to tynne sammenvalsede plater med forskjellig utvidelseskoeffisient i lengderetningen. Rundt disse platene er det viklet en motstand som ligger i serie med motorviklingene. I en trefaset motor går motorstrømmen gjennom tre bimetalter. Det vil si at det er ett termisk relé i hver isolert fase (pol), slik forskriftene krever. Strømmen som går gjennom motstandene rundt bimetallet, utvikler varme. Varmen fører til at bimetallet bøyer seg på grunn av lengdeutvidingen.

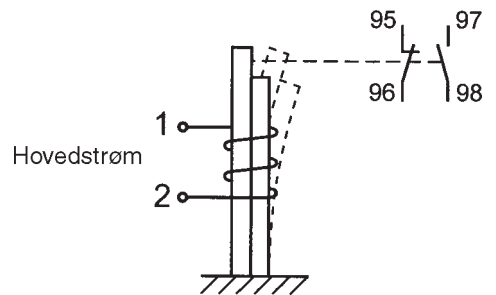
Styrestrømløpet til signalkontakten

Styrekontaktene skifter stilling ved innstilt koplingspunkt. Bimetallet er mekanisk forbundet med styrekontakter som er merket med 95-96 og 97-98. Styrekontaktene koples inn i styrestrømkretsen. Dersom vi har valgt riktig relé og stilt det inn riktig, skal normalt motstandene til bimetallet til enhver tid være like hele. Det er bare styrekontaktene som skal endre stilling ved overstrøm.

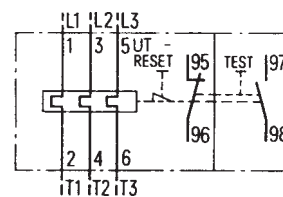
Termisk vern med sperre

Et termisk vern med sperre vil føre til at styrekontaktene blir liggende i overstrømsstilling etter en overbelastning siden en mekanisk sperre holder dem igjen i denne stillingen; det gjelder også etter at bimetallet er nedkjølt. Dermed kan vi få en lysindikering på at utkopligen har skjedd på grunn av overbelastning. Tilbakestilling må skje manuelt med tilbakestillingsknappen på det termiske vernet.

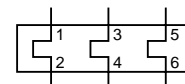
Figur 16.3



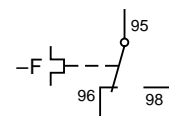
a Prinsipp for et termisk relé



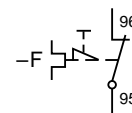
b Termisk relé med sperre og testtrykknapp



c Termisk relé, symbol i hovedstrømkrets



d Termisk vern uten sperre, symbol i styrestrømkrets



e Termisk vern med sperre, symbol i styrestrømkrets

Analoge givere

Tidligere ble analoge givere (initiatorer) bare brukt til å registrere to tilstander: AV- eller PÅ-signal.

Nå har det også kommet analoge givere på markedet som egner seg til måle- og reguleringsformål. De arbeider etter forskjellige metoder, for eksempel med potensiometer (variabel motstand) eller med differensialtransformator. Utgangssignalenes arbeidsområder er spenning fra 0 til 10 V likespenning eller strøm fra 0 til 20 mA. Driftsspenningen er fra 15 til 30 V.

Analog induktiv giver

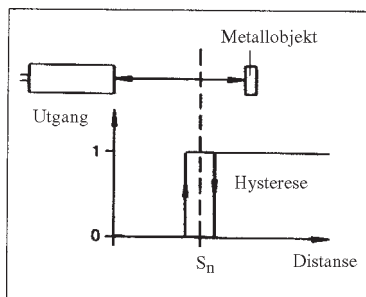
En vanlig induktiv giver kan bare detektere om et metallstykke befinner seg innenfor deteksjonsområdet. En analog induktiv giver gir et strømsignal som forteller hvor i deteksjonsområdet metallgjenstanden befinner seg.

Når vi bruker en analog induktiv giver, blir avstanden mellom giver og styrefane omformet til et signal på 0–20 mA. For-spenningen ligger her i området 15–30 V likespenning.

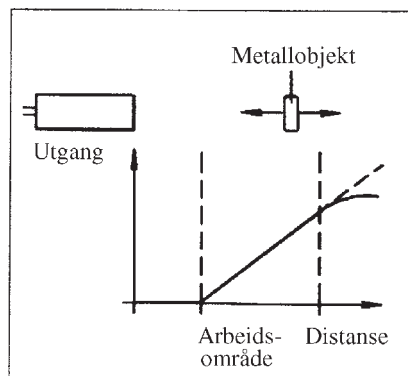
Analoge induktive givere kan vi for eksempel bruke til å

- detektere sentreringen av en aksel
- detektere størrelsen på et borehull
- regulere og innjustere industriroboter

Disse giverne kan også detektere en mengde forskjellige metaller. En konvensjonell giver kan bare registrere forskjellen på to metaller.

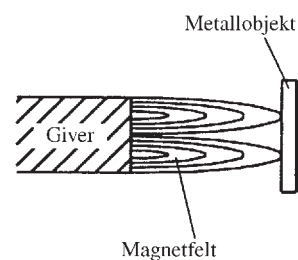


Figur 17.1 Tosignalgiver



Figur 17.2 Analog giver

De analoge induktive giverne detekterer endringene i magnetfeltet foran deres aktive flate på samme måte som de konvensjonelle induktive giverne. Virvelstrømmer blir induisert i et elektrisk ledende objekt foran givers utgang. Energitalpet som oppstår, resulterer i demping av oscillatorens amplitude.



Figur 17.3

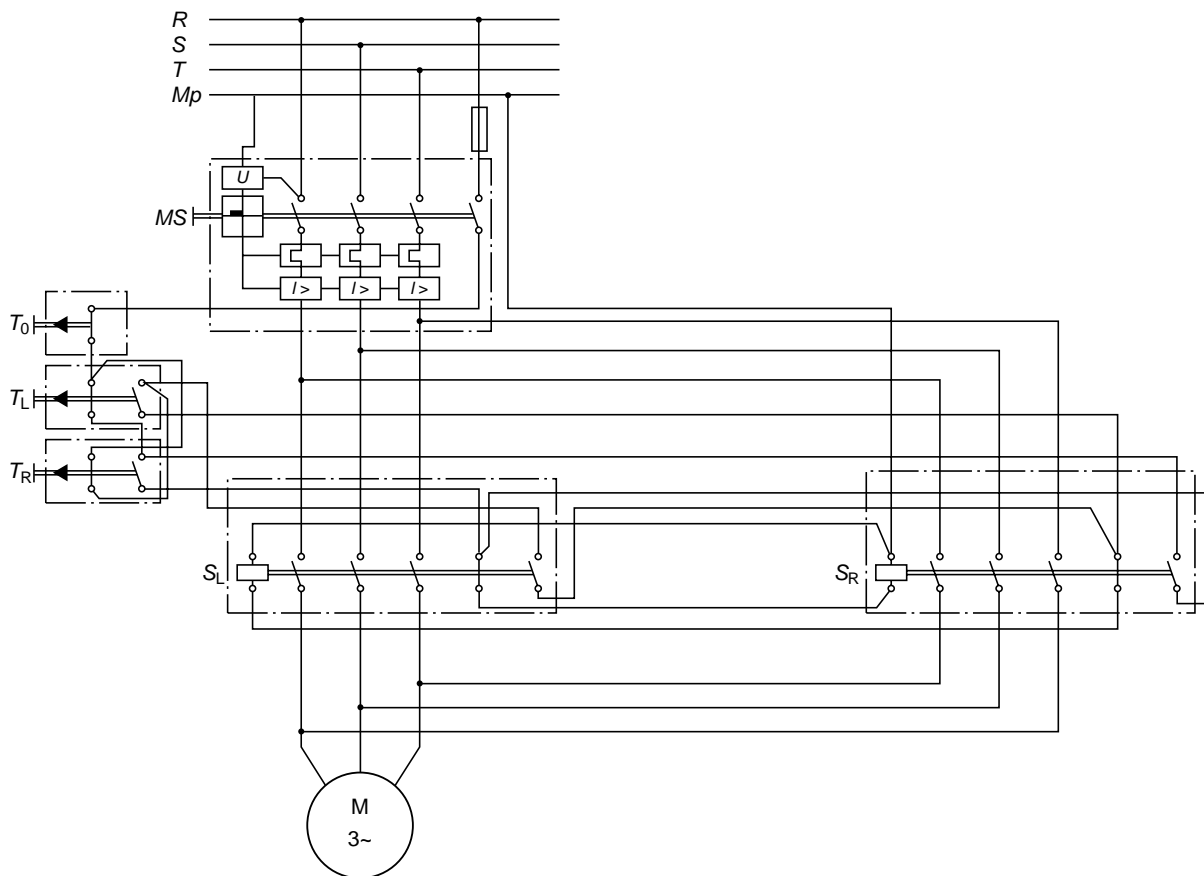
Elektriske styreskjemaer

Koplingskjema

Et koplingskjema er en tegnemetode som ble mye brukt tidligere. På et koplingskjema er kontaktorer og releer med kontakter tegnet slik de er fysisk plassert, og ledningene er tegnet som linjer fra kontaktsett til kontaktsett og til rekkeklemmer, trykknapper, motorer osv. Ulempen med et koplingskjema er at det kan bli svært vanskelig å forstå koplingenes funksjon.

Definisjon

Et koplingskjema er en framstilling av den elektriske sammenkoplingen av objektene i en enhet eller mellom enhetene i et anlegg.



Figur 18.1 Koplingskjema

Strømløpsskjema

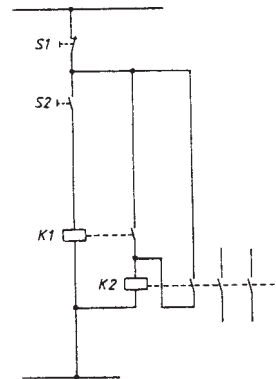
Et strømløpsskjema inneholder vanligvis to skjemaer: et styrestrømskjema og et hovedstrømskjema. Som det går fram av et styrestrømskjema, så tegner vi inn alle nødvendige styringsmessige relékontakter, hjelpekontakter, spoletilkoplinger på dette

skjemaet. På hovedstrømskjemaet tegner vi inn kontaktorer, relévern, hovedstrømsikringer og symbolene for den lasttypen som skal styres, for eksempel symbolet for en trefaset elektromotor. I dette kapitlet tar vi for oss flerlederstrømløpsskjema.

I prinsippet har vi tre framstillingsmåter for strømløpsskjemaer: *samlet framstilling*, *sammenbundet framstilling* og *fri framstilling*.

Samlet framstilling

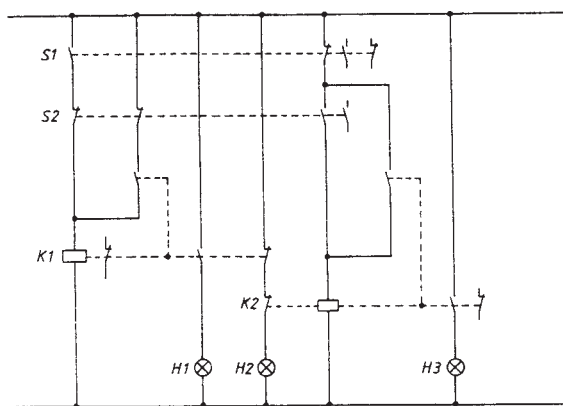
Ved en samlet framstilling tegner vi releenes eller kontaktorenes kontaktsett horisontalt rett ved siden av releene eller kontaktorene. Ledningsføringen vil være plasseringsorientert, som vi kan se ved siden av K2 på Figur 18.2. Symbolelementene plasseres med andre ord samlet i skjemaet. Dette er en mer oversiktlig måte å tegne elektriske skjema på enn å bare tegne koplingskjema.



Figur 18.2 Samlet framstilling

Sammenbundet framstilling

Den sammenbundne framstillingen er en forbedring av koplingskjemaet. Kontaktorer og hjelperelers spole-tilkoplinger tegnes inn på tegningen, men kontaktsettene legges inn på skjemaet i strømløpet der de har sin funksjon. For å vise hvilke kontaktorer eller releer kontaktene hører til, blir det tegnet en stiplede linje fra kontaktene til releene og kontaktorene. Denne metoden plasserer altså symbolelementene spredt på skjemaet, og den mekaniske sammenhengen mellom elementene angis med stiplede linjer. Denne framstillingsmetoden er lite brukt på større skjemaer. Figur 18.3 viser styrestrømsdelen.

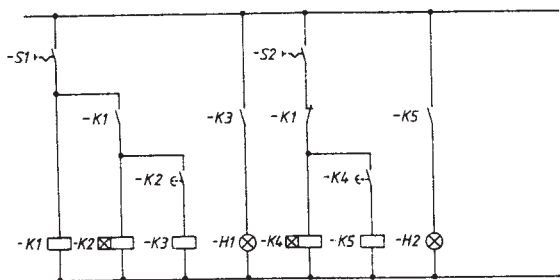


Figur 18.3 Sammenbundet framstilling

Fri framstilling

Fri framstilling er den mest brukte framstillingsmåten i skjematikk. Det enkelte symbolet og symbolelementet plasseres i den strømveien eller den kretsen der de funksjonsmessig hører

hjemme. Dermed får vi framhevet den funksjonelle og kretsmessige sammenhengen. Den mekaniske sammenhengen blir angitt under symbolene med referanser til hvilke strømveier symbolelementene bruker. Figur 18.4 viser styrestrømsdelen.



Figur 18.4 Fri framstilling

Elektrotekniske kretsskjemaer

Definisjon

Et kretsskjema er en komplett og detaljert presentasjon av en anleggsenhet eller et apparat, eller en del av disse, som har til hensikt å vise funksjon og virkemåte.

Kretsskjemaets hovedoppgave

Et kretsskjema skal

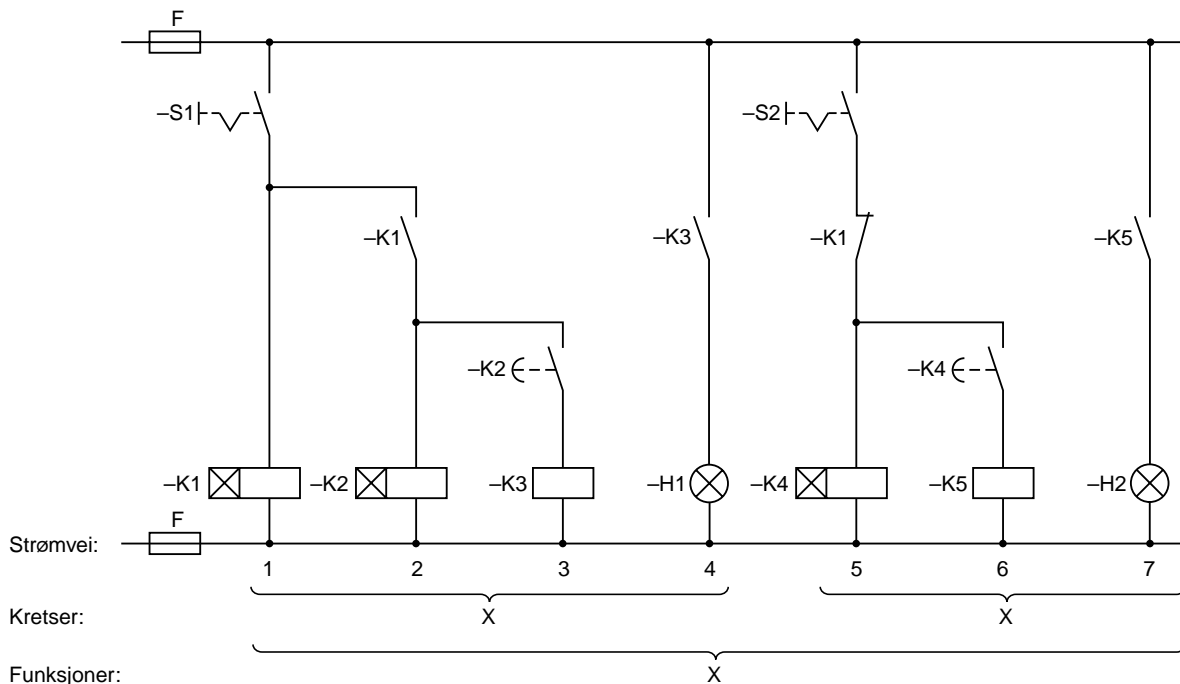
- vise objektets funksjonelle oppbygning og virkemåte
- klargjøre de data som er nødvendige for å utarbeide komponentdokumenter, utstyrsdokumenter og koplingsdokumenter
- muliggjøre effektive prøvings- og feilsøkingprosedyrer

Skjemastruktur

Et kretsskjema skal tegnes slik at det viser hver funksjon oppdelt i de enkelte kretsene og strømveiene (signalveiene). En krets kan bestå av flere strømveier (signalveier).

Det vanlige er at vi gir strømveiene hvert sitt nummer. Ofte er også strømveiene soneavgrenset, og disse sonene er også nummerert.

Styrespenningssymbolene tegner vi vanligvis vannrett, og signalveiene tegner vi loddrett.



Figur 18.5 Nummerering av strømveier

Utvikling av strømløpsskjema

Hovedregelen er at vi tegner symboler for koplingsapparater i stillingen AV (uaktivert) eller i utgangsstilling.

Vi kan følge disse reglene i de fleste tilfellene:

Skjema

- Tegn strømløpsskjemaene i spenningsløs tilstand.

Givere

Når vi skal tegne symboler for koplingsapparater, er regelen at vi skal tegne dem i AV-stilling eller i utgangsstilling. Det hender at vi må tegne symbolene for en del målende og registrerende apparater i deres driftstilstand. Det finnes ikke noen normerte regler for dette, men det er viktig at like apparater tegnes konsekvent i samme stilling.

Når vi tegner giversymboler, tar vi følgende utgangspunkt:

- Tegn trykkvakter, for eksempel pressostater, innkoplet uten trykk på anlegget (atmosfærisk trykk).
- Tegn temperaturbrytere (termostater) ved 0°C .
- Gå ut fra at det ikke finnes vann i tanken (tom tank) når du tegner nivåbrytere.
- Gå ut fra stillstand når du tegner hastighetsbrytere.
- Gå ut fra at det ikke er strømning i mediet når du tegner gjennomstrømningsgivere.
- Tegn endebrytere uaktivert. Hvis vi skal indikere at endebryteren er aktivert, kan vi tegne en pil med pilspissen oppover ved siden av endebrytersymbolet.

En PLS består i prinsippet av

- en sentralenhet som utfører signalbehandlingen for styre- og kontrollfunksjonene
- inngangs- og utgangsenheter
- en programmeringsenhet

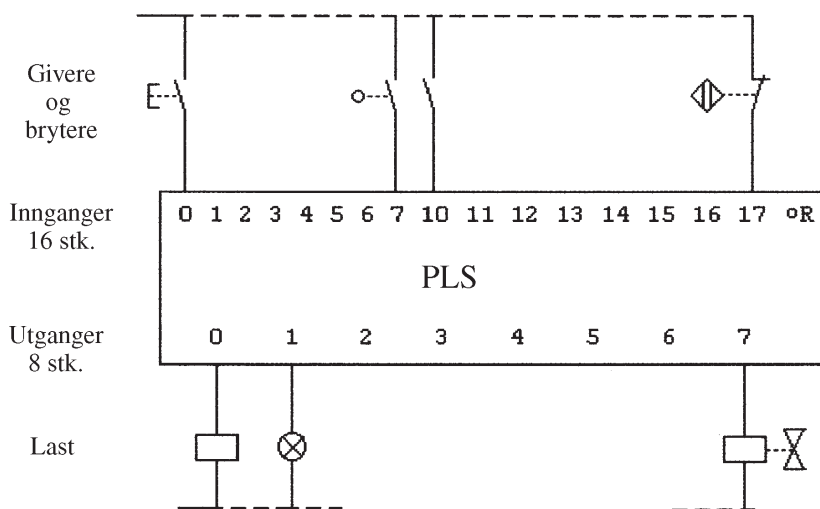
Sentralenheten samordner inngangssignalene i henhold til brukers PLS-program. Utgangene blir aktivert i samsvar med anvisningene og instruksjonene i programmet.

Vi kople brytere og givere til inngangene, mens vi kople kontaktorspoler, reléspoler og signallamper kople til utgangene.

For å programmere PLS-programmet benytter vi en håndholdt programmeringsenhet eller en vanlig PC med PLS-fabrikantens programvare.

PLS-ens inn- og utgangsnummer

PLS-ene er utrustet med nummer som er basert på oktale tallkombinasjoner. Inngangene er påført nummer fra 0 til 7 eller 1 til 8. Videre vil numrene på de neste inngangene bli henholdsvis 10 til 17 eller 11 til 18 osv. Numrene på utgangene vil være de samme som på inngangene. I kombinasjonen 0 til 7 vil nummer 8 og 9 mangle, det vil si at første inngang har nummer 0, se Figur 20.2. Når vi nummererer fra 1 til 8, er tallene 9 og 10 fraværende. Her er altså den første inngangen nummerert med tallet 1.



Figur 20.2

Programmeringsspråk i henhold til standarden IEC 61131-3

For å gjøre programmeringsspråkene fra de ulike PLS-fabrikantene mer samstemte er det utviklet fem standardiserte programmeringsmetoder. Meningen er at filformatene til de ulike PLS-fabrikantene skal bli så like at vi kan utveksle programmer mellom de ulike systemene. Dette arbeidet er allerede høyt prioritert hos fabrikantene. Det er grunn til å legge til at de gamle systemene kommer til å eksistere i industrien i mange år ennå, derfor er det også viktig å beherske de gamle programmeringsmetodene.

IEC (International Electrotechnical Commission) 61131-3 definerer tekstbaserte, grafiske og sekvensielle språk. Disse fem språkene er

- tekstbaserte
 - _ instruksjonsliste (IL)
 - _ strukturert tekst (ST)
- grafiske
 - _ stigediagram (LD)
 - _ funksjonsblokkdiagram (FBD)
- sekvensielle
 - _ sekvensielt funksjonsdiagram/kart (SFC)

Komponentbokstavene er nå standardiserte, for eksempel I for inngang, Q for utgang og bokstaven M for internrelé (også kalt minne).

PLS-tilkoplinger og inn- og utganger

Mål

Etter at du har gjennomgått dette kapitlet, skal du

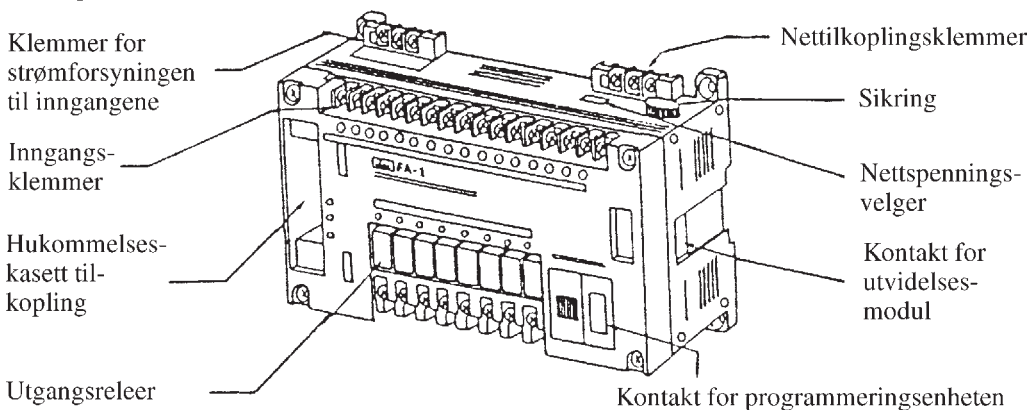
- kjenne til teknikken som brukes for å beskytte PLS-enes inn- og utganger
- kjenne til hvordan vi kopler PLS-ene, og hvordan vi sikrer dem
- kjenne til noen strømforsyninger og begreper vedrørende disse

Baseenheten til PLS-en

Baseenheten, eller grunnenheten, er selve PLS-en med en sentral mikroprosessor, eller CPU (Central Processing Unit) som den kalles på engelsk. Prosessoren analyserer og utfører alle instruksjonene, og den har den overordnede kontrollen av PLS-en.

Styringsprogrammet til PLS-en er i hukommelseskassetten som vi setter inn i baseenheten, se figur 20.3. Denne typen har et fast antall digitale (1 og 0) inn- og utganger. Antallet inn- og utganger kan vi utvide ved hjelp av en utvidelsesenhet. Utseendemessig er utvidelseenheten nesten lik baseenheten, men sentralenheten mangler. Baseenhetens sentralenhet brukes også til utvidelsesenheten. Baseenheten er i tillegg utstyrt med 16 innganger og 8 utganger. Ved hjelp av utvidelsesenhetene kan vi maksimalt tilkople 128 innganger og 128 utganger.

Navn på delene



Figur 20.3 Baseenhet med 16 innganger og 8 reléutganger

Modulplassering

Enkelte typer PLS-er er sammensatt av moduler. Disse typene er utstyrt med en strømforsyningsmodul, en sentralenhetsmodul, en bussmodul og andre moduler som kan inneholde digitale 4- eller 8-kanals inngangs- og utgangsmoduler. På monteringssskinnen kan vi også montere analoge inn- og utgangsmoduler, tidsmoduler, tellermoduler og grenseverdmoduler, alt avhengig av hva prosessanlegget har behov for å styre eller overvåke.

Modulene som settes inn ved siden av sentralenheten, får et modulplassestnummer fra og med 0 og opp til 15. Modultypen betegnes med en bokstav som fabrikanten selv velger. På figur 20.5 er bokstaven E (tysk standard) brukt for å betegne inngangsmoduletype. Kanalnummeret betegner hvilket inngangsnummer de forskjellige givene er tilkopleet.

Trefaset nettsystem – generell oppbygning og funksjon

Trefaset vekselspanning

Et system av trefaset vekselspanning består i utgangspunktet av tre like atskilte enfasesystemer som er faseforskjøvet 120° (elektriske grader) i forhold til hverandre. Lar vi et polpar rotere som Figur 21.1 viser, vil det i hver spole eller fase bli induisert en like stor spenning med lik frekvens. Frekvensen er proporsjonal med antall polpar og omdreiningshastigheten:

$$f = \frac{P \cdot n}{60}$$

Tenker vi oss at vi måler de tre fasespenningene med et oscilloskop, får vi et spenningsdiagram for alle de tre fasene som vist på Figur 21.1. Her ser vi at øyeblikksverdiene for de tre fasene til enhver tid ligger faseforskjøvet 120° (det vil si $1/3$ periode).

De tre viklingene blir lagt i statoren med en avstand på 120 elektriske grader. Endepunktet på hver vikling merker vi på følgende måte:

<p>U1 og U2 for fase L1 V1 og V2 for fase L2 W1 og W2 for fase L3</p>

Dersom nøytralt punktet er tilgjengelig, skal vi merke det med N .

Endepunktene på de tre faseviklingene fører vi ut på et klemmebrett der de vanligvis blir koplet på følgende måter (se Figur 21.2):

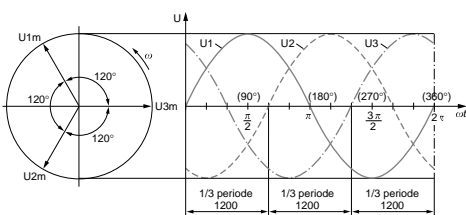
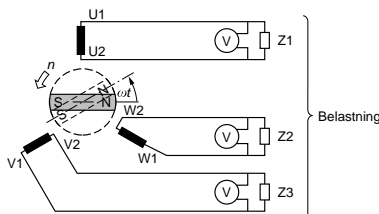
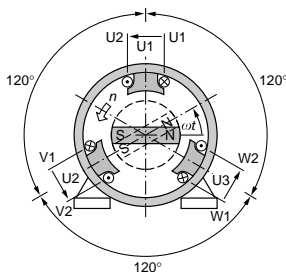
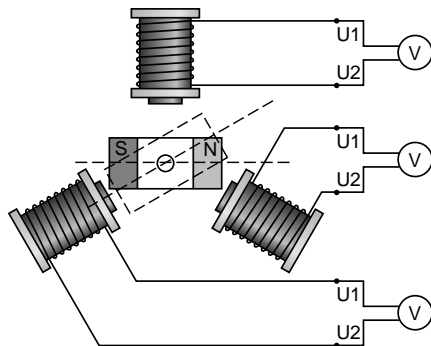
- *Trekantkopling* til bruk for trefaset isolert nettsystem (IT-nett).
- *Stjernekopling* til bruk for trefaset isolert nettsystem (IT-nett)
- *Stjernekopling med tilgjengelig nøytralt punkt* (N-punkt) til bruk for nett med direkte jordet system (TN-nett).

Øyeblikksverdiene for de enkelte fasespenningene kan vi finne på følgende måte:

$$u_U = u_{Um} \cdot \sin(\omega t)$$

$$u_V = u_{Vm} \cdot \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

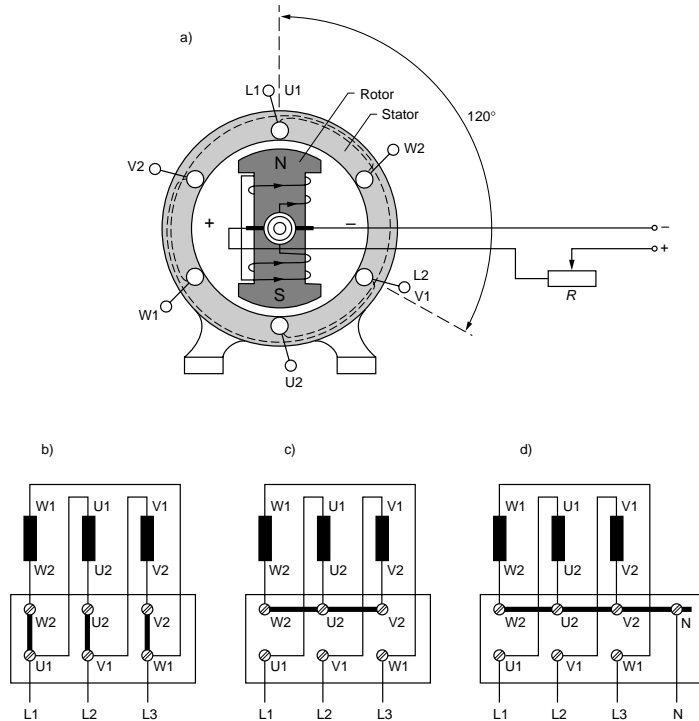
$$u_W = u_{Wm} \cdot \sin(\omega t + 2\pi/3)$$



Figur 21.1 Framstilling av trefaset vekselspanning med ett polpar

I et «friskt» og symmetrisk belastet (jevnt belastet) nett vil alltid summen av øyeblikksverdiene for spenningene være null. Det vil si at

$$u_U + u_V + u_W = 0 \text{ V}$$



Figur 21.2

- a) Prinsipiell utførelse av en topolet trefaset vekselstrømsgenerator,
- b) Viklinger D-koplet for IT-system,
- c) Viklinger Y-koplet for IT-system,
- d) Viklinger Y-koplet med uttak for N-leder til bruk for TN-systemer

Summen av strømmene blir også lik null i et friskt og symmetrisk belastet nett. Vi kan beregne øyeblikksverdien av strømmene på samme måten som vi beregnet øyeblikksverdiene for spenningene. Også summen av dem er alltid lik null i et friskt og jevnt belastet nett:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \text{ A}$$

Nettsystemer – strøm- og spenningsforhold

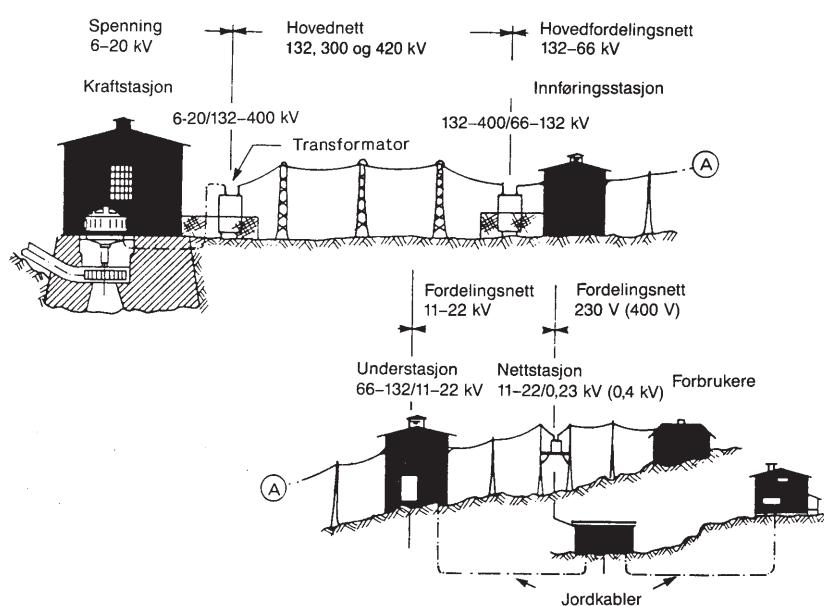
Overføring og distribusjon av elektrisk energi

Tilførsel av elektrisk energi til industribedrifter, forretninger, institusjonsbygg, boliger og så videre skjer normalt i form av *tre-faset vekselstrøm ved lav spenning*. Overføringsnettene kaller vi da et *lavspent overføringsnett*. (I et høyspent overføringsnett blir energien overført ved høy spenning (høyspentnett), mens den i et lavspent overføringsnett blir overført ved lav spenning). Jo høyere spenning vi overfører elektrisk energi med, desto mindre strøm går det i ledningene. Det vil igjen si at vi kan benytte mindre tverrsnitt for overføringsledningene. På grunn av lavere strøm får vi også mindre overføringstap i ledningene.

Ved større industribedrifter blir energien ofte tilført med høy spenning (fordi en bruker egne transformatorer innenfor industriområdet som transformerer spenningen ned fra høyspent til lavspent).

Vi har mange typer industri i Norge. Felles for dem er den omfattende bruken av motorer til møller, knusere, transportbånd, pumper, prosessanlegg og så videre.

Vi skal ikke gå nærmere inn på produksjon, transformering og overføring av elektrisk energi her, men nøye oss med å gi en kort oversikt over hvordan energien blir levert fra kraftstasjonen til forbrukerne. Se figurene 21.25, 21.26 og 21.27.

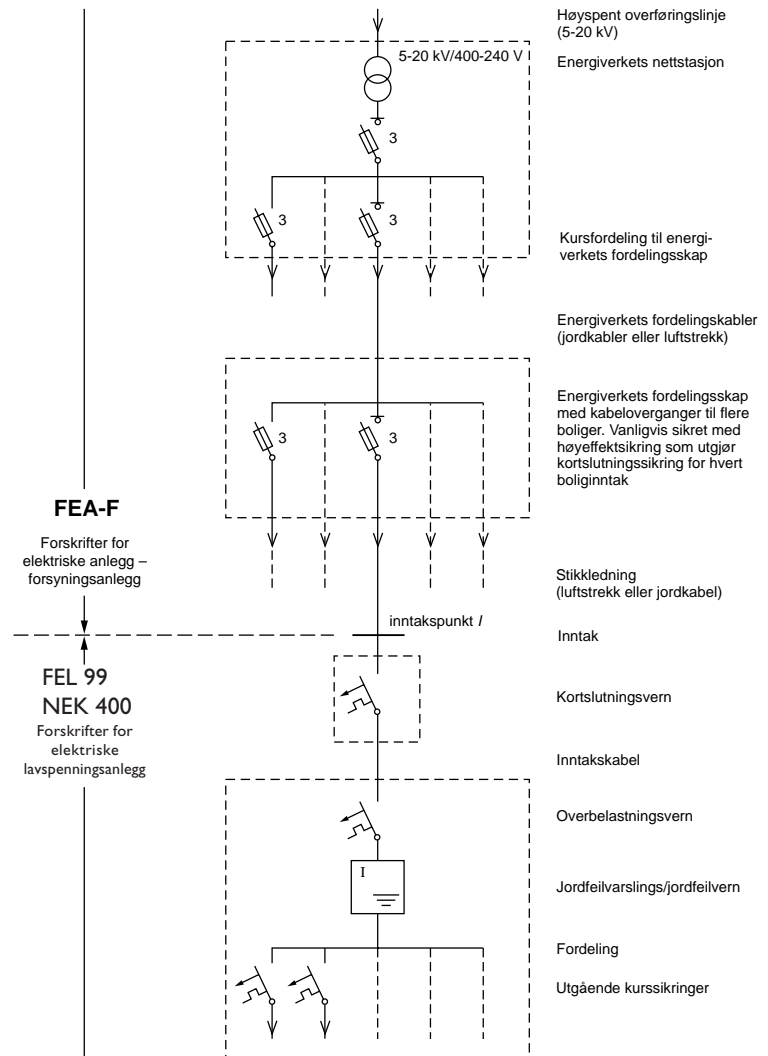


Figur 21.25

Generatorspenningen i kraftstasjonene er ikke høyere enn 6–20 kV (kV = kilovolt = 1000 V). Spenningen blir derfor transformert opp til en høyere *overføringsspenning* på 132 kV, 220 kV, 300 kV eller 420 kV. Energien blir så distribuert (overført) gjennom en fjerntledning til innføringsstasjonene, der spenningen blir transformert ned til området 30–60 kV og grovfordelt til understasjonene. Ved understasjonene blir spenningen transformert videre ned, til en *fordelingspenning* på 5–20 kV. Denne spenningen (energien) går så ut til nettstasjonene. Her blir spenningen transformert ned til 400 V eller 230 V og fordelt til forbrukerne.

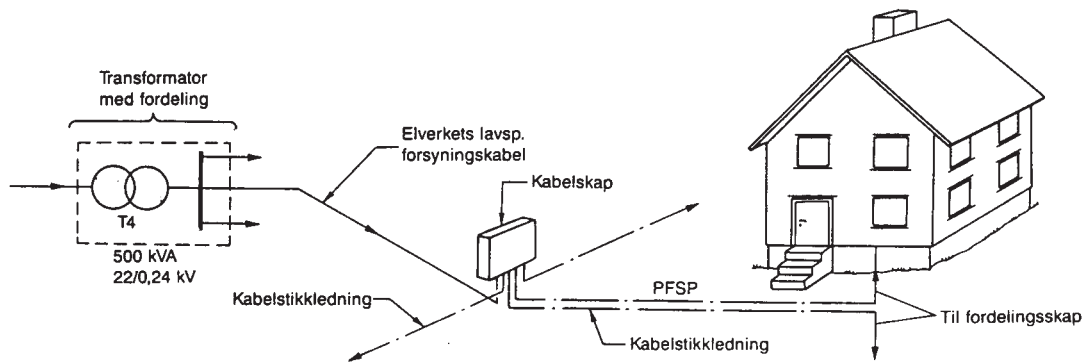
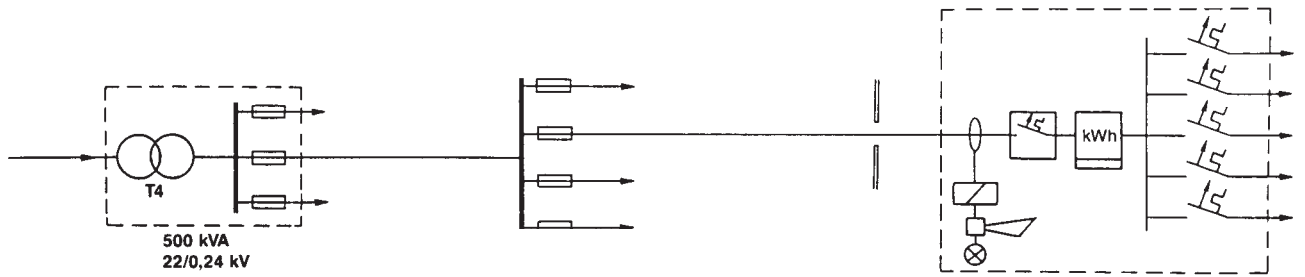
Energiverkenes lavspente fordelingsnett og stikkledninger inn til boligene ble tidligere stort sett utført som luftnett. I dag blir begge deler vanligvis levert som jordkabelnett.

I byer og tettbebyggelser utfører en i dag også høyspentnett som jordkabelnett.



Figur 21.26

Høyspent-nett	Transformator med fordeling	Lavspenit fordelingsnett	Kabelskap KV	Kabelstikkledning	Inntak	Fordelingsskap			
						Jordf.v.	OV	Måler	Utg. kurser



Figur 21.27

Innledning

I arbeidslivet gjelder en rekke lover og forskrifter som har til formål å redusere antall ulykker og skader. Noen forskrifter gjelder for alle typer arbeid, og noen gjelder en spesiell type arbeid. *Arbeidsmiljøloven* (AML) med forskrifter er en lov som gjelder for nesten alle arbeidssituasjoner og på de fleste arbeidsplassene. *Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg* (FSE) er en forskrift som gjelder for alle som arbeider på eller nær ved spenningsførende anlegg fra 230 og opptil 1 000 V AC. For arbeid på eller i nærheten av høyspentanlegg gjelder en egen forskrift.

I dette kapitlet skal vi kort se nærmere på Arbeidsmiljøloven og FSE, du vil også lære om dem i andre fag, og se litt på DH, som spesielt omfatter faget produksjon og overføring av elektrisk energi. Dette kapitlet gir deg en kort orientering om innholdet i disse lovene og noen oppgaver, slik at du ved egen aktivitet kan lære disse forskrifter å kjenne.

Arbeidsmiljøloven

Hensikten med denne loven er gitt i dens første paragraf der det står:

Lovens målsetning er:

- 1 å sikre et godt arbeidsmiljø som gir arbeidstakerne full trygghet mot fysiske og psykiske skadevirkninger og med en verne-teknisk, yrkeshygienisk og velferdsmessig standard som til enhver tid er i samsvar med den teknologiske og sosiale utvikling i samfunnet,
- 2 å sikre trygge tilsetningsforhold og en meningsfylt arbeidssituasjon for den enkelte arbeidstaker,
- 3 å gi grunnlag for at virksomhetene selv kan løse sine arbeidsmiljøproblemer i samarbeid med arbeidslivets organisasjoner og med kontroll og veiledning fra offentlig myndighet. Det er en del ulykker i arbeidslivet, og det viser seg at årsaken til mange av dem er brudd på Arbeidsmiljøloven. Ved å følge denne loven og dens anbefalinger kunne de fleste av disse ulykkene vært unngått.

Loven inneholder en rekke krav til arbeidsmiljøet på arbeidsplassen og sikkerhetstiltak i forbindelse med tekniske innretninger. Eksempler på slike krav er

- gode lysforhold, helst dagslys på arbeidsplassen
- godt klima med hensyn til luftvolum, ventilasjon og temperatur
- minst mulig forurensning i form av støy, støv, gass, lukt og så videre
- at tekniske innretninger skal ha fysiske begrensninger mot skader
- tilfredsstillende sanitærrom og velferdsrom
- førstehjelpsutstyr og ulykkesberedskap

Loven inneholder også regler om arbeidstid og fritid. Det gjør den for å hindre overbelastninger hos de ansatte slik at de ikke er trøtte under arbeidet, noe som kan føre til ulykker. Loven inneholder også regler, forskrifter og veiledninger på en rekke andre områder som du blir kjent med i andre fag.

For å følge opp loven og se til at den blir fulgt, skal de ansatte velge et verneombud og bedriften ansette en verneleder. Stillingen som verneombud er et tillitsverv, og vedkommende som blir valgt, har krav på å få utføre sine oppgaver i arbeidstida. I små bedrifter er denne stillingen ofte en deltidstilling, mens i større bedrifter kan det være en heltidstilling. Selv om bedriften har ansatt en verneleder og de ansatte har sitt verneombud, er det hver enkelt ansvar å følge de reglene som står i loven og dens forskrifter. Arbeidsgiveren skal legge forholdene til rette og skaffe nødvendig verneutstyr, mens de ansatte må ta ansvar for å bruke det. I store bedrifter er det ofte en egen avdeling som har ansvaret for helse, miljø og sikkerhet. Slikt arbeid og en slik avdeling går ofte under betegnelsen HMS.

Staten har en egen etat som heter Arbeidstilsynet. Det har til oppgave å følge opp arbeidsmiljøloven. Denne etaten har kontorer rundt om i landet. Arbeidstilsynet kan være en medhjelper og rådgiver i tiltak som har med arbeidsmiljøloven å gjøre. De kan også være en kontrollinstans som sjekker at lovens intensjoner blir fulgt. Alle arbeidsulykker skal en melde til Arbeidstilsynet, som blant annet har til oppgave å finne årsaken til ulykken. Etter etterforskning av ulykker kan en sikre seg mot nye ulykker ved å forandre rutiner og utarbeide nye forskrifter og veiledninger.

I Arbeidstilsynets årsberetning fra 1995 går det fram at det hadde noe over 18 000 inspeksjoner. Omtrent 4 500 av disse inspeksjonene førte til pålegg om forbedringer. 682 bedrifter ble ilagt tvangsmulkt, og 305 ble stengt i kortere tid på grunn av farlig arbeidsmiljø. Det ble innberettet 30 100 personskader og 60 dødsfall på grunn av arbeidsulykker i 1995. I 1996 var tallene 27 779 skader og 51 dødsfall. En rekke av disse ulykkene kunne vært unngått dersom en hadde fulgt påbud og anbefalinger i arbeidsmiljøloven.

Forskrifter

I tilknytning til arbeidsmiljøloven er det utgitt en rekke forskrifter og veiledninger som omhandler egne temaer og sikkerhet. Eksempler på områder der det er gitt ut egne hefter med forskrifter eller veiledninger, er

- tekniske innretninger og maskiner
- graving og avstiving av grøfter
- stillaser og arbeid i høyder
- arbeidslokaler og personalrom

Fravær

En kan aldri sikre seg mot sykdom og heller ikke 100 % mot ulykker. Mye kan derimot gjøres ved å følge alle lovene, forskriftene og anbefalingene. Da ville sannsynligvis sykefraværet i bedriftene blitt redusert. Årsberetninger fra en del energiverk viser at sykdomsfraværet er fra 3 til 5,5 %.

Strømmens virkning på kroppen

Strøm er farlig, og jo høyere spenning vi arbeider med, desto farligere er den. Derfor er det strenge forskrifter for hvordan elektriske anlegg skal utføres, og strenge krav til godkjenning av materiell (Forskrift for elektrisk utstyr, FEU, og normer). Det er også strenge krav til hvordan en skal sikre seg når en arbeider på eller nær ved elektriske anlegg. Ulykker forårsaket av elektrisitet fører ofte til brannskader som oppstår av lysbuer forårsaket av for eksempel kortslutning eller ved direkte kontakt med spenningsførende deler. En annen alvorlig skade kan oppstå når strøm går gjennom kroppen. Det kan føre til indre skader og i verste fall hjerte- eller lungestans.

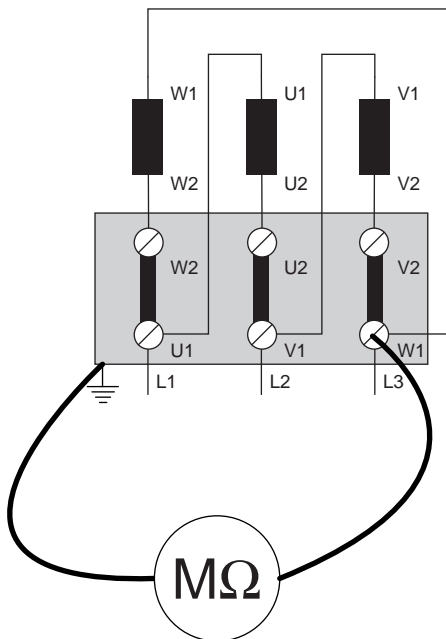
Klassifisering av instrumenter

SYMBOLER FOR STRØMTYPE	Symbol	betydning	anmerkning
		likestrøm	
		vekselstrøm	
		likestrøm og vekselstrøm	
		trefasevekselstrøm, en strøm- og en spenningskrets	enfasewattmeter gradert i trefaseeffekt. For måling av symmetrisk trefasebelastning
SYMBOL FOR PRØVESPENNING	Symbol	betydning	anmerkning
		prøvespenning 500 V	
		prøvespenning 500 V	symbolet viser prøvespenning 2 kV mellom tilslutningsklemme og instrumentdeksel
		ikke spenningsprøvd	
SYMBOLER FOR BRUKSVINKEL	Symbol	betydning	anmerkning
		vertikal bruk	eksempel: tavleinstrumenter i vertikale tavler
		horisontal bruk	de fleste universalinstrumenter, driftsinstrumenter og presisjonsinstrumenter
		hellende bruksvinkel	
SYMBOLER FOR NØYAKTIGHETSKLASSE	Symbol	betydning	anmerkning
	1,5	klassebetegnelse, feil i prosent av fullt skalautslag for et bestemt måleområde	følgende klasser finnes: 0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2 og 2,5. Instrumenter av klasse 0,1 - 0,2 eller 0,5 kalles presisjonsinstrumenter
		klassebetegnelse, feil i prosent av skalalengden	gjelder for kvoteinstrumenter og for instrumenter med sterk ulineær skala
		klassebetegnelse, feil i prosent av riktig verdi	instrumenter med sterk ulineær skala

Feilsøking og viklingskontroll i motorer og motorkretser

Mulige feil i en asynkron kortslutningsmotor opptrer vanligvis i statorviklingene og kan være:

- Overslag mellom fase og jord
- Overslag mellom to faser
- Brudd i viklingene eller tilkoplingene på klemmebrettet



Figur 23.1

Når vi undersøker motoren for slike feil bruker vi en isolasjonsmåler *megger*.

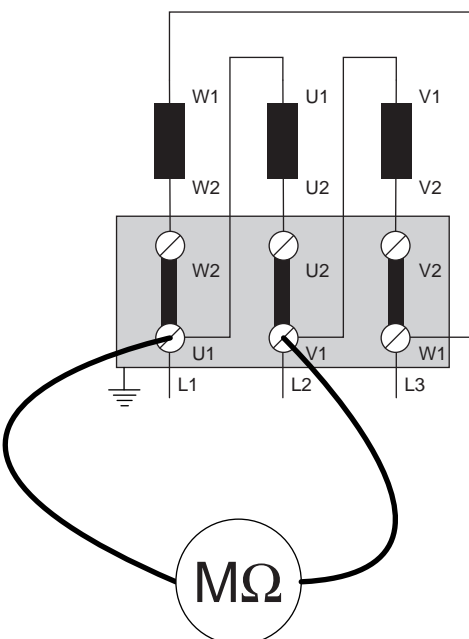
NB ! Det er viktig å kople motoren fra den øvrige installasjonen før meggingene utføres, spesielt hvis det er elektronikk i kretsen.

Overslag mellom fase og jord kan måles som vist i figur 23.1.

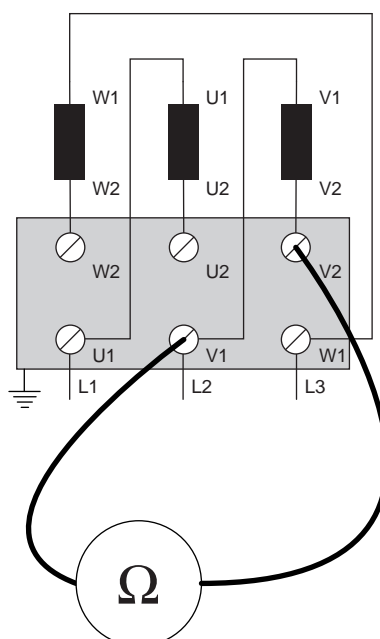
Lar vi koplingene på klemmebrettet stå urørt, er det her nok å måle mellom en fase og jord. Er det feil i en av fasene vil da måle en for lav isolasjonsresistans. Tilkoplingene på klemmebrettet må i såfall tas bort og hver fase måles hver for seg.

Isolasjonsmåling mellom faser må måles med laskene fjernet fra klemmebrettet som vist på figur 23.2. Alle viklingene må kontrolleres mot hverandre.

For kontrollere brudd i en vikling kan vi måle resistansen i viklingene som vist på figur 23.3. Til dette kan vi bruke den samme meggeren, men stille inn på måleområde *ohm*. Verdien som vi måler i de tre viklingene skal ikke avvike mer enn 0.5 %.



Figur 23.2



Figur 23.3

I henhold til tabell 6A i NEK 400 skal det brukes prøvespenninger avhengig av den nominelle nettspenningen – eller den spenningen som utstyret er dimensjonert for.

Testspenningen skal være på minst 250V og ikke høyere enn to ganger den spenning utstyret er dimensjonert for. For 230 og 400V-anlegg vil dette si en testspenning på 500V etter FEB91. Punktet (612.8.2) er under overveielse i NEK 400.

Isolasjonsresistansen skal være på minimum 1000 ganger prøvespenningen, d.v.s. 0.5 MΩ.

For 230 og 400V-anlegg:

Tabell 23.1

Nominellspenning	Prøvespenning	Isolasjonsmotstand
[V]	[V]	[MΩ]
SELV, PELV	250	≥0,5
$U \leq 500$	500	≥1,0
$U > 500$	1000	≥1,0

Stikkord

A

anleggsbeskyttelse 342
annen ledende del 320
anode 58
apparatbatterier 225
arbeidsjording 310
arbeidskontakt 162
arbeidsmiljøet 338
Arbeidsmiljøloven 337, 338
Arbeidstilsynet 338
asynkronmotor 102
AUS-arbeid 347
automatisk utkopling 321
Automatsikringer 180

B

belastning 263
belastningsobjekter 261
berøringsspenning 318
berøringsspenningen 319
beskyttelsesjording 307, 308
beskyttelsesjordleder 297
beskyttelsesleder 300
beskyttelsesleder (PE-leder) 300
bokstavgrupper 285
brannsikkerhet 317
bruksområder 291

D

Dahlanderkopling 132
dekade 32
DH 337, 350
diode 56, 57
direkte berøring 321
direkte start 118
dreieretningsvendere 243
driftsformer 169
Driftsforskrifter for høyspenningsanlegg 337, 345
driftsjording 307
driftsleder 345
driftssikkerhet 317
driftssikkerhet 292
driftsstrøm 312

E

eEffekt 76, 107
effekt faktoren 109
effektivverdi 22
elektrolytkondensator 48
elektrolyttkondensator 49
elektromagnetisk kompatibilitet 294
elektromagnetisk kompatibilitet, EMC 294
elektroniske motorvern 176
elektroniske tidsreleer 242

elektrostatisk utladning 294
elektrostatisk utladning, ESD 294
elsikkerhetssystem 294
EMC 294
EMC-direktivet 295
EMC-kravene 297
enpolet jordslutning 314
enpolet kortslutning 313
ESD 294

F

fargekoden 33
fasespenning 259
fasespenningen 259
fasestrøm 263
feilstrøm 315
flerpolet kortslutning 313
flytende nøytralpunkt 262
foranstaltning 342
fordelingsspenning 279
fordelingssystemer 283
fordelingssystemer 282
forigling 242
forstillingsorgan 153
forventet berøringsspenning 310
forventet berøringsspenning 319
fotoceller 200
fotoresistor 31
frakopling 342
frekvens 20, 106
frekvensomformer 137
funksjonsjording for tele-, data- og signalanlegg 300

G

givere 182

H

hastighetsregulering 131
hjelpetakter 163
hjelpereleer 158
hMS 338
holdekopling 213
hovedjordklemme 301
hovedjordleder 299
hovedjordleder 294
hovedjordskinne 294
hovedspenning 262
hovedstrøm 263
hovedstrømløpsskjema 211
hovedutjevningssklemme 301
hovedutjevningssklemme 300
hvilekontakt 162
høyest tillatte berøringsspenning 318
høyeste kortslutningsstrøm 313

I

IEC 61131-3 248
IEC-symboler 218
indirekte berøring 308, 321
induktans 39
induktiv giver 186
Induktiv last 167
induktor 39
initiatorer 182
innganger 252
inngangssiden 256
internkontroll 350
IT-nett 261
IT-systemer 291
IT-systemet 291, 324

J

jord 305
jordelektrode 297, 303
jordelektrode 294, 303
jordelektroder 303
Jording 294
jording 285
jordingspunkt 307
jordingsystem 294
jordplate 303
jordresistansen 305
jordslutning 314
jordspyd 303

K

kabelskjema 234
kapasitiv giver 189
kapslingsgrad 104
katode 58
keramisk kondensator 46
kirchhoffs lover 84
kondensator 44
kontakter 162
kontaktor 158
kopplingsfrekvens 185
kopplingshysterese 185
koplingsskjema 207
kortslutningsstrøm 313
kortslutningsvern 178
krav til jordingsystemet 307
kroppsresistans 320
kroppsresistansen 319, 325
kjøling 62

L

last 79
laveste kortslutningsstrøm 314
likeretter 138
likeretting 64
likestrøm 6

likestrømsmotor 116
likestrømsmotor 102
linjespenningen 262
lov om internkontroll 350
lyn 311

M

magnetisk giver 191
merkeskilt 103, 106
merkespenning 106
Merkestrøm 312
momentanverdi 21
motorvern Bryter 172
multimeter 11
mykstartere 123
måleomformer 151

N

N-leder 266, 267
NAMUR-giver 193
nettsystemer 279, 285
nominell spenning 282
nominell strøm 312
NPN 253
nøytralpunkt 266, 287

O

Ohms lov 9
overføringsspenning 279
overgangsresistans 297, 305
overgangsresistans til jord 305
overlaststrøm 313
overspenningsavledere 311
overstrøm 313

P

parallellkopling 94
PE-leder og N-leder 287
PE-ledere 287
PEN-leder 287
periode 20
periodetid 21
personlig verneutstyr 342
Person sikkerhet 315
personskader 316
PLS 246
PNP 253
polpar 110
potensialforskjell 91
potensiometer 28
prosessverdi 153
pådragsorgan 153

R

reaktans 39
reaktor 39
regulator 153
rekkeklemmer 232
rele pole 39
repetbarhet 185

resistans 9
resistor 26
rørkondensator 47
roterende impulsgivere 204

S

samtidig berørbare deler 320
seriekopling 82
SF6-anlegg 348, 349
signal referansejord 300
signalverdier 152
sikkerhet 312
sikkerhetsbrytere 244
sikkerhetsforskrifter for Lavspennings-
anlegg 337
sikkerhetskort 345
sikringer 178, 347
skademelding 344
skal-verdi 153
skivekondensator 46
SL 337, 350
sleperingsmotor 113
solid state-relé 166
spenningsbånd 283
spenningsdiagram 259
spenningsførende del 320
spenningsområder 282, 283
spenningsprøving 342
spenningstester 344
spenningstrekant 263
spesialkontakter 162
spole 160
spole 38, 39
SRJ 301
SRP 301
standardsignaler 152
startmetoder 118
startstrøm 119, 313
stjerne-/trekantstart 120
stjerne-/trekantvender 119
stjernekopling 108, 266
stjernekopling med tilgjengelig
nøytralpunkt 267
stjernekopling uten tilgjengelig
nøytralpunkt 266
streklapp 29
strøm ved jordslutning 314
strømforsyning 283
strømføringsevne 315
strømløpsnummer 222
strømløpsskjema 207
strømtrekant 264
styrestrømkretser 206
styrestrømløpsskjema 212
symboler 218
symmetrisk belastning 263
symmetrisk likeartet belastning 263
systemjording 308

T

tennkondensator 46
tennspole 39
tegningsmerking 231
temperaturkoeffisienten 35
termisk relé 164
termisk vern 173
termistor 29
termistorvern 177
tidforsinket INN-relé 241
tidforsinket UT-relé 241
tidsreleer 239
TN-C-S-system 287
TN-C-system 287
TN-nett 261, 267
TN-S-system 287
TN-systemer 287
TN-systemet 287, 329
toleransområder 282
topolet jordslutning 315
toppverdi 21
transformator 42
transformator 39
trefaset nettsystem 259
trefaset vekselspenning 259
trekantkopling 108, 262
trimkondensator 46
TT-systemer 293, 334
TT-systemet 293
turtall 147

U

ultralydføler 198
usymmetrisk belastning 268
usymmetrisk likeartet belastning 264
utganger 252
utgangssiden 257
utjevningsforbindelser 299, 300
utjevningsleder 300
utjevningsstrøm 268
utsatt del 320

V

varistor 30
vekselkontakt 162
vekselretter 139
vekselspanning 19
vekselstrøm 18
vekselstrømsmotor 102
verneombud 338
verneutstyr 342
virkningsgrad 107

Y

Y/D-startere 121

Z

Zenerdiode 72