

Relæteknik

I dette afsnit behandles virkemåde, dimensionering samt mærkning efter gældende standarder for typiske komponenter af typerne:

Kontaktorer

Motorbeskyttelsesrelæer

Hjælperelæer

Tidsrelæer

Specielle relæer

Solid state relæer

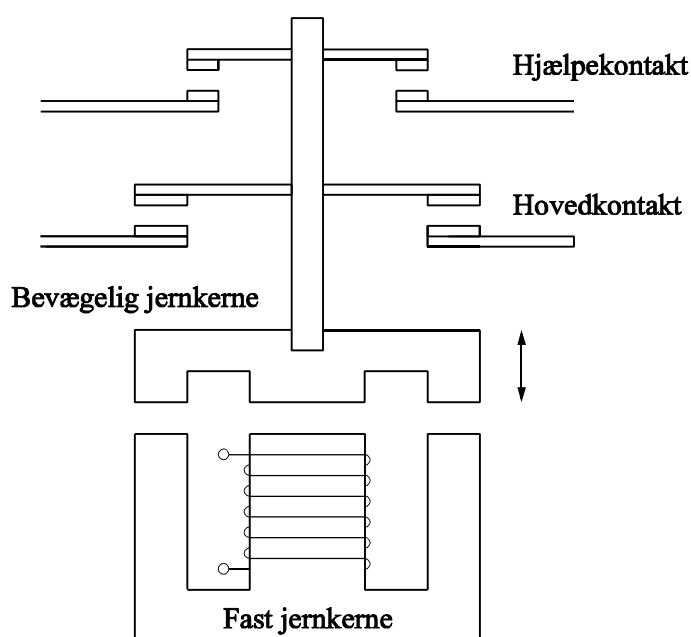
Endvidere gives der nogle eksempler på anvendelse af disse komponenter i forskellige sammenhænge.

Opbygning og virkemåde

En kontaktor er et elektromagnetisk relæ, hvis opgave er at virke som afbryder. Desuden kan kontaktoeren betragtes som et forstærkerelement. Ved hjælp af en relativ lille styrestrøm er det muligt at tilkoble en mange gange større arbejdsstrøm.

Alle kontaktorer består af to jernkerner, en fast kerne og en bevægelig kerne.

Til den bevægelige kerne er der fastgjort en eller flere kontakter, som er elektrisk isoleret fra kernen og hinanden.



I nogle tilfælde er hjælpekontakter en del af en kontaktor, og i andre tilfælde fås kontaktorsystemet med løse hjælpekontakter, som med en fjederanordning kan monteres på den egentlige kontaktor. Dette giver en god fleksibilitet, når man kan montere det antal og den art af kontakter, man har brug for. Det i eksemplet viste kontaktorsystem er fremstillet med hjælpekontakter i blokke, på ét sæt kontakter. Mange systemer har også specialfunktioner i hjælpekontakterne.



Tvangsførte kontaktorer

Kontaktorer skal først og fremmest dimensioneres og udvælges, så de kan løse den aktuelle elektriske opgave. Dette gøres bedst i overensstemmelse med DS/EN 60204-1:2006 samt tilhørende håndbøger.

Hvis den pågældende kontaktor udgør en del af maskinens sikkerhedsrelaterede styresystem, er der forøgede krav til den (se den sikkerhedsrelaterede del af styresystemet).

Kontaktorer i den sikkerhedsrelaterede del af styresystemet skal have tvangsførte kontaktsæt, d.v.s. at der skal være interlockning mellem alle kontaktsættene i en kontaktor eller et relæ. Tvangsføring indebærer, at alle kontaktsæt følger hinanden, således at alle slutfunktioner slutter samtidigt, og alle brydefunktioner bryder samtidigt. Hvis der skulle ske en svejsning i ét

kontaktsæt, må de øvrige kontaktsæt ikke kunne aktiveres af spolen.

Stiksokkelrelæer med denne funktion findes kun i meget begrænset omfang (se også stiksokkelrelæers isolationsniveau).

Løse kontaktblokke til kontaktorer kan være i besiddelse af disse egenskaber, men der findes forskellige varianter. Nogle er tvangsførte i den ene retning og andre i den anden, og efterhånden er der også en del, der er tvangsført i begge retninger - men der er ingen selvfølgeligheder forbundet med disse komponenter. Læs leverandørens datablad grundigt - her gælder om nogen steder kravet om at følge leverandørens datablad. Hvis dette medfører, at komponenten ikke lever op til opgaven, så må der vælges en anden.

Disse begreber må absolut ikke forveksles med begrebet tvangsbrydning, som er gældende for de anvendte tvangsførte endestopkontakter.

Isolationsniveauet

I DS/EN 60204-1:2006 afsnit 6.4.1 c

Det er beskrevet, at kravet til adskillelsen mellem en PELV kreds og andre kredse skal være lige så god som adskillelsen mellem primærsiden og sekundærsiden i en sikkerhedsstransformer.

Dette krav gælder specifikt for PELV-kredse, men det gælder så sandelig også sammenblanding af andre typer af kredse.

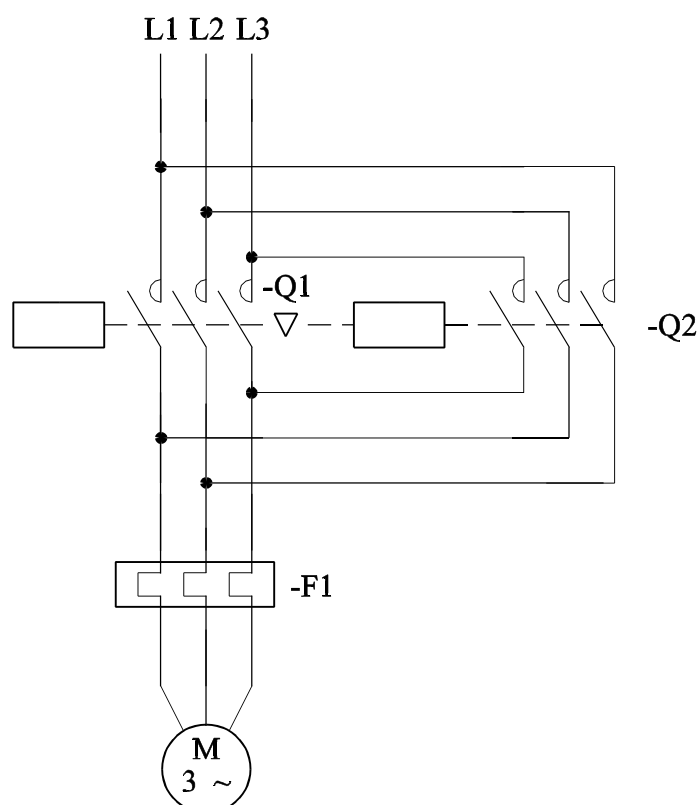
Mange har lært på den kostbare måde, at et stiksokkelrelæ ikke magter denne opgave. Hvis man fx har en 230 volt kreds igennem ét kontaktsæt i et stiksokkelrelæ, frarådes det på det kraftigste at anvende andre kontaktsæt i samme relæ til andre formål. Slukkegnisten fra 230 voltkredsen kan sagtens nå de andre kontaktsæt og ødelægge eventuelle målekredse (kostbare erfaringer fra forfatterens side).

Stiksokler kan i almindelighed ikke adskille noget som helst. Alene ved at åbne en stiksokkel kan man se, hvor tæt de uisolerede forbindelser til terminalerne ligger.

Når dette er sagt, så findes der også undtagelser. Visse leverandører har overdragerelæer til PLC'er, som kan adskille PLC-signalet fra signalet gennem relækontakten, men hvis overdragerelæet er flerpolet, så er det meget sjældent, at isolationsniveauet mellem kontaktsættene er højt nok.

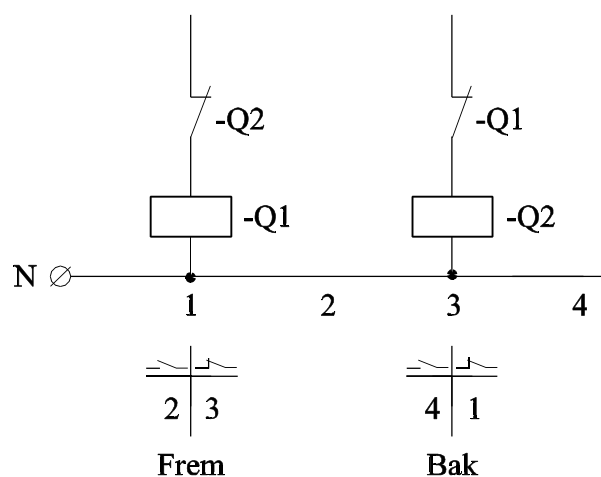
Ved en reverseringsstyring, hvor det er ubetinget nødvendigt, at kun en af de to kontaktorer er indkoblet, kan man foruden den elektriske spærring også lave en gensidig mekanisk spærring.

Reversering

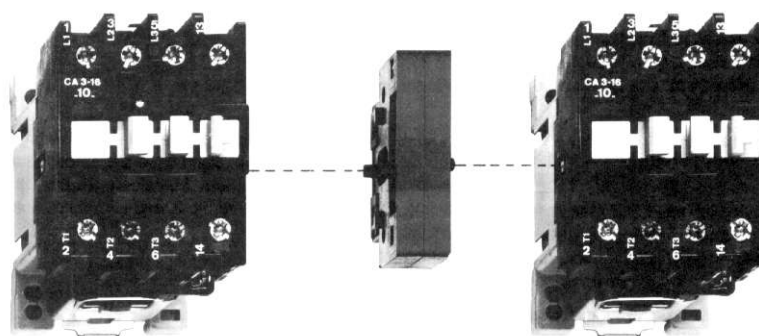


RELÆTEKNIK

Den gensidige elektriske spærring laves ved at indsætte en brydekontakt fra det modsatte relæ foran relæspolen. Dette bevirker, at spolen ikke kan påvirkes, når den modsatte kontaktor er trukket.



Eksemplet viser to kontaktorer med en blok, som sammenspændes med de to kontaktorer og danner en mekanisk gensidig spærring.



Interlockning af funktioner

Med udgivelse af DS/EN 60204-1:2006 blev et nyt ord indført i det danske sprog : **Interlockning**.

Begrebet er indgående beskrevet i håndbogen **Elektrisk udstyr på maskiner**

Om den elektriske spærring (interlockning) skal suppleres med en mekanisk spærring (interlockning) afhænger af risikoniveauet. Denne kombination tilfredsstiller kravet om diversitet i et enkeltfejltolerant styresystem vedrørende den gensidige spærring.

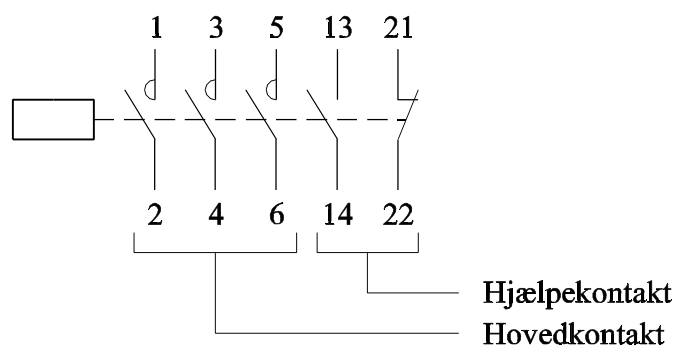
Hovedkontakter og hjælpekontakter

I de fleste tilfælde er en kontaktor udformet med to typer kontakter:

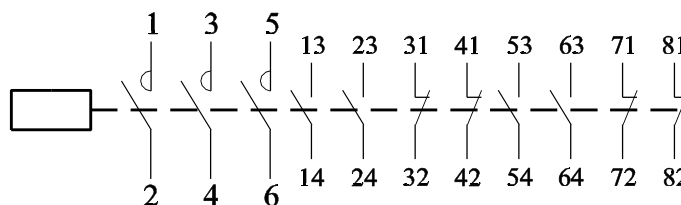
1. Hovedstrømskontakter
2. Hjælpekontakter

Som navnet antyder, anvendes hovedkontakterne til at slutte hovedstrømmen med. Hovedkontakterne er normalt større og kraftigere end hjælpekontakterne, da disse kun anvendes til styringsformål og derfor kun gennemløbes af styrestrøm.

Nedenstående er vist en kontaktor og to hjælpekontakter.



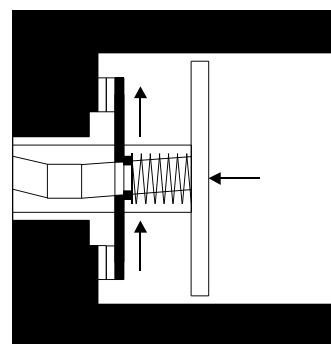
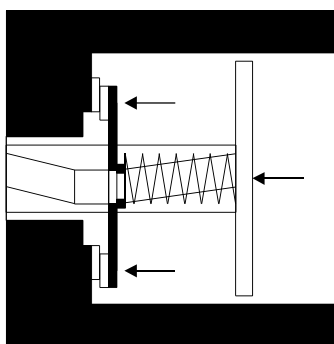
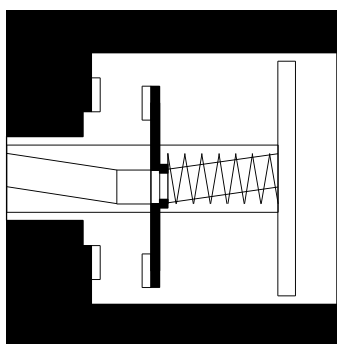
En kontaktor kan være fremstillet med flere eller færre hjælpekontakter, som vist.



Selvrensende kontakter

Da en kontaktors hjælpekontakter primært bliver anvendt til at slutte og bryde styrestrømme, bliver disse kontakter ofte snavsede på grund af den lille strøm gennem kontakten. Denne tilsmudsning giver en høj overgangsmodstand i kontaktsættet med mulighed for fejlfunktion til følge.

For at undgå dette kan kontaktorer udføres med selvrensende hjælpekontakter.



Som det fremgår af ovenstående skitse, renses kontakterne ved, at de flyttes sideværts, samtidig med at de trykkes mod hinanden.

Kontaktorer kan udføres med både selvrensende hoved- og hjælpekontakter.

Tidsrelæer

Et tidsrelæ er et relæ, der er således konstrueret, at dets kontakter arbejder med tidsforsinkelse enten ved tiltræk eller frafald.

Der findes grundlæggende to typer tidsrelæer, mekaniske og elektroniske, hvor de elektroniske efterhånden bliver de mest anvendte.

Mekaniske tidsrelæer er normalt forsynet med en slutte- og en brydekontakt, som begge er tidsforsinkede, men de kan også samtidig være forsynet med momentane kontakter.

Denne type tidsrelæ er ofte opbygget enten som et urværk eller pneumatisk, som er det mest almindelige.

Det pneumatiske tidsrelæ virker ved, at et luftkammer presses sammen. Justeringen af tiden sker ved, at der justeres på den dyse, hvor luften slippes ud. Tidsområdet går normalt fra nul sekunder til nogle få minutter.

Da temperatur, fugt og støv i luften er faktorer, som kan have indflydelse på tidsudmålingen, er gentagelsesnøjagtigheden ca. $\pm 10\%$. Pneumatiske tidsblokke anvendes derfor ikke, hvor der kræves stor nøjagtighed af den indstillede tid.

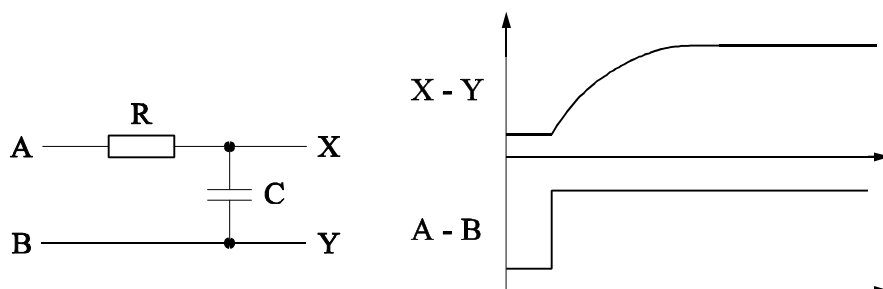
Kræves der større gentagelsesnøjagtighed, end det er muligt at opnå med pneumatik, eller kræves der længere tidsudmåling end nogle få minutter, anvendes elektroniske tidsrelæer.

Elektroniske tidsrelæer anvender to hovedprincipper ved tidsudmåling:

1. RC-led
2. Impulstæller

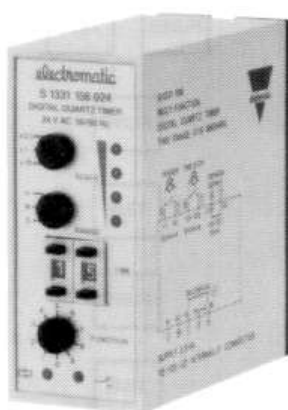
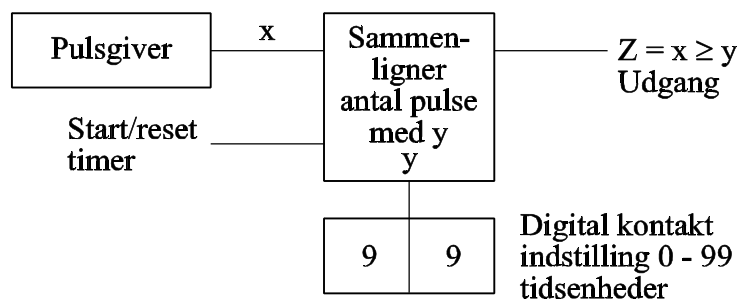
Tidsrelæer, der anvender RC-led virker ved at en kondensator oplades gennem en modstand. Herved vil spændingen over kondensatoren langsomt stige, eftersom kondensatoren bliver ladet op. Der benyttes så et kredsløb, der tænder en udgang, når spændingen når et vist niveau, og herved fås en tidsforsinkelse.

RELÆTEKNIK



For at justere tiden er modstanden ofte udført som et potentiometer. En mindre værdi af R giver således en hurtigere opladning af kondensatoren og dermed en kortere tid.

Tidsrelæer, der anvender impulstællere, er de mest nøjagtige, der findes, idet gentagelsesnøjagtigheden er så godt som konstant. Disse tidsrelæer er typisk bygget op omkring et krystal, der afgiver et antal pulse pr. sekund med meget stor nøjagtighed.



Tidsudmålingen sker så ved, at der anvendes en tællekreds, der tænder, når den har talt til det forindstillede tal. Indstillingen foregår typisk med kontakter efter det binære talsystem. Disse tidsrelæer kaldes også digitale timere.

Elektroniske tidsrelæer kan indeholde forskellige udgangstrin. Det mest simple er en potentialfri relæudgang. Hvis tidsrelæet har denne udgang, er man frit stillet med hensyn til spænding. Tidsrelæet kan fx styres af 24 V samtidigt med, at det styrer med 230 V. Relæudgangen har også den fordel, at den kan kobles parallelt med andre kontakter i styringen.

Af ulemper kan nævnes, at relæet indeholder bevægelige dele, der slides, samt at et mekanisk relæ har en begrænset koblingshastighed. Er tidsrelæet derimod forsynet med en thyristor, ved AC, eller en transistor, ved DC, er koblingshastigheden næsten uendelig stor samtidig med, at der ingen bevægelige dele er, som kan slides. Denne type tidsrelæ arbejder typisk med samme styrespænding og udgangsspænding. Tidsrelæet skal anvendes efter fabrikantens monteringsanvisning for at opnå den ønskede funktion, og det kan normalt ikke parallelkobles med andre kontakter.



Tidsrelæer med forskellige spændinger på forsyningsklemmer og relæklemmer

Nedsatte styrespændinger er ofte omfattet af kravene til PELV forsyninger. Dette indebærer, at isolationen mellem de forskellige styrespændinger i tidsrelæerne (og alle andre relæer) skal være lige så god som isolationen mellem primær- og sekundærviklingen på en sikkerhedstransformer. En stor del af de markedsførte relæer og tilhørende sokler tilfredsstillende ikke dette krav.

**Tidsrelæer i
sikkerhedsrelaterede
styrefunktioner**

Når et tidsrelæ har en sikkerhedsrelateret funktion, fx afmåling af tiden for bremsestrøm til en rundsav, er der ekstra krav, som skal opfyldes. Disse krav kan udledes af ISO 13849-1:2007 og ISO 13849-2:2003 og består i hovedtrækkene af:

Elektroniske komponenter kan ikke betragtes som velafprøvede.

Dette indebærer, at de ikke kan anvendes i kategori 1 i overensstemmelse med EN 954-1:1999 og ISO 13849-1:2007. (Dog er der nogle muligheder med tidsrelæer, der fungerer ved afladning af en bestemt mængde energi fra en kondensator).

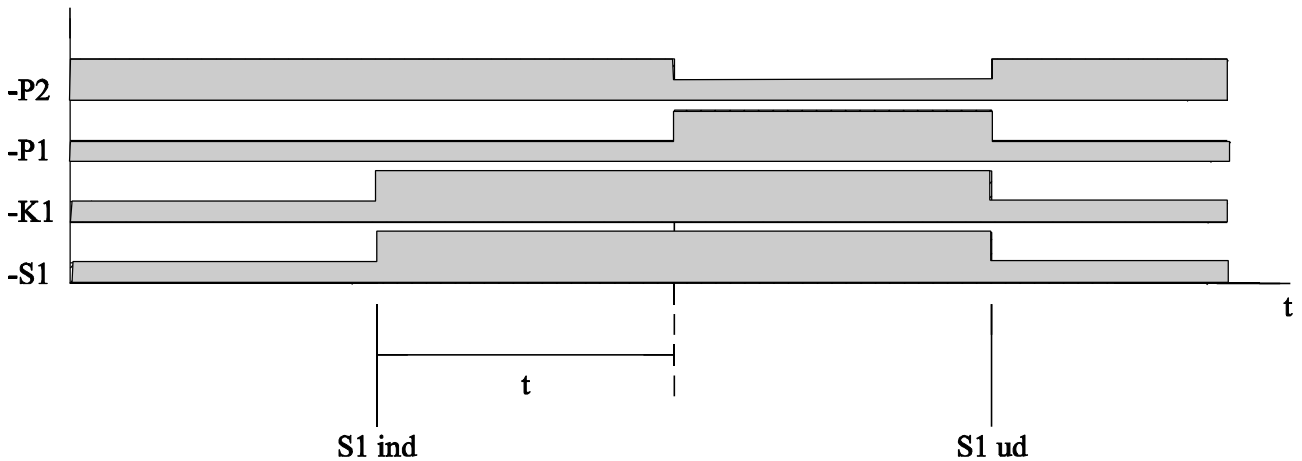
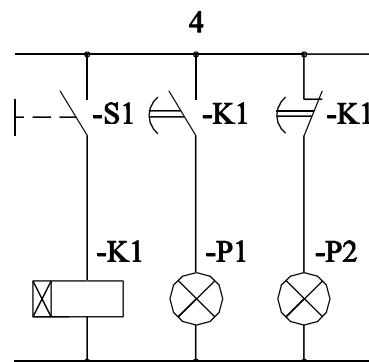
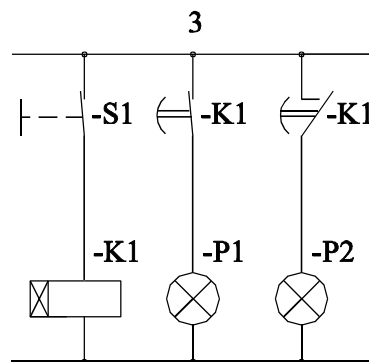
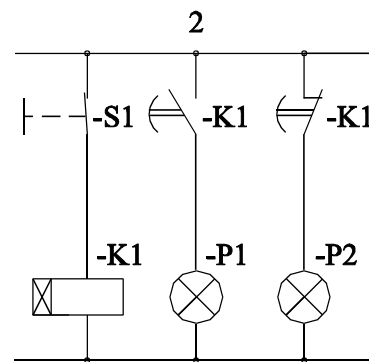
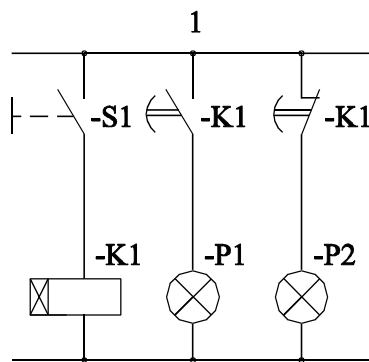
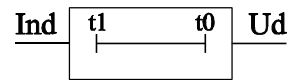
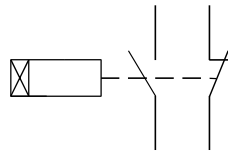
De kan anvendes i kategori 2 i overensstemmelse med EN 954-1:1999 eller ISO 13849-1:2007, hvis diagnose-dækningsgraden er over 60 %, eller hvis det samlede system kan tilfredsstille dette krav.

Fabrikanterne skal oplyse om relæernes MTTFd, og værdien skal være høj nok til at tilfredsstille det pågældende krav til Performance Level eller SIL-niveau.

RELÆTEKNIK

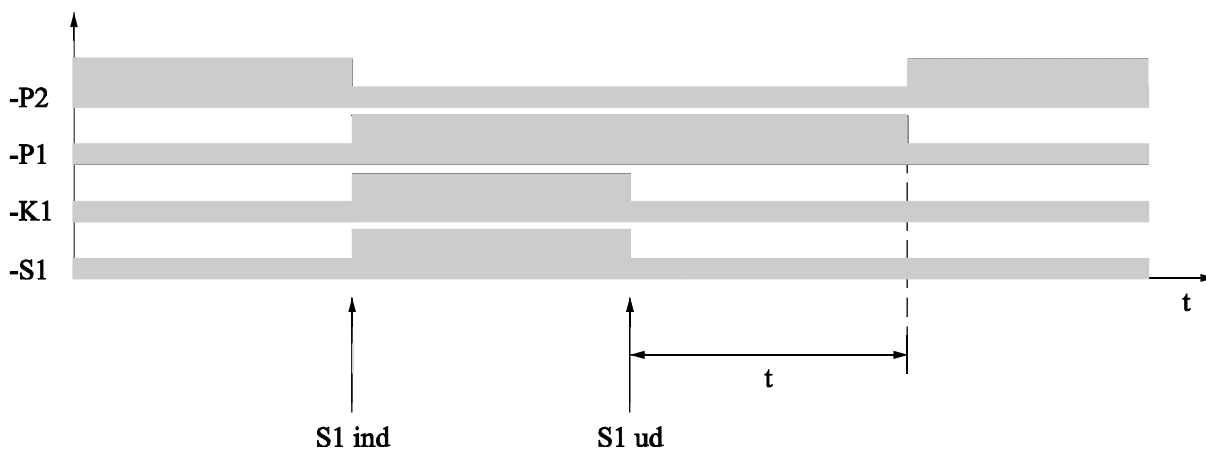
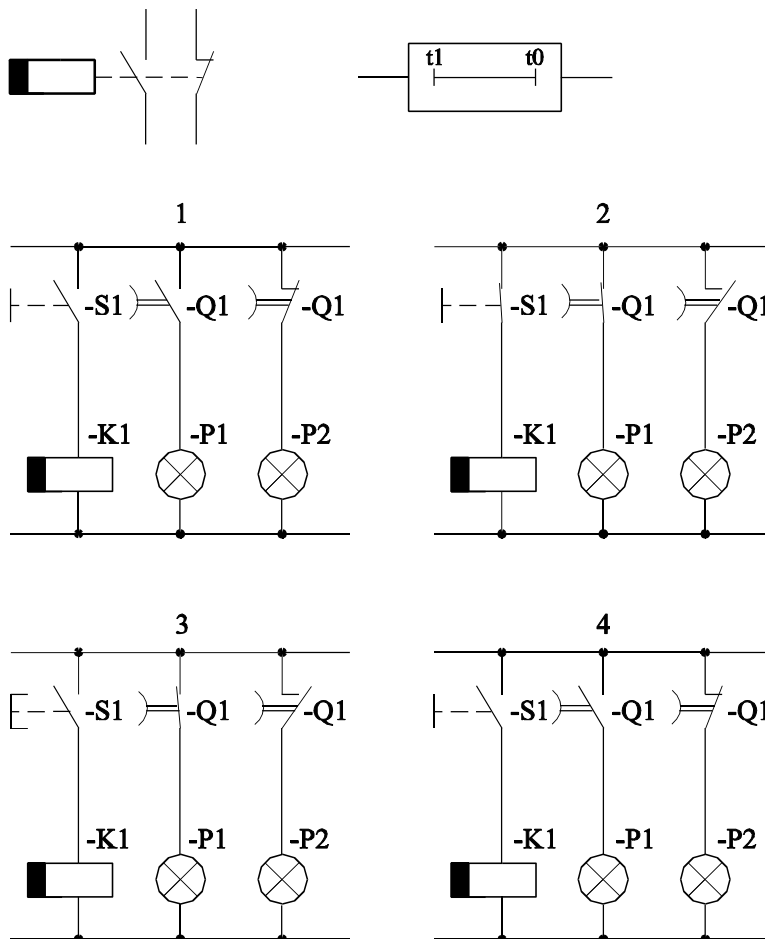
Forsinket kontaktfunktion ved indkobling (indkoblingsforsinket: On-delay)

Ved indkoblingsforsinkelse forstås, at kontaktfunktionen skifter, når den indstillede tid er udløbet, efter at spolen er aktiveret. Udkobling sker samtidig med spolen.



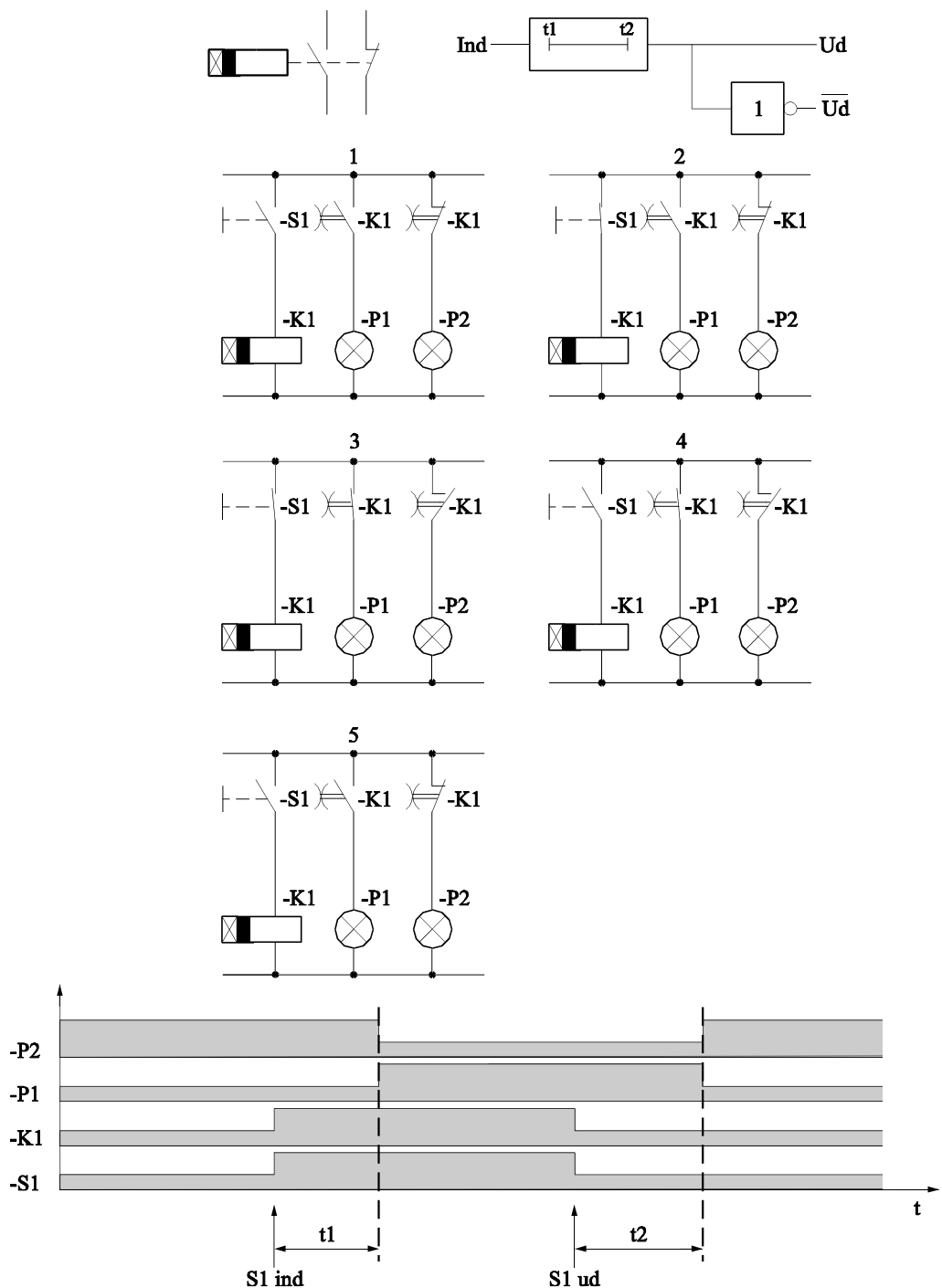
Forsinket kontaktfunktion ved udkobling (udkoblingsforsinket: Off-delay)

Ved udkoblingsforsinkelse forstås, at kontaktfunktionen skifter, når den indstillede tid er udløbet, efter at spolen er gjort spændingsløs. Indkobling sker samtidig med spolen.



Forsinket kontaktfunktion ved ind- og udkobling

Ved ind- og udkoblingsforsinkelse forstås, at kontaktfunktionen skifter, når den indstillede tid til indkoblingsforsinkelse er udløbet, efter at spolen er aktiveret. Udkobling af kontaktfunktionen sker, når tiden for udkoblingsforsinkelse er udløbet. Denne tidsudmåling starter, når spolen gøres spændingsløs.



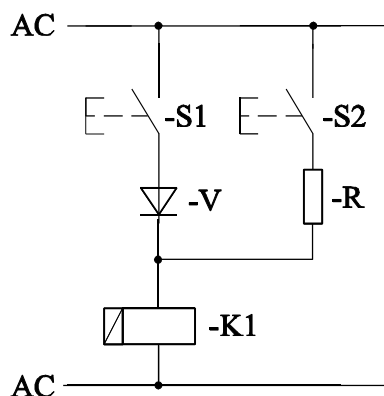
RELÆTEKNIK

Tidsforsinkelse

Oversigt over relætyperne "udkoblingsforsinket", "indkoblingsforsinket" og "ind- og udkoblingsforsinket".

Symbol	Relæ spændingsløs	Relæ arkiveres forsinkelse	Relæ gøres spændingsløst forsinkelse	
Udkoblingsforsinket 		Ingen tids.f	Tids.f	Momentan ind Forsinket ud
		Ingen tids.f	Tids.f	Momentan ud Forsinket ind
Indkoblingsforsinket 		Tids.f	Ingen tids.f	Forsinket ind Momentan ud
		Tids.f	Ingen tids.f	Forsinket ud Momentan ind
Ind -og udkoblingsforsinket 		Tids.f	Tids.f	Forsinket ind Forsinket ud
		Tids.f	Tids.f	Forsinket ud Forsinket ind

Remanensrelæ



Et remanensrelæ er et relæ, som ind- og udkobles med korte spændingsimpulser.

Indkobling: Spolen påtrykkes en jævnspændingsimpuls. Relæet forbliver derefter aktiveret efter impulsens ophør, idet remanensen (restmagnetismen) i kernen er tilstrækkelig til at holde kontaktsystemet lukket.

Udkobling: Spolen påtrykkes kortvarigt en vekselsstrømsimpuls, hvorved kernen afmagnetiseres, og relæet udkobler.

Relæet udkobler ikke ved spændingssvingt og anvendes derfor som "hukommelse" i relæstyringer. Dette kan være nødvendigt i fx en sekvensstyring.

Remanensrelæet fremstilles i forskellige udførelser og kan have indbygget diode og modstand.

Nedenstående tabel angiver nogle karakteristiske data for remanensrelæer:

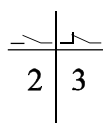
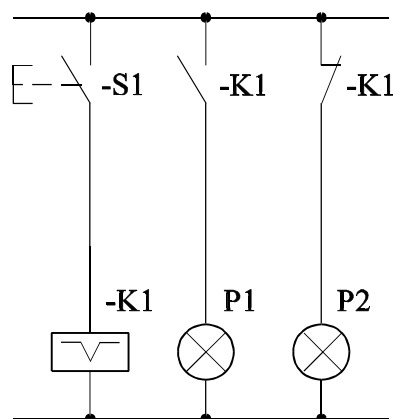
Spolespænding	24 V AC - 220 V AC 12 V DC - 110 V AC
Kontaktorer	5 A - 10 A
Magnetiseringsimpuls	Ca. 30 ms
Afmagnetiseringsimpuls	Ca. 25 ms
Koblingshyppighed max.	3000/time

Kiprelæ

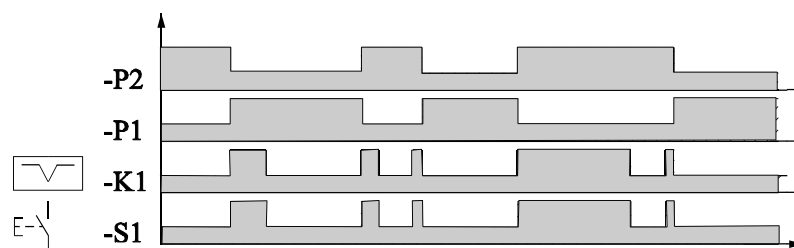


Symbol

Et kiprelæ er et relæ med ankerspærre, som det også kaldes. Det er et mekanisk relæ, der kan være både aktiveret og ikke aktiveret i spændingsløs tilstand. Et kiprelæ er et bistabilt relæ.



Funktionen af relæet fremgår af nedenstående tidssekvensdiagram, som er tegnet efter det viste styrestrømsskema.



Hver gang spolen i relæet får spænding, skifter kontaktoeren stilling og bliver der, til spolen igen får spænding.

I dag findes både 1-, 2- og 3-polede kiprelæer, så man kan styre tre adskilte strømkredse.

RELÆTEKNIK

Kiprelæer findes til fastspænding på bundplade og til DIN-skinne montage. De fremstilles med flere forskellige spolespændinger, fx 12 V, 24 V, 48 V, 230 V m.fl., hvorfor kiprelæer ofte anvendes i forbindelse med svagstrømsinstallationer. Kiprelæet anvendes mest til lysstyring. I andre styringer ses det ikke så ofte.

1. For at dette kan lade sig gøre, skal man sikre sig, at isolationsniveauet er tilstrækkeligt mellem de forskellige kontaktsæt og spolen. Vær især opmærksom på stiksokler, som kun meget sjældent tilfredsstiller dette krav. Hvis der er involveret PELV-kredse i (fx styrespændingen) sammenblandingen, skal isolationsniveauet mellem de forskellige kredse være lige så højt som isolationsniveauet mellem primærsiden og sekundærsiden i en sikkerhedstransformer.

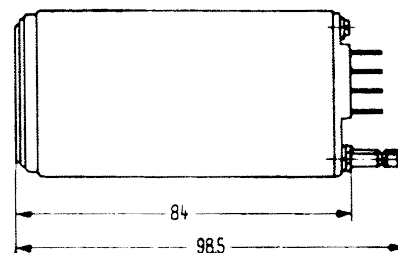
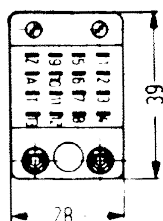
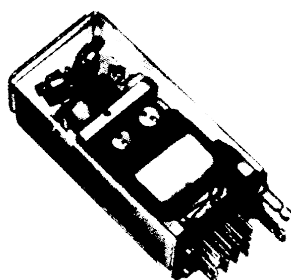
RELÆTEKNIK

Polariseret relæ

Et polariseret relæ er et styrerelæ, som forsynes med en DC-spænding. Ved at polarisere denne DC-spænding kan man bestemme, hvilken stilling relæet skal indtage. Nedenstående er vist et eksempel på et polariseret relæ.

Small Polarized Relay

**V 23063
...V 23067**



V23063- + ** to V23067- + ******
for dc operation, polarized, monostable
and bistable, plug-in.
Approx. weight 170 g

For accessories refer to page 1.68

Packaging unit: 1 item

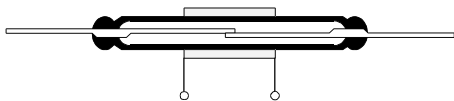
Dimensions in mm

Pin configuration

Relay type	V23063- ...	V23065- ...	V23067- ...
Description	bistable with high contact force	monostable, with center "off" position	monostable
Symbols with base connections ¹⁾			

¹⁾ Circuit symbols drawn in "off" position.
If a positive potential is applied to the coil start, the relay assumes the switching position marked with a dot (●).

Reed-relæ



Et reed-relæ er en reed-kontakt, hvorom der er anbragt en spole.

Reed-kontakten består af et gasfyldt glasrør med indsmeltede kontaktfjedre. Kontaktfjedrene er udført af ferromagnetisk materiale og kan derfor aktiveres af et magnetfelt i nærheden af glasrøret.

Reed-kontakter udføres med slutte-, bryde- eller omskifterfunktioner.

Gasfyldningen i røret undertrykker eventuelle gnistdannelser ved kontakterne og forhindrer dermed forbrænding af disse.

Påtrykkes spolen en jævnspænding, vil der opstå et magnetfelt i spolen, hvorved reed-kontakterne aktiveres.

Tabellen angiver nogle karakteristiske data for reed-relæer.

Spolespænding	3 V DC - 48 V DC
Spolemodstand	75 Ω - 12 k Ω
Kontakter	Max. brydeeffekt DC/AC 4 W/4 VA - 100 W/100 VA

Reed-relæer udføres i meget små dimensioner og ofte til printmontering.

Af fordele ved reed-relæer kan nævnes: helkapslet (rene kontaktflader), ingen forbrænding af kontakter, små ydre mål, lang levetid og høj arbejdhastighed.

Kontakternes levetid er blandt andet bestemt af omgivelsernes klimatiske forhold som fx høje og lave temperaturer, store temperatursvingninger, stor relativ fugtighed, luftforurening, forringet lufttryk i store højder og for dårlig luftcirkulation ved for tæt pakkede relæer.

Ved styrerelæer skelnes der mellem styreeffekt (spolens eget forbrug) og koblingseffekten (kontaktbelastningen).

Styreeffekten er som regel lille og afhænger af relæstørrelsen.

Koblingseffekten afhænger af relæets kontaktsystem og af kontaktrykket. Som kontaktmateriale anvendes ofte sølv eller sølvlegeringer.

Reed kontakter i sikkerhedsrelaterede kredse

Når pladsen er knap anvendes reed-kontakter sammen med tilhørende magneter som positionskontakter på maskindele. Hvis disse funktioner er sikkerhedsrelaterede, skal kravene i de sikkerhedsrelaterede standarder være opfyldt. Vær især opmærksom på DS/EN 1088, hvor det er beskrevet, at ikke tvangsførte kontakter ikke kan anvendes alene. Der skal altså udføres en enkeltfejltolerant styrefunktion, og helst med diversitet, således at der ikke kan opstå en dobbeltfejl på grund af én årsag (common cause failure).

Thermistorrelæ

Thermistor-relæet anvendes i forbindelse med termisk beskyttelse af motorer, idet relæet beskytter mod ødelæggelse af motorens viklinger som følge af overophedning.

Thermistor-relæet måler temperaturen direkte i motorens viklinger (i modsætning til et termisk relæ af bimetaltypen, der måler overstrømmen i motorens tilledninger), således, at den deraf opnåede varmeudvikling i bimetallet forårsager en relæfunktion.

Thermistor-relæets følende organ består af en temperaturafhængig modstand, PTC-modstand, der af motorfabrikanten indbygges i motorens viklinger, en i hver fasevikling. De tre indbyggede PTC-modstande serieforbindes internt, de to ender føres ud og tilsluttes thermistor-relæet.

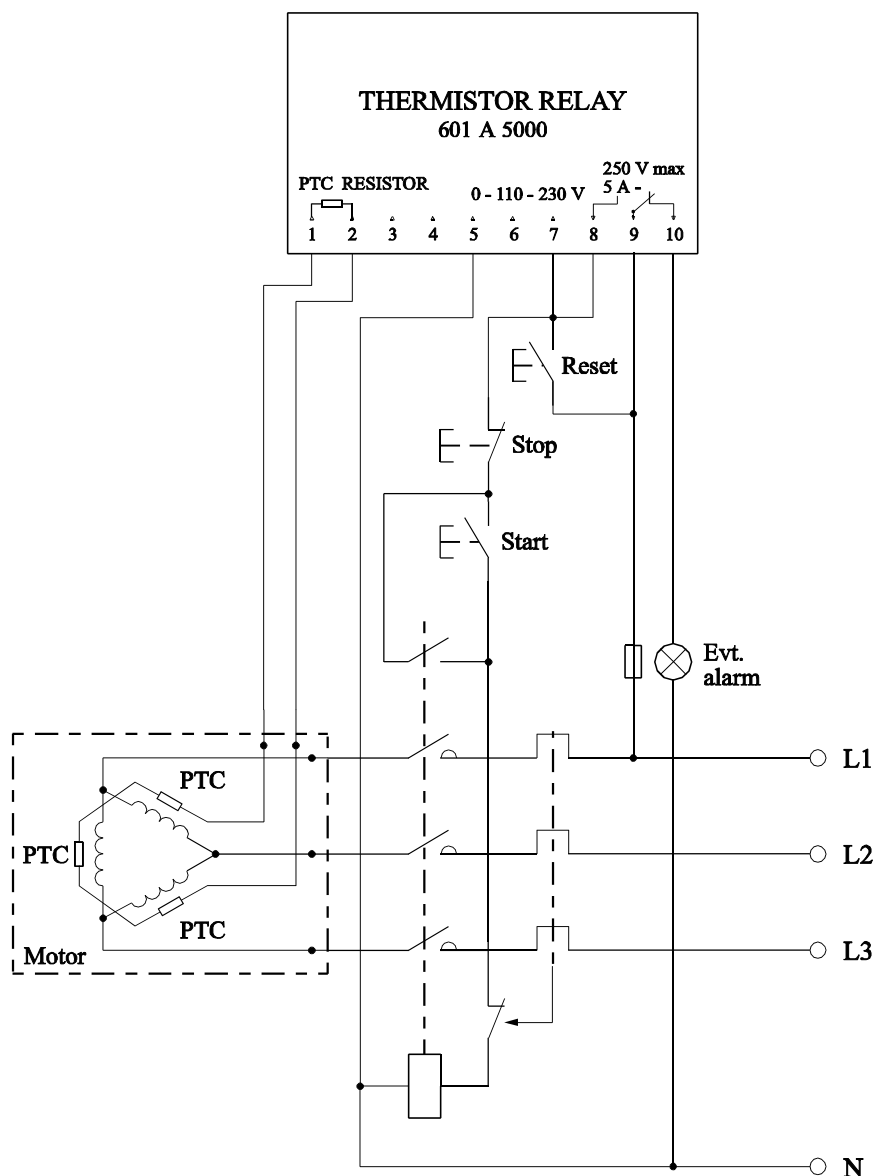
RELÆTEKNIK

Tabellen angiver data for et fabrikat af thermistor-relæ:

Spændingsforsyning	110 V AC eller 230 V AC 50 Hz
Max. spændingsændring	± 15 %
Omgivelsestemperatur	min -20°C - max 70°C
Relækontakt	max 250 V/5 A AC
Thermistorkabel	2-leder, uskærmet max. 100 m
Eget forbrug	ca. 2 VA
Relæet falder ud når	2 k Ω < E < 4 k Ω
Relæet tilbagestilles når	1 k Ω < E < 2 k Ω

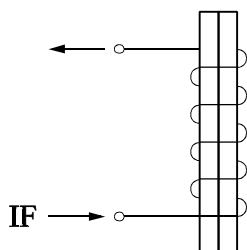
1. Ved meget små strømme er guldbelagte eller massive kontakter eneste helt pålidelige metode.
2. Når termistor-relæer anvendes til motorbeskyttelse uden supplement af andre metoder, skal man være opmærksom på beskyttelsen af kablet til motoren. Hvis motoren står koldt, og dele af dens forsyningskabel går gennem et varmt område, kan der opstå en farlig situation, idet intet måler strømmen i kablet. Dette er ikke gangbart.

RELÆTEKNIK



Det viste eksempel er medtaget for at vise en klassisk brøler. Der må som en undtagelse fra reglen om styretransformere anvendes netspænding til styring af en simpel start - stop styring i overensstemmelse med DS/EN 60204-1:2006. Det viste eksempel er ikke en sådan undtagelse, bl. a. fordi det elektroniske relæ ikke er designet til at overleve kortslutningseffekten direkte fra nettet. Det viste eksempel kræver en styrestrømstransformer for at opfylde kravene i DS/EN 60204-1.

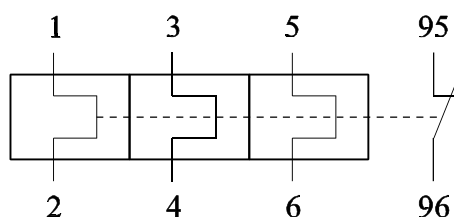
Motorværn



For at beskytte motorer imod overbelastning anvendes dertil beregnede motorværn. Motorværnet er designet til at beskytte motorer mod overbelastning i fejlfrie installationer. De fleste motorværn er derudover forsynet med en egenskab, der gør dem i stand til at give et styresignal ved skæv belastning, fx ved en sprungen sikring eller andre former for fasesvigt.

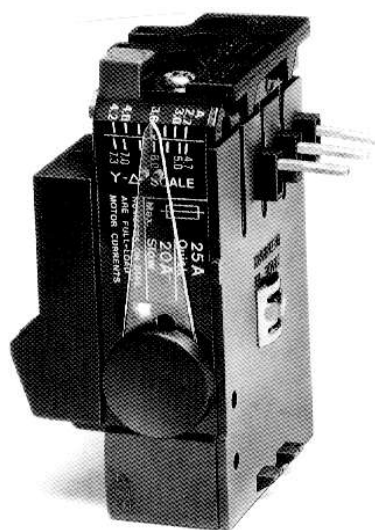
Motorværn er udført således, at en motors faseledninger løber gennem motorværnet. Normalt gennemløber fasestrømmen i et motorværn nogle varmelegemer. Disse varmelegemer er placeret, med en god termisk forbindelse, til hver sit bimetal. Ved strømmens gennemløb af varmelegemet opvarmes bimetallet.

Bimetallet er to sammenvalsede metalblade, som har hver sin temperaturudvidelseskoefficient. Herved opnås, at bimetallet bøjer ud til den ene side og kan således påvirke en kontakt eller en mekanisk udløsemekanisme.



Da funktionen er baseret på en temperaturændring, kaldes den også for en termisk udløser.

Motorens fasestrøm gennemløber termoudløserens klemmer 1-2, 3-4 og 5-6. Ved overbelastning i en eller flere faser vil bimetallerne på grund af varmeudviklingen, mekanisk påvirke styrestrømskontakten 95-96, således at styrespændingen afbrydes.



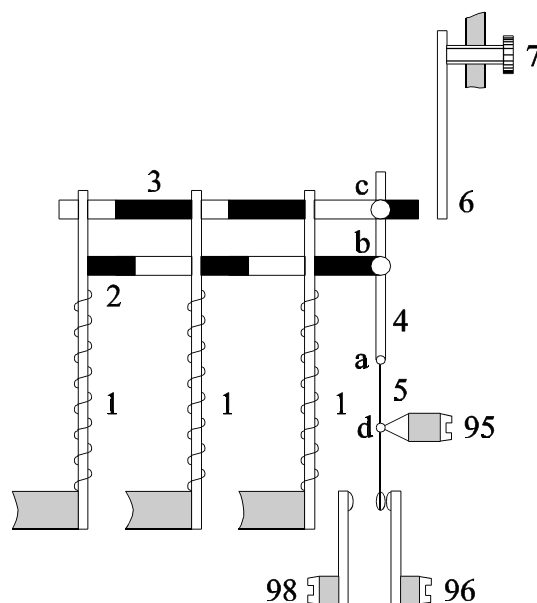
Termoudløseren anvendes som bekendt til beskyttelse af 1- og 3-fasede vekselstrømsmotorer. Termoudløserer fremstilles i mange forskellige strømområder. Endvidere fremstilles de med manuel eller automatisk reset samt forskellige muligheder for tilslutning af kontrol-lamper.

Termoudløserer fremstilles i dag hovedsageligt med differentialudløsning, hvilket vil sige, at en uens belastning i bimetallerne vil give en udkobling, selvom ingen af bimetallerne er belastet over det tilladte.

RELÆTEKNIK

Det efterfølgende viser en termoudløser i fire forskellige drifttilstande.

Det første eksempel viser termoudløseren i kold tilstand samt giver en oversigt over indholdet af enkeltdele.



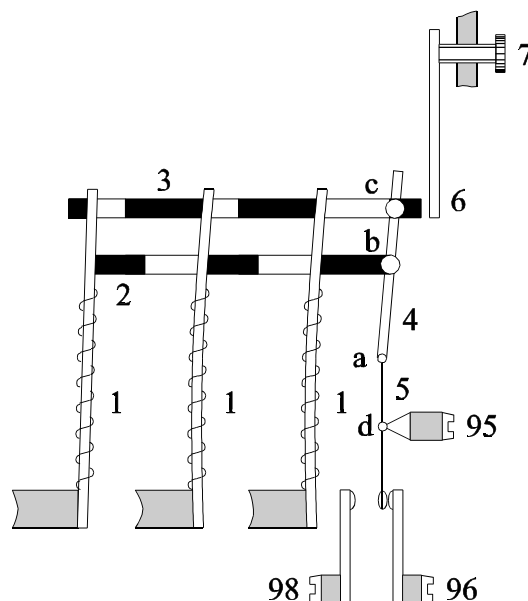
1. 3 stk. bimetal med varmevikling
2. Trykplade
3. Trækplade
4. Aktiveringsarm
5. Kontaktfjeder
6. Anslag (bimetal, for at gøre udløseren temperaturneutral)
7. Indstillingsskrue

a-b-c-d: omdrejningspunkter

95-96-98: tilslutningsklemmer for styrestrom

RELÆTEKNIK

Eksemplet viser termoudløseren efter indkobling af en motor via en kontaktor. Der løber til enhver tid samme strøm gennem bimetalernes varmevikling som gennem motoren. Bimetallerne bøjer som følge af den indirekte varmepåvirkning et stykke til højre.

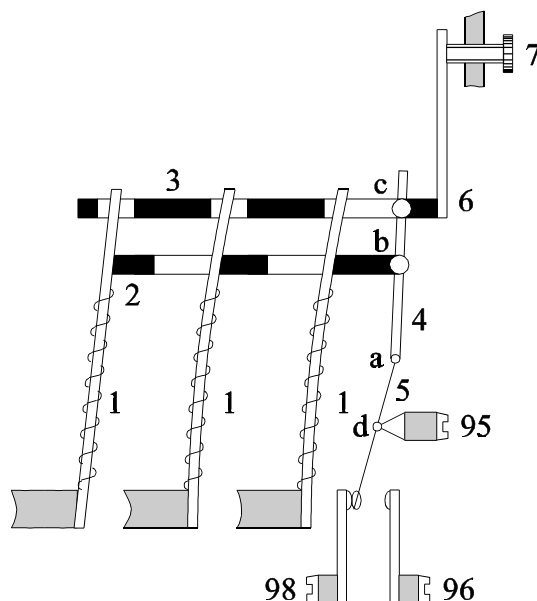


Ved udbøjningen føres trykpladen (2) mod højre og aktiveringsarmen (4) drejes om punktet (a). Aktiveringsarmen (4) er stiv og lejret i punkterne (a-b) og (c).

Føres punkt (b) mod højre, føres punkt (c) og trækpladen også mod højre.

Overbelastes motoren med en 3-faset overbelastning, stiger strømmen i bimetalviklingerne. Der udvikles mere varme, og bimetallerne bøjer endnu mere mod højre. Når trækpladen (3) støder mod anslaget (6), flyttes aktiveringsarmens omdrejningspunkt fra (a) til (c).

RELÆTEKNIK



En fortsat udbøjning af bimetallerne bevirker, at punkt (a) føres mod højre, så kontaktfjederen aktiveres, og kontakten skifter.

Kontakt 95-96 brydes, og kontakt 95-98 sluttes. Her ved kobles motoren ud. En evt. tilsluttet klokke eller lampe kobles ind over kontakt 98.

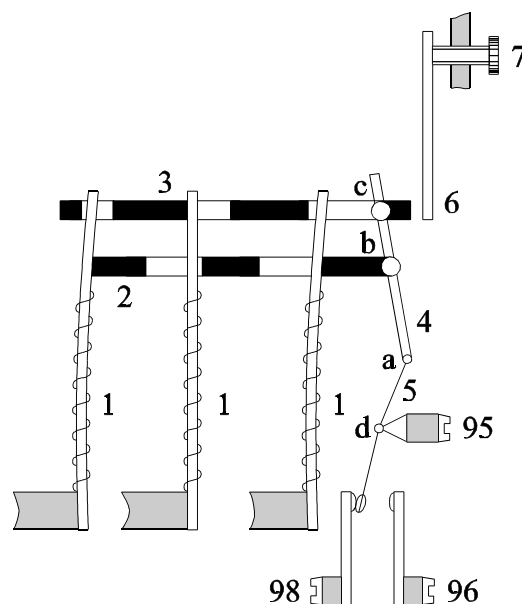
Stilles der på skruen (7), flyttes anslaget (6), og trækpladens mulige vandring ændres. Det betyder, at der skal en ændret varmeudvikling til for at bringe systemet til udkobling.

Da varmeudviklingen er proportional med strømmen i anden potens, kan man opnå den rigtige udløsefunktion inden for et bestemt strømområde. Det gøres ved at ændre på termoudløserens indstilling.

Starter motoren på kun to faser, forbliver det ene bimetal i kold tilstand, og trækpladen (3) fastlåses i neutralstilling. Når trykpladen nu bevæges mod højre af de to opvarmede bimetaller, vil aktiveringsarmen straks dreje om punkt (c), hvorefter udkobling hurtigt finder sted. Kører motoren på alle tre faser, og sker der et fasebrud, vil det ene bimetal køle af og føre trækpladen tilbage mod venstre.

RELÆTEKNIK

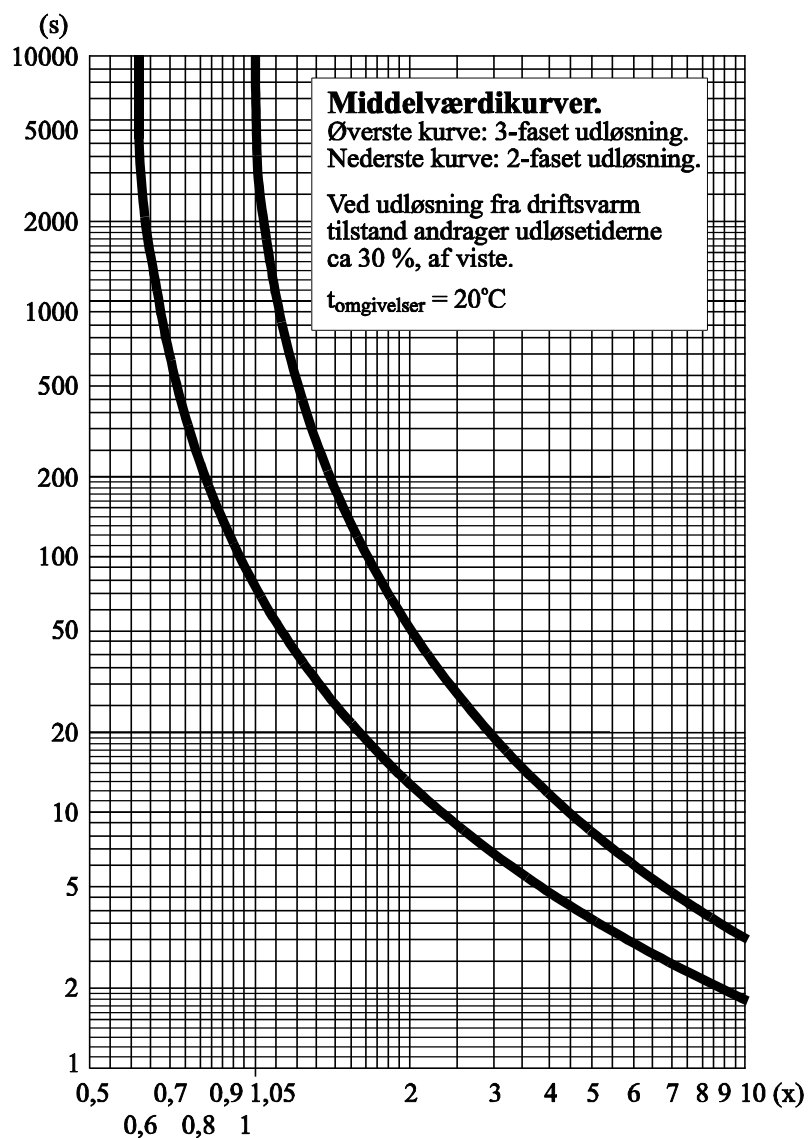
I de øvrige bimetaller vil der derimod, på grund af strømstigningen, ske en kraftigere udbøjning mod højre. Ved denne kombination af pladebevægelserne flyttes aktiveringsarmens omdrejningspunkt fra (a) til (b), og en udkobling finder ekstra hurtigt sted i forhold til udkobling ved tofaset start.



Dette udløseprincip, hvor bevægelsehastigheden af aktiveringsarmens punkt (a) er afhængig af forskellen mellem trykpladens og trækpladens hastigheder, kaldes differentialudløsning, et udløseprincip der har stor betydning, når det drejer sig om beskyttelse af trekantforbundne motorer.

Kurveblad over termoudløser

Det efterfølgende kurveblad viser udløsekarakteristikken for et fabrikat af termoudløsere. Da kurvebladet dækker flere forskellige størrelser, er det ikke den aktuelle strøm, der er afsat på X-aksen, men derimod en faktor, der skal ganges med den indstillede strøm.



Eksempel på, hvordan kurvebladet bruges.

Der vælges en motor med en fuldlaststrøm på 1 A, startstrømmen sættes til 6 x fuldlaststrømmen, starttid sættes til 4 sek.

Ud fra fabrikantens tabeller kan der vælges en termoudløser med skala 0,85-1,3 A, som indstilles på 1 A.

RELÆTEKNIK

Det første, man må kontrollere, er, om termoudløseren kan klare startstrømmen. Startstrømmen er 6 A, og starttiden er 4 sek. Man går nu ind på kurvebladet ved tallet 6 på X-aksen (dette tal er 6 x den indstillede strøm), herefter går man op til øverste kurve, der gælder for trefaset belastning. Ved at gå ud på Y-aksen kan udløsetiden nu aflæses. I dette tilfælde kan den aflæses til 5,5 sek. Da motorens starttid er mindre, kan den nå at starte, inden termoudløseren udkobler.

Hvis motoren bliver overbelastet med fx 2 A, stadig på alle tre faser, kan der udregnes en overbelastningsfaktor ved at beregne "målt strøm/motorens mærkestrøm". Med denne faktor kan man igen gå ind på X-aksen og finde udløsetiden på øverste kurve, som i foregående eksempel, i dette tilfælde ca. 55 sek.

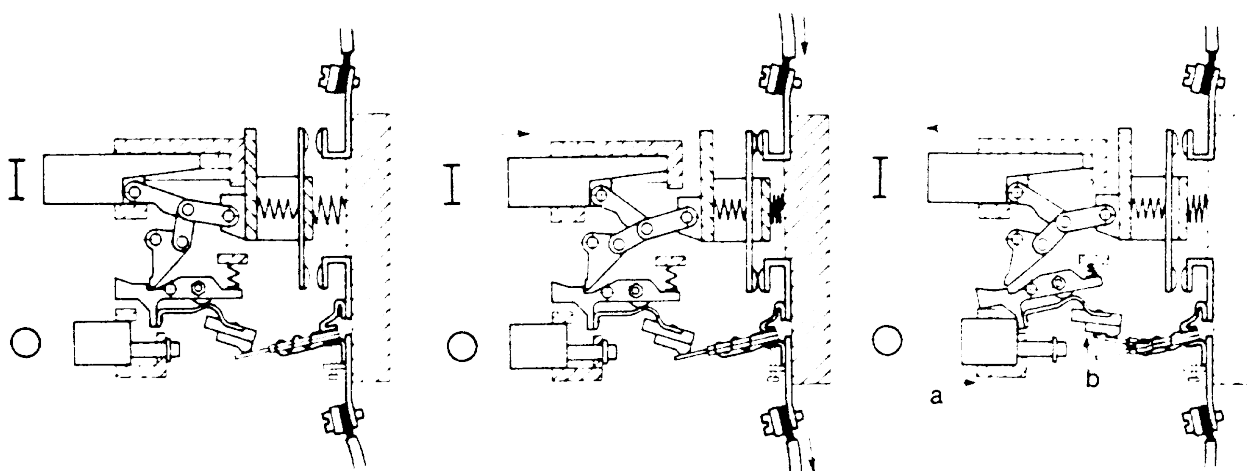
Hvis der derimod sker fasebrud på en fase, vil motoren igen overbelastes i de to resterende faser. Vi kan igen vælge at sige, at strømmen bliver 2 A. Ved denne form for overbelastning er indstillingen af motorværnet uden interesse, da trækpladen ikke kommer i kontakt med indstillingsskruen. Trækpladen holdes tilbage af det bimetal, der afkøler, så overbelastningsfaktoren udregnes som "målt strøm/max. skala på termoudløser", i dette tilfælde giver den 1,54.

Man går igen ind på X-aksen på punktet 1,54. Herefter går man op til den nederste skala, som gælder for tofaset belastning, og man kan igen aflæse en udløsetid på Y-aksen, i dette tilfælde ca. 30 sek.

Håndbetjent motorværn

Håndbetjente motorværn kan opdeles i tre kategorier.

1. Almindeligt håndbetjent motorværn.
2. Håndbetjent motorværn med kortslutningsudløsning. Kortslutningsudløseren medfører, at apparatets samlede kortslutningssikkerhed forøges væsentligt, og de maksimale forsikringsstørrelser kan hæves eller helt udelades. Denne type motorværn betegnes ofte som maksimalafbryder, hvis den overholder overensstemmelser med gældende IEC-standarder.
3. Håndbetjent motorværn med hurtigudløsning. Hurtigudløseren beskytter relæet mod termisk overbelastning, således at større forsikringer kan anvendes. Dette relæ må ikke forveksles med en maksimalafbryder, da det ikke kan afbryde en egentlig kortslutningsstrøm.



Disse tre kategorier af motorværn bliver stående indkoblet, selv om spændingen varierer eller forsvinder og kan derfor med fordel anvendes:

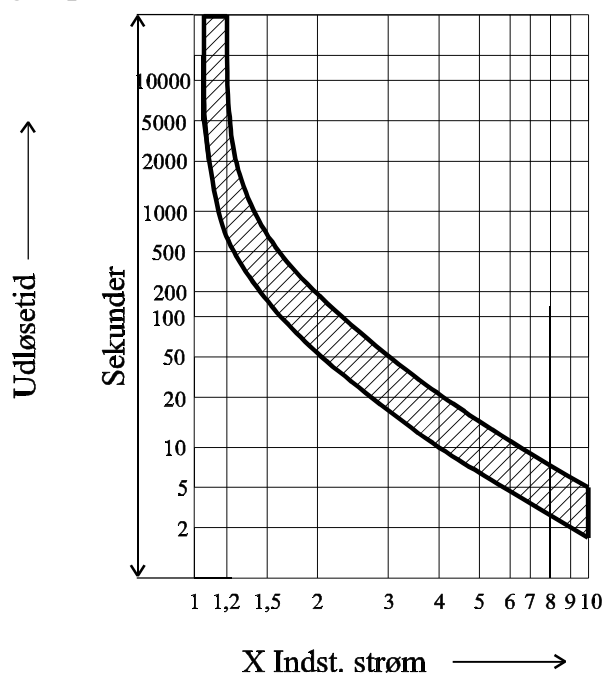
- hvor der ønskes én enkel og effektiv overbelastningsbeskyttelse af små motorer.
- hvor der lægges vægt på, at driften opretholdes ved spændingsvariationer.
- til overbelastningsbeskyttelse af ledninger. Her ved gives der mulighed for at udnytte ledningens strømværdi helt op til grænsen, hvilket ikke altid er muligt med sikringer, da de leveres i bestemte størrelser.

Temperaturneutralitet

Håndbetjente motorværn er temperaturneutrale i et af fabrikanten nærmere specificeret område, hvilket betyder, at motorværnets bimetaller ikke påvirkes af omgivelsestemperaturen.

Kurveblad over håndbetjent motorværn

Kurvebladet ligner det for termoudløseren, og det bruges på samme måde.



Hjælpefunktioner

Håndbetjente motorværn kan ofte forsynes med forskellige former for hjælpefunktioner, f.eks. **slutte- og brydekontakter** til signalgivning, **underspændings-spole** der udkobler relæet, hvis spændingen kommer under et vist niveau, **fasespole** der udkobler relæet hvis der forsvinder en eller flere faser.

Montage

Håndbetjente motorværn leveres som løse indsatse til montering i kapsling af forskellige tæthedsgrader, samt til montage på DIN-skinne og med stiksokkelforbindelse.

Standarderne 50005 til EN 50012

Disse standarder omhandler klemmemærkning for kontakter og styrerelæer.

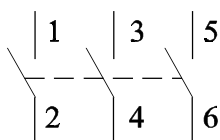
Efter disse standarder stilles der følgende tre krav til mærkningen:

Det skal af mærkningen fremgå, hvilke klemmer der er sammenhørende, og hvilken funktion kontakterne har.

For styrerelæer skal mærkningen, såfremt det er muligt, angive kontakternes placering i apparatet.

Styrerelæer og kontakter med samme kontaktbestykning skal, uanset fabrikat, have ensartet mærkning.

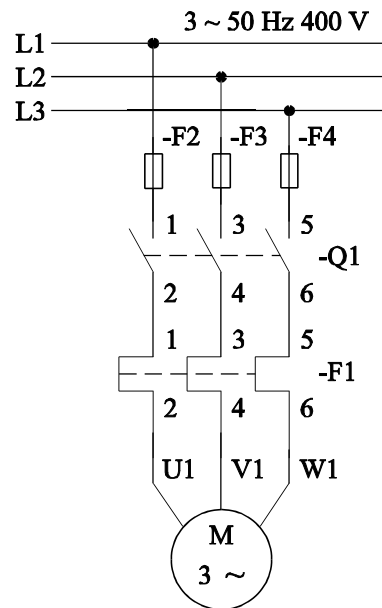
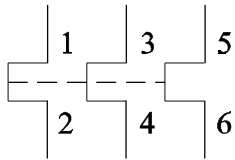
Hovedkontakter



Mærkning af kontakter i hovedstrømskredse sker med encifrede tal.

Det anbefales, som vist i efterfølgende eksempel, at klemmerne med ulige cifre vendes mod forsyningen.

Hjælpekontakter

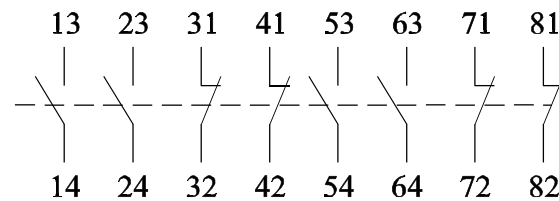


Hjælpekontakter er mærket med to cifrede tal.

Placeringsciffer

Det første ciffer er et placeringsciffer, som angiver kontaktens placering på relæet, normalt begyndende fra venstre med kontakt nr. 1.

For kontakter er der normeret følgende betegnelser for hjælpekontakter:



Pladscifrene 1, 2, 5 og 6 er forbeholdt sluttekontakter og pladscifrene 3, 4, 7 og 8 er forbeholdt brydekontakter.

Der er ingen norm for hjælpekontakternes fysiske placering i kontaktorerne.

For 4- og 8-polede styrerelæer med kendetallene 22, 31, 40, 44 og 62 har man normeret pladscifre til angivelse af slutte- og brydekontakter.

RELÆTEKNIK

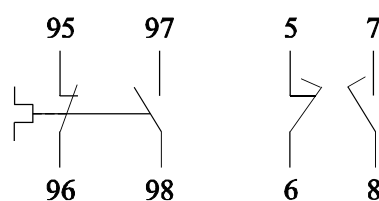
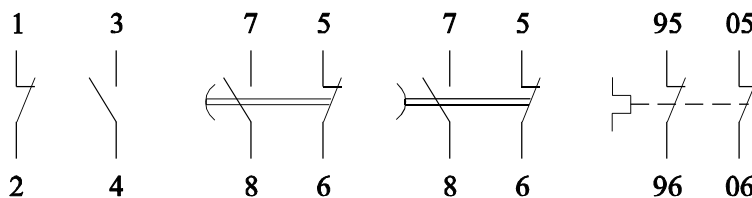
For 8-polede styrerelæer med kendetallene 44 og 62, hvor kontakterne er anbragt i to etager, er den fysiske placering af slutte- og brydekontakter normeret.

I apparater med fire brydekontakter skal de placeres i den øverste etage, og for apparater med to brydekontakter skal de placeres midt i den øverste etage.

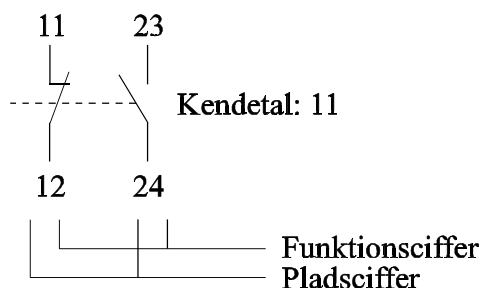
Funktionsciffer

Det andet ciffer angiver kontaktens funktion på følgende måde:

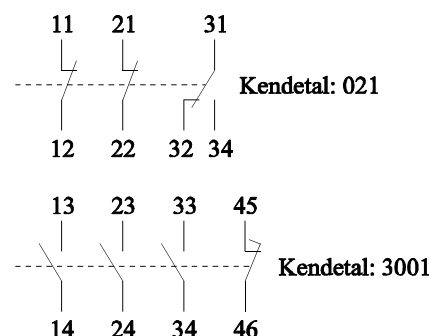
- 1 og 2 brydekontakter
- 3 og 4 sluttekontakter
- 5 og 6 speciel brydekontakt, tidlig eller sen bryde, termokontakten i et motorværn eller brydekontakter på tidsrelæer.
- 7 og 8 speciel sluttekontakt, tidlig eller sen slutte, sluttekontakter på tidsrelæer.



Kendetal



Hjælperelæer og kontaktorer kan være forsynet med et kendetal, som angiver antallet af hjælpekontakter og deres type.



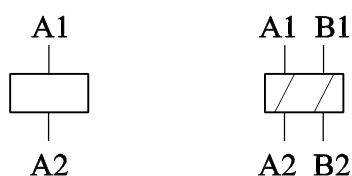
Kendetallet er opbygget af fire cifre med følgende betydning:

1. ciffer angiver antallet af sluttekontakter.
2. ciffer angiver antallet af brydekontakter.
3. ciffer angiver antallet af omskifterkontakter.
4. ciffer angiver antallet af specielle kontakter, det kan være specielle bryde- eller sluttekontakter. Bemærk, at 4. ciffer kun angiver antallet på de specielle kontakter og ikke, hvilken type kontakt der er tale om.

Er der ingen slutte- eller brydekontakter, er der anført et 0 på de pågældende pladser. Er der kun slutte- eller brydekontakter (ingen omskifter- eller specialkontakter), udelades 3. og 4. ciffer.

Kendetallets tværsom angiver antallet af hjælpekontakter.

Spoler



Mærkningen af en spoles klemmer er alfanumerisk.

Kontaktspole: A1 og A2 (A og B er stadig brugt på visse komponenter).

Dobbeltspoler: A1 og A2, B1 og B2.

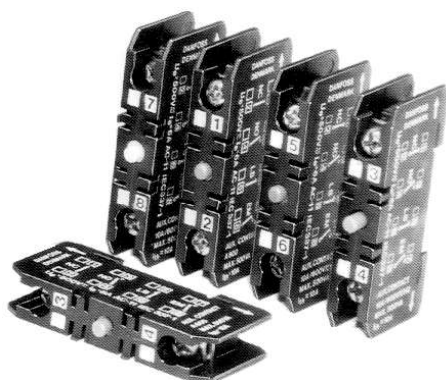
RELÆTEKNIK

Mærkning af styrerelæer

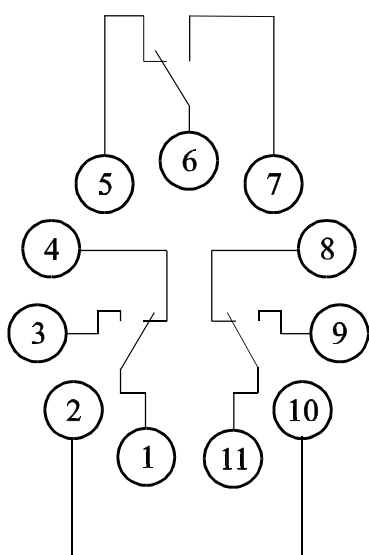
Efterfølgende er vist et firmaeksempel på en række styre- eller hjælperelæer med mærkning.

Styrerelæ CS 3 komplet 1) Foretrukne udførelser efter EN 50 011 Skema		Opbygning	EN kodetal	Antal kontakter	Antal 	Antal
A1	13 21 31 43		22 E	4	2	2
A2	14 22 32 44					
A1	13 21 33 43		31 E	4	3	1
A2	14 22 34 44					
A1	13 23 33 43		40 E	4	4	0
A2	14 24 34 44					
A1	13 23 33 41 51 61		31 + 02	33 E	6	3
A2	14 24 34 42 52 62					
A1	13 21 31 43 53 61		22 E + 11	33 Y	6	3
A2	14 22 32 44 54 62					
A1	13 23 33 43 51 61		40 E + 02	42 E	6	4
A2	14 24 34 44 52 62					
A1	13 21 33 43 53 61		31 E + 11	42 Y	6	4
A2	14 22 34 44 54 62					
A1	13 23 33 43 53 61		40 E + 11	51 E	6	5
A2	14 24 34 44 54 62					
A1	13 23 33 43 53 63		40 E + 20	60 E	6	6
A2	14 24 34 44 54 64					
A1	13 23 33 43 51 61 71 81		40 E + 04	44 E	8	4
A2	14 24 34 44 52 62 72 82					
A1	13 21 31 43 53 61 71 83		22 E + 22	44 Y	8	4
A2	14 22 32 44 54 62 72 84					
A1	13 23 33 43 53 61 71 81		40 E + 13	53 E	8	5
A2	14 24 34 44 54 62 72 82					
A1	13 21 33 43 53 61 71 83		31 E + 22	53 Y	8	5
A2	14 22 34 44 54 62 72 84					
A1	13 23 33 43 53 61 71 83		40 E + 22	62 E	8	6
A2	14 24 34 44 54 62 72 84					
A1	13 23 33 43 53 61 73 83		40 E + 31	71 E	8	7
A2	14 24 34 44 54 62 74 84					
A1	13 23 33 43 53 63 73 83		40 E + 40	80 E	8	8
A2	14 24 34 44 54 64 74 84					

RELÆTEKNIK



I dag, hvor hjælpekontakter ofte påclipses relæerne efter behov, er det den virksomhed, der monterer en styring, der er ansvarlig for, at alle disse normer overholdes, hvis de ønskes overholdt. Løse hjælpekontakter er ofte fortrykt med et funktionsciffer, da placeringen jo ikke kendes. Der kan så være et blankt felt, hvor montøren selv kan skrive placeringscifferet.

Stikbensrelæ med 11 ben


Eksemplet viser et 11 bens relæ med tre omskifterkontakter.

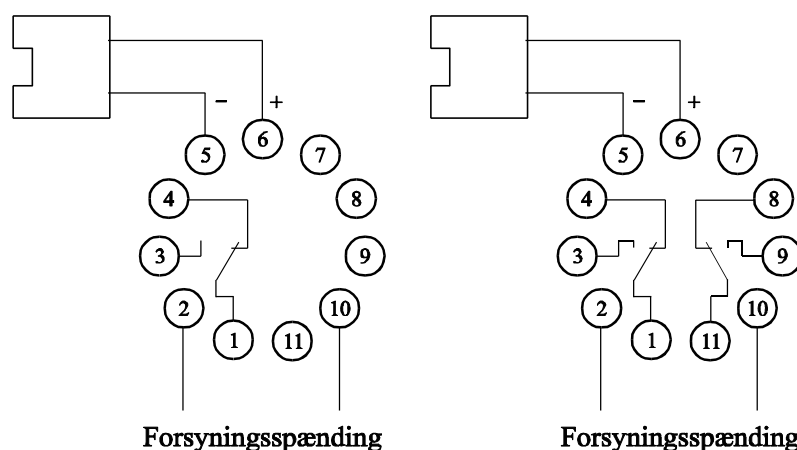
<i>Ben</i>	<i>Funktion</i>
2 og 10	Spole (eller forsyning)
1 og 4	NC i omskifter med ben 1 som Common
1 og 3	NO i omskifter med ben 1 som Common
5 og 6	NC i omskifter med ben 6 som Common
6 og 7	NO i omskifter med ben 6 som Common
8 og 11	NC i omskifter med ben 11 som Common
9 og 11	NO i omskifter med ben 11 som Common

Den viste sokkel kan anvendes til forskellige styrespændinger, men ikke samtidig. Adskillelsen mellem de enkelte klemmer tilfredsstillende ikke kravene til adskillelse mellem forskellige spændinger.

De samme regler gælder for tilhørende relæer, og derudover gælder, at relæernes kontaktsæt ikke tvangsføres sammen, og derfor kan de ikke anvendes til sikkerhedsrelaterede formål, hvor der kræves tvangsføring.

Modulsystemer

Ved modulsystemer for anbringelse i 11-bens sokkel (timere - følerforstærkere etc.) vil der normalt kun være tale om et eller to kontaktsæt, da terminalernes ben 5-6-7 er forbeholdt tilslutning af følere etc.



Konstruktionskrav til kontaktorer og relæer

Ved konstruktion af kontaktorer og relæer er der ifølge IEC 158-1 fire krav, som skal opfyldes:

1. Relæet skal indkoble effektivt ved en spolespænding mellem 0,85 og 1,1 gange mærkespændingen.
2. Relæet skal forblive effektivt indkoblet, selv om spændingen falder til 0,75 gange mærkespændingen.
3. Relæet skal udkoble, når spændingen er faldet til 0,1 gange mærkespændingen.
4. Kontroller de nævnte standarder.

Valg af styrespænding

Disse tre konstruktionskrav har stor betydning ved valg af styrespænding og må derfor tages med i overvejelserne inden det endelige valg. En relæspole til en given kontaktor har samme effekt, om den er dimensioneret til 24 V, 230 V eller andre spændinger. Effekten opgives i VA. Indkoblingseffekten er normalt ca. 6 gange større end holdeffekten.

Lave styrespændinger

Valg af lave styrespændinger kan medføre, at der under relæets indkobling kommer til at løbe store strømme i styrekredsen med deraf følgende problemer som:

- overbelastning af ledningsnettet.
- store spændingsfald under indkobling.
- svigtende indkobling og evt. utilsigtet udkobling af relæerne.
- "contact kissing", hvis relæet ikke kan koble effektivt pga. spændingsfald.
- eventuelt afbrændte spoler pga. underspænding.

For at undgå disse problemer må man nøje undersøge følgende:

Er der variationer på netspændingen? Det vil her være den laveste spænding, der skal tages hensyn til.

Der skal laves en aftale mellem køber og sælger i henhold til Anneks B i DS/EN 60204-1 om spændingens kvalitet.

Netspændingens stivhed og evt. spændingsdyk ved start af større motorer.

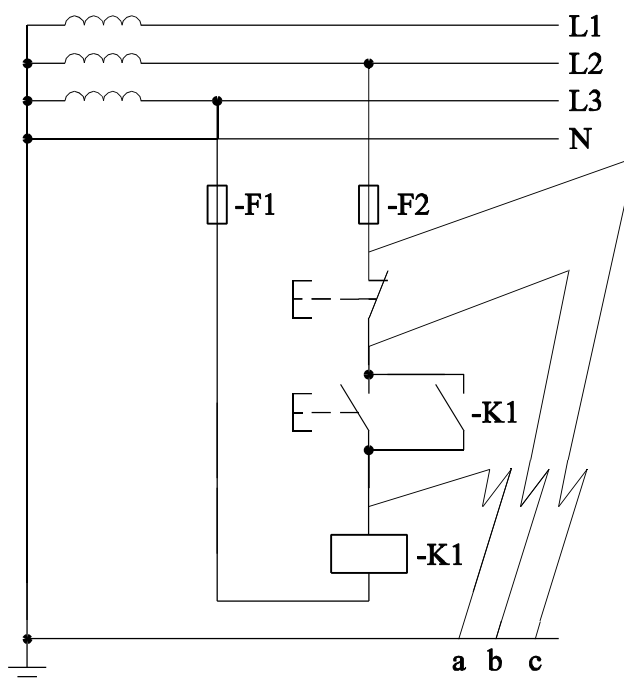
Ledningsnettet i styrekredsen. Er tværsnittet stort nok til at føre den forventede strøm uden for store spændingsfald? Har man valgt 24 volt til styrespænding? Har 2 volt spændingsfald større betydning end 2 volt spændingsfald vil have ved en styrespænding på 230 volt?

277 V er højest tilladelige styrespænding, når den leveres fra styrestrømstransformer.

Høje styrespændinger

Ved høje styrespændinger, fx 400 V mellem lederne, vil der kunne opstå problemer af en hel anden art end tidligere omtalt. Problemerne vil hovedsageligt være at finde inden for følgende områder:

- Mulighed for fejlkobling pga. jordfejl i styrekredsen.
- Svigtende udkobling pga. kapacitet i lange styreledninger.



Denne viste 400 V styring bør forsynes med 2-polede stop- og startkontakter til eliminering af efterfølgende beskrevne problemer. De i Maskindirektivet krævede risikovurderinger vil afsløre dette. Det er i det hele taget usikkert, om der på markedet findes styrestrømskontakter til 400 V styrespænding.

- Mulighed for fejlkobling pga. jordfejl i styrekredsen.

Ved jordfejl (en ad gangen) i et af punkterne a, b eller c vil der ske følgende:

RELÆTEKNIK

1. Jordslutning ved a.

Er K1 i udkoblet stand, vil spolen få påtrykt en spænding på 0,58 gange den nominelle værdi:

$$\left(\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \text{nom. værdi} \right)$$

Denne spænding er dog ikke høj nok til at indkoble K1, men den vil medføre, at spolen brænder sammen som følge af kredsløbets lave impedans.

Aktiveres startknappen, smelter sikringen F2, men spolen er fortsat påtrykt den farlige under-spænding. Hvis der er en vis modstand i jordslutningen, vil relæet muligvis nå at indkoble, inden sikringen smelter, og relæet vil muligvis forblive indkoblet, selvom sikringen smelter.

Det vil herefter ikke være muligt at udkoble relæet med stopknappen.

Er K1 indkoblet, smelter sikringen F2. Spændingen over spolen formindskes herved til 0,58 gange den nominelle værdi, men vil oftest være i stand til fortsat at holde K1 indkoblet. Er dette tilfældet, vil K1 ikke kunne udkobles ved aktivering af stopknappen, men kun ved fjernelse af sikringen F2. Er den formindskede spænding for lav til at holde kontaktoeren indkoblet, udsættes spolen også i dette tilfælde for den farlige under-spænding i udkoblet stand.

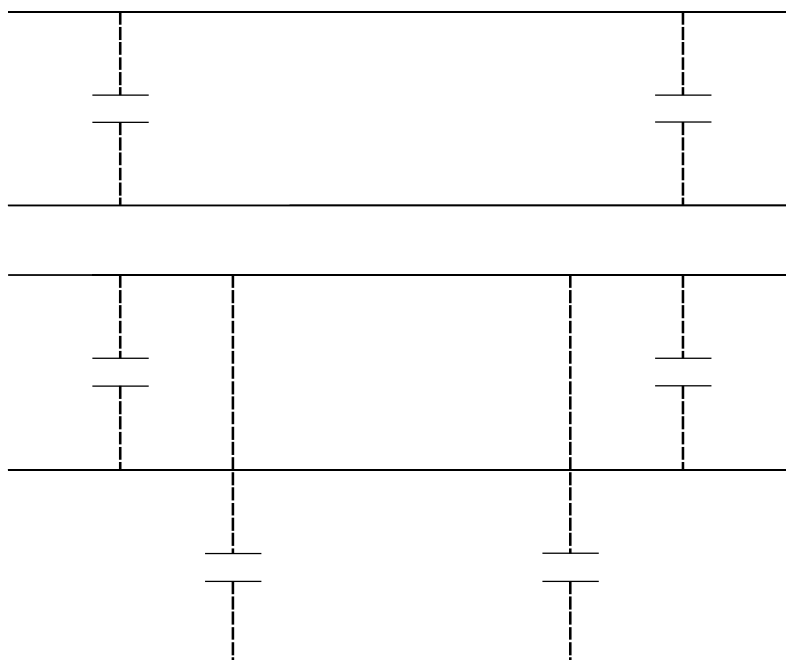
2. Jordslutning ved b.

Sikringen F2 smelter omgående. Er K1 i udkoblet stand, får jordslutningen ingen betydning. Ved tryk på startknappen får spolen påtrykt den reducerede spænding, men den er for lav til at kunne aktivere K1, og da den forsvinder igen, når startknappen slippes, når spolen som regel ikke at tage skade. Er K1 indkoblet, når jordslutningen opstår, fås de samme forhold som i tilfælde a.

RELÆTEKNIK

3. Jordslutning ved c.
Sikringen F2 smelter omgående. Er K1 i udkoblet stand, får jordslutningen ingen betydning. Ved tryk på startknappen fås de samme forhold som i tilfælde b. Er K1 indkoblet, vil den reducerede spænding være i stand til at holde K1 indkoblet. Tryk på stopknappen medfører, at K1 udkobles. Herefter er indkobling umulig, idet den reducerede spænding ikke kan indkoble K1.
4. Kapacitet i for lange styreledninger.
Da sammenhørende ledninger/kabler i styrekredse optræder som kondensatorer, skal man ved lange styreledninger/kabler være opmærksom på dette problem.

Kapaciteten i styrekredsen tiltager med ledningslængden og ledningstallet.

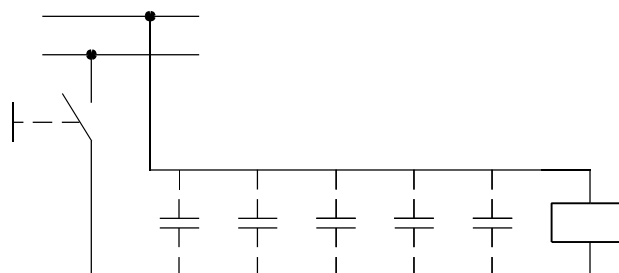
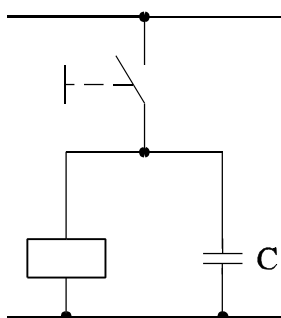


Som det ses, bliver den capacitive virkning fordoblet ved treleder styrestrøm.

For at undgå problemet med kapacitet i styrelednin-

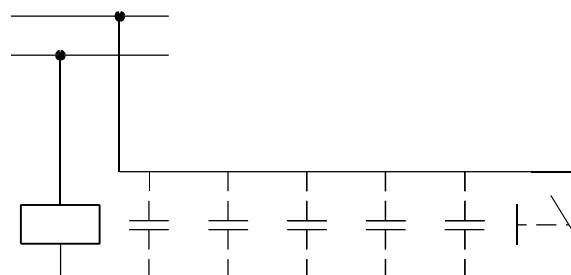
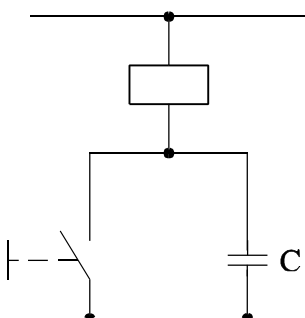
RELÆTEKNIK

gerne kan styreorganet anbringes ved spændingskilden som vist i næste figur. Afbryderen vil her bryde både spolestrøm og kondensatorstrøm. Kondensatorstrømmen vil ikke få væsentlig indflydelse på driften. Der vil dog kunne opstå en lille tidsforsinkelse ved udkobling af spolen.



Opbygges anlægget derimod som vist i næste figur, vil der kunne opstå problemer, såsom manglende udkobling af relæet.

Afbryderen afbryder her kun spolestrømmen og ikke kondensatorstrømmen. Er kondensatorstrømmen på mere end ca. 40 % af spolestrømmen, vil der opstå problemer med klæbning af relæet.



Definitioner

For at kunne dimensionere kontaktorer optimalt, dvs. at de mindst skal opfylde det af fabrikanten opgivne antal koblinger, med anvendelse af det billigste materiel, må en række begreber defineres:

(Dimensionering af de sikkerhedsrelaterede kontakter er beskrevet i ISO 13849-2:2003 bilag D, - typisk 100% overdimensionering)

Mærkespænding (U_e)

Ved en kontaktors mærkespænding (U_e) forstås størrelsen af den spænding som, kombineret med dens driftmærkestrøm, bestemmer kontaktorens anvendelse. Ved flerfasede kontaktorer refererer mærkespændingen til netspændingen. Kontaktorer er desuden mærket med styrekredsløbets mærkespænding.

Termisk mærkestrøm (I_{th})

Ved termisk mærkestrøm (I_{th}) forstås størrelsen af den strøm, der svarer til den tilladelige temperaturstigning i hovedkredsløbet, når kontaktoeren ikke åbner eller slutter. Kontaktoeren skal være i stand til at føre denne strøm i 8 timer med sluttede hovedkontakter, uden at temperaturstigningen af dens forskellige dele overstiger bestemte grænser, der bl.a. afhænger af de anvendte isolationsmaterialer. Den termiske mærkestrøm kan variere med kapslingens art, og den er normalt baseret på en omgivelsestemperatur på 35 °C.

Omgivelsestemperaturer på 35 °C er i mange situationer meget lavt sat.

Med tidens store anvendelse af frekvensomformere er temperaturen i maskinstyretavler meget ofte højere. Der skal laves kritiske vurderinger i hvert enkelt tilfælde.

Driftmærkestrøm (I_e)

Ved driftmærkestrømmen (I_e) forstås en strøm, der er bestemt ud fra anvendelsesmåden. Den angives af fabrikanten uden hensyn til værdien af mærkespændingen, frekvensen, benyttelsesmåden, koblingskategorien samt den anvendte indkapsling.

(Mærkeindkoblings- og brydeevnen udtrykkes i al-

mindelighed i relation til driftmærkestrømmen).

For kontaktorer i motorinstallationer kan udtrykket for driftmærkestrømmen erstattes med et udtryk for motorens mærkeeffekt, svarende til mærkespænding og driftmærkestrøm.

Brydestrøm (I_a)

Brydestrømmen er den strøm, som kontaktoeren gennemløbes af på det tidspunkt, hvor afbrydelsen sker.

IEC 158-1

Af moderne kontaktorer konstrueres størsteparten i dag efter den internationale norm IEC 158-1, der i 1999 blev accepteret uden forbehold i 19 lande og med visse forbehold af 2 lande.

Normen specificerer blandt andet de fire AC-driftkategorier, som kontaktorerne skal kunne arbejde under og som følgelig danner grundlag for kontaktoerens data.

RELÆTEKNIK

Kategori	Koblingsbetingelser		Belastning
	Slutte	Bryde	
AC 1	1 x le	1 x le	Ohmsk eller let induktiv belastning, fx elvarme, u/transformer Lysstofrør og metaldamplamper uden eller med seriekompensationskondensatorer
AC 2	2,5 x le	2,5 x ke	100 % tipdrift og modstrømsbremsning af slæberingsmotorer.
AC 3	6,3 x le	1 x le	Direkte start, stjernetrekant start, reversering eller polomkobling af kortslutningsmaskiner. Start af slæberingsmotorer. Afbrydelse af løbende motor. Transformer med ohmsk belastning. Metaltråds glødelamper, lysstofrør og metaldamplamper med parallelkompensationskondensator.
AC 4-10 % AC 4-50 % AC 4-100 %	6,4 x le	10 % 6,3 x le 90 % 1 x le 50 % 6,3 x le 10 % 1 x le 100 % 6,3 x le	10-100 % tipdrift og modstrømsbremsning af kortslutningsmotorer.

Sikkerhedsrelæer

Markedet

Markedet er for tiden fyldt med komponenter, som under en bred hat kaldes sikkerhedsrelæer. Det kan være relæer som varetager tohåndsrelæfunktioner, nødstopfunktioner, overvågning af låger med videre. Der findes relæer, som kan kombineres til løsning af mangeartede opgaver. Nogle har endog et element af programmerbare funktioner i sig.

Sikkerhedsrelæernes placering i hierarkiet

De to nye standarder for sikkerhedsrelaterede styresystemer ISO 13849-1:2006 og IEC 62061:2005 omtaler undersystemer og undersystemelementer. De omtalte sikkerhedsrelæer er netop eksempler på sådanne undersystemer. Det betyder, at sikkerhedsrelæerne kan anvendes som undersystemer i et sikkerhedsrelateret styresystem, som er designet og konstrueret i overensstemmelse med én af de to standarder eller begge standarder i kombination.

Kravene til konstruktøren af disse sikkerhedsrelaterede styresystemer er betydelige. Man skal være i stand til at vurdere hvilken af standarderne som er relevant i den givne situation, og man skal have et godt kendskab til mindst én af dem. Der sættes i begge standarder krav til undersystemerne om at overholde visse moderstandarder. Det betyder, at konstruktøren ud over kravet til sikkerhedsstandarderne skal have et vist kendskab til moderstandarderne for at være i stand til at implementere sikkerhedsrelæerne på en måde, som giver den nødvendige sikkerhed.

Håndbogen **Funktionssikre Maskiner *Hvad er meningen?*** som er udgivet på Dansk Standards forlag, giver et godt indblik i disse problemstillinger.

Valideringsopgaven

Som et led i design og konstruktion af sikkerhedsrelaterede styresystemer er den første opgave at fastsætte valideringsgrundlaget. Valideringen er den sidste handling, som foretages, inden CE-mærket sættes på maskinen. Valideringsgrundlaget er som et minimum

Maskindirektivet og ISO 13849-2:2003 og måske nogle kravspecifikationer fra kunden, men i sikkerhedsrelæernes brugsanvisning kan der ligge nogle gemte valideringskrav, som brugeren af produktet måske ikke er i stand til at indfri.

Kravene til valideringen er, at den foretages af en uafhængig person, og kravene til den uafhængige person ligger i størrelsesordenen:

Performance Level a, b og c eller SIL 1:

En uafhængig person

Performance Level b eller SIL 2:

En uafhængig afdeling

Performance Level d eller SIL 3:

En uafhængig afdeling.

Sikkerhedsrelæet skal passe til opgaven

Leverandørerne af sikkerhedskomponenterne vil gerne fremhæve, hvor gode deres produkter er i forhold til de gamle kategorier og de nye Performance Levels og SIL-niveauer. Der kan sagtens opstå tilfælde, hvor et sikkerhedsrelæ mærket SIL 3 ikke er i stand til at løse en opgave i kategori 1 Performance Level c. Tingene skal passe sammen.

Sikkerhedsrelæernes og EN 60204-1:2006

Et væsentligt krav i DS/EN 60204-1:2006 er, at hvis ***sikkerhedsrelateret nedsatte styrespændinger*** (fx PELV) føres gennem relækontakter i relæer, som også fører ***ikke sikkerhedsrelateret nedsatte spændinger***, så skal isolationsniveauet mellem de enkelte kontaktsæt indbyrdes og mellem kontaktsættene og spolelemmerne tilfredsstillende isolationsniveauet i en sikkerhedstransformer.

Denne oplysning skal findes i sikkerhedsrelæernes dokumentation eller oplyses af leverandørerne.

Standardkoblinger

Styringer opdeles i mindre enheder.

Disse enheder kaldes i *de nye standarder for sikkerhedsrelaterede styresystemer* for undersystemer og de enkelte dele af enheden for undersystemelementer.

Hvis et undersystem har del i maskinens sikkerhedsrelaterede funktioner som start, stop, logik og udgang til en bevægelig del, så skal de sikkerhedsrelaterede standarder tages i anvendelse.

Det er også muligt at opdele sin maskinstyring således, at de sikkerhedsrelaterede funktioner ligger i et separat afsnit.

Undersystemer i en maskinstyring kan (såvel sikkerhedsrelaterede som ikke sikkerhedsrelaterede) være følgende:

- Styring af motor (med motorværn).

- Fjernbetjening med start/stop.

- Reset ved fjernbetjening.

- Enpolet styring af motorværn.

- Startspærring.

- Reversering af motor

- Styring med almindelige kontakter

- Styring med kombinerede kontakter

- Polomkobling af motorer

- Motor med adskilte viklinger

- Motor med dahlanderviklinger

- Stjerne-trekant start af motorer

Kredsskemaer

Kredsskemaerne over et automatisk anlæg opdeles i hovedstrømsskema og styrestrømsskema.

Hovedstrømsskema viser forbindelserne til de genstande, som styrer fx motorer, varmelegemer mv.

Styrestrømsskema viser forbindelserne til de komponenter, som styrer anlægget, fx relæspoler, relækontakter, kontrollamper, betjeningskontakter og følere.

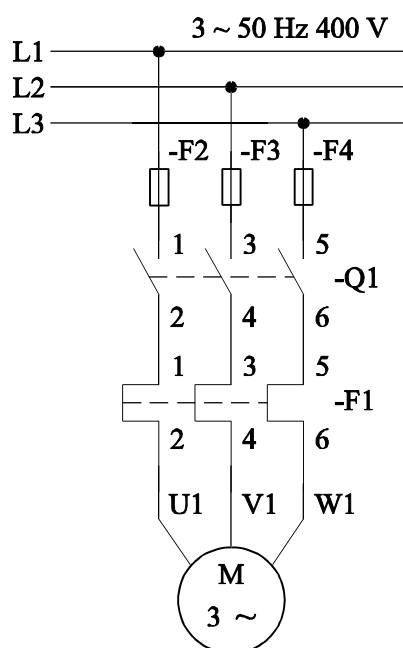
Styring af motor

Styring af en motor ved hjælp af et motorværn (fjernbetjening) kan som tidligere omtalt udføres med trykknapper, enpoledede afbrydere, pressostater eller andre føleorganer.

Ud over disse forskellige styringsmuligheder kan der undertiden være bestemte krav eller betingelser, som skal overholdes, fx startspærring, reset, eller indkobling af flere motorværn i en bestemt rækkefølge.

Styrestrømsskemaerne for de mest almindeligt forekommende styringer af motorværn fremgår af det følgende.

Fælles for alle magnetbetjente motorværn til styring af en motor er, at hovedstrømmen er monteret som følgende skema:

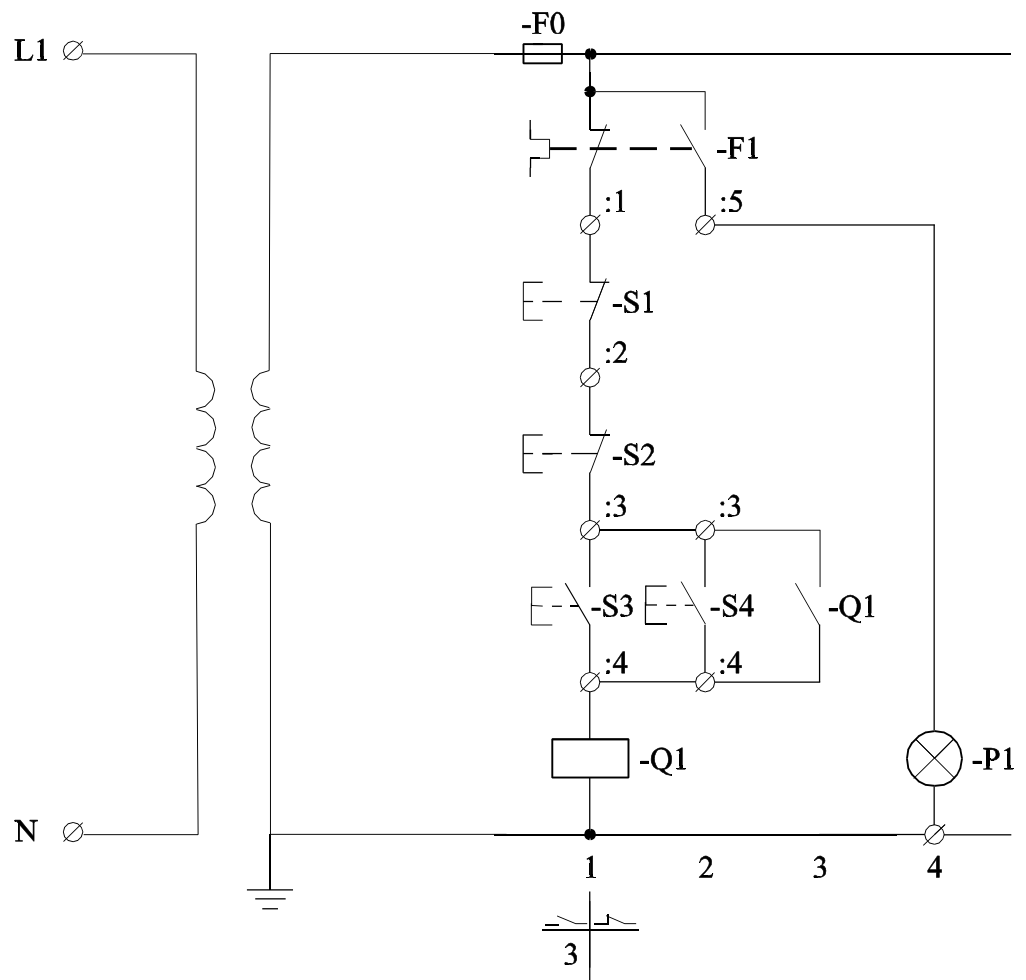


Motorværn med start-stop

Kredsskemaet viser styrestrøm for et trykkontaktstyre motorværn med fjernbetjente start- og stoptryk samt indikering for termisk udkobling ved P1.

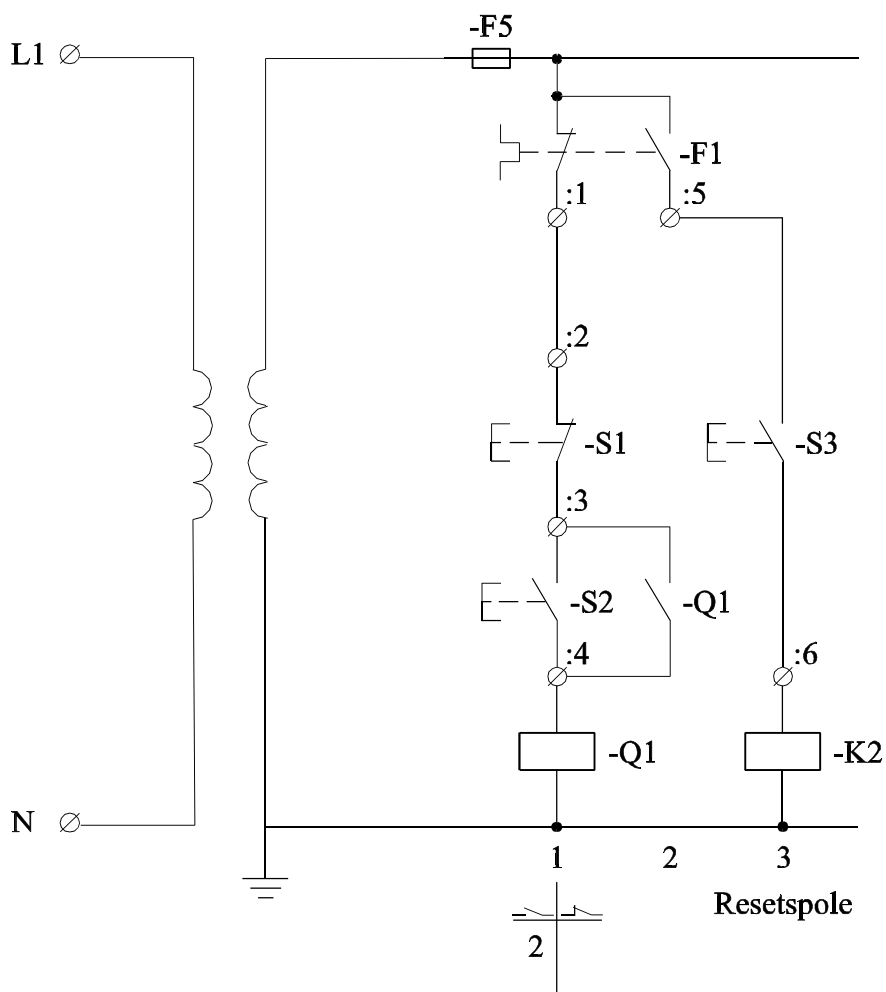
Ved tryk på start (S3 eller S4) slutter relæet Q1. Der laves samtidig selvhold over startkontakterne, så relæet bliver inde, når starttrykket slippes. Relæet udkobler, når der trykkes på en af stoptrykkene (S1 eller S2) eller hvis termorelæet bryder.

Hvis termorelæet bryder, slutter det samtidig en anden kontaktfunktion, der tænder lampen P1, så der indikeres, at motoren er stoppet pga. termoudfald.



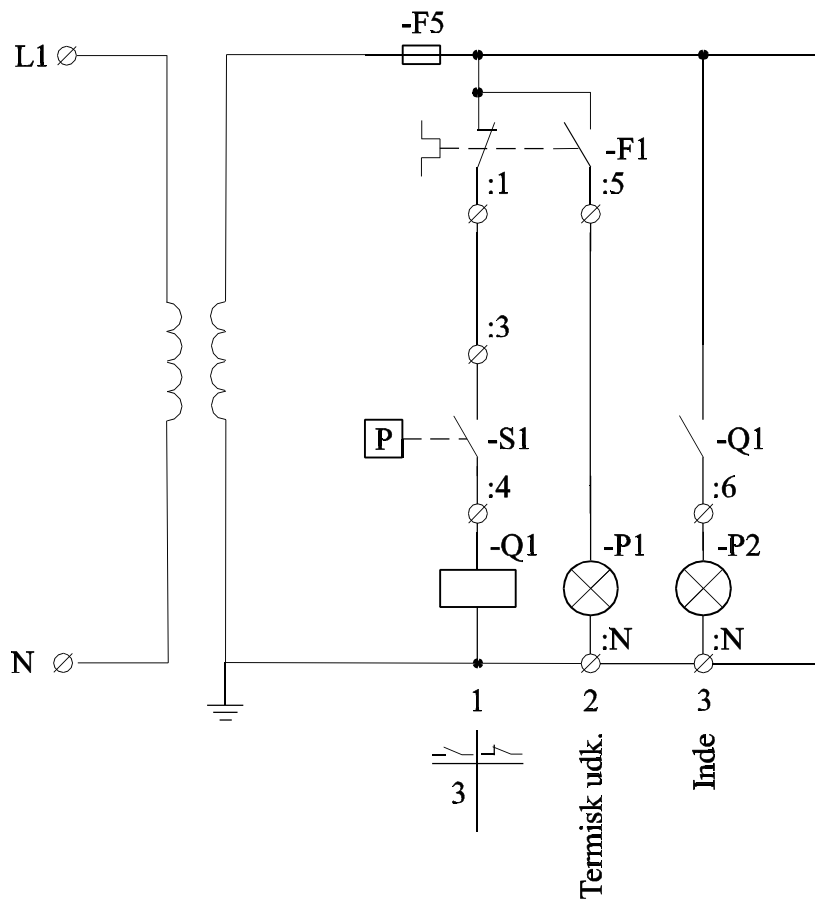
Fjernbetjent reset af motorværn

Styrestrømsskemaet viser et trykkontaktstyret motorværn med fjernbetjent tilbagestilling af termorelæet efter termoudfald. Tilbagestillingen sker ved hjælp af resetspolen K2.



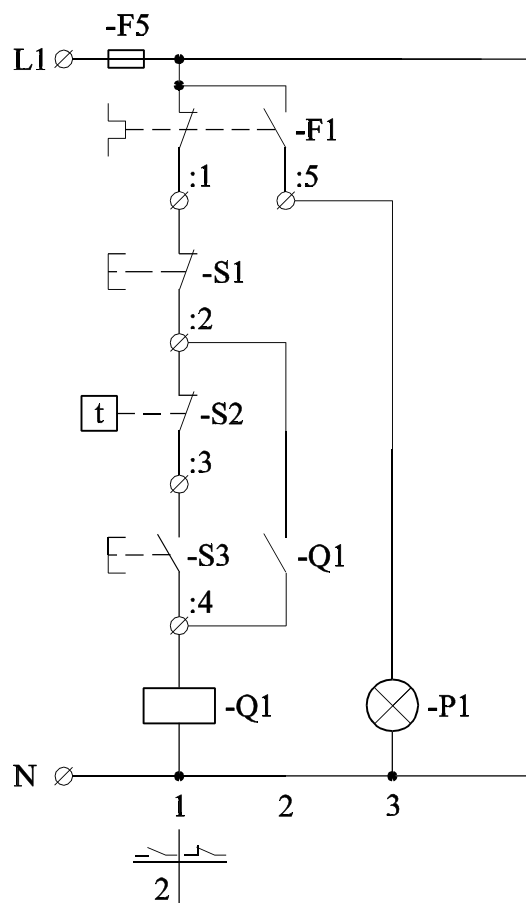
Enpolet styring af motorværn

Nøgleskemaet viser et motorværn styret af en enpolet kontakt, i dette tilfælde en pressostat. Der er fjernindikering for termoudfald ved H1 samt fjernindikering af drift ved H2.



Startspærring

Der skal sikres mekanisk og/eller elektrisk. Når kontakten S2 er påvirket, kan motorværet ikke indkobles, men en påvirkning af S2, mens motorværet er indkoblet, har ingen virkning.



Reversering

Ved automatisk reversering eller reversering af en motor forstås, at motorens omløbsretning ændres. Dette gøres ved at ændre fasefølgen til motoren.

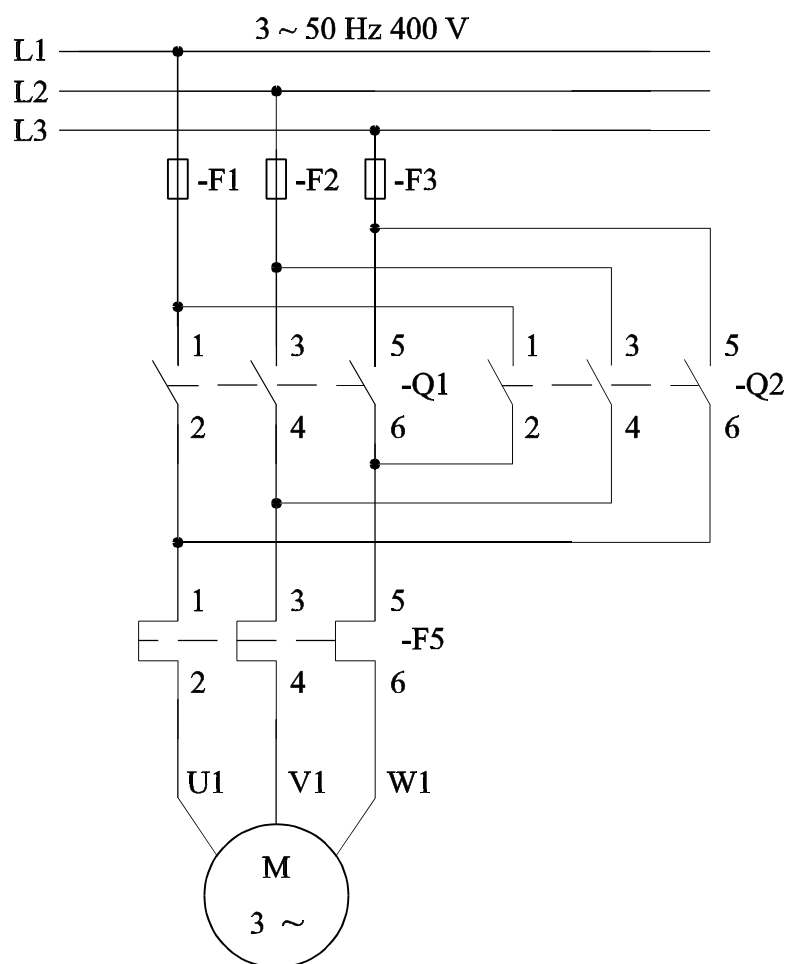
Hovedstrømsskema

Den almindelige reverseringsenhed er opbygget af et termorelæ og to kontaktorer.

Ved indkobling af kontaktor Q1 får motoren rigtig fasefølge, ved indkobling af kontaktor Q2 byttes der to faser, og motoren kører dermed den anden vej.

Det skal sikres mekanisk eller elektrisk, at de to kontaktorer ikke kan koble samtidig. Hvis det sker, bliver faserne L1 og L3 kortsluttet.

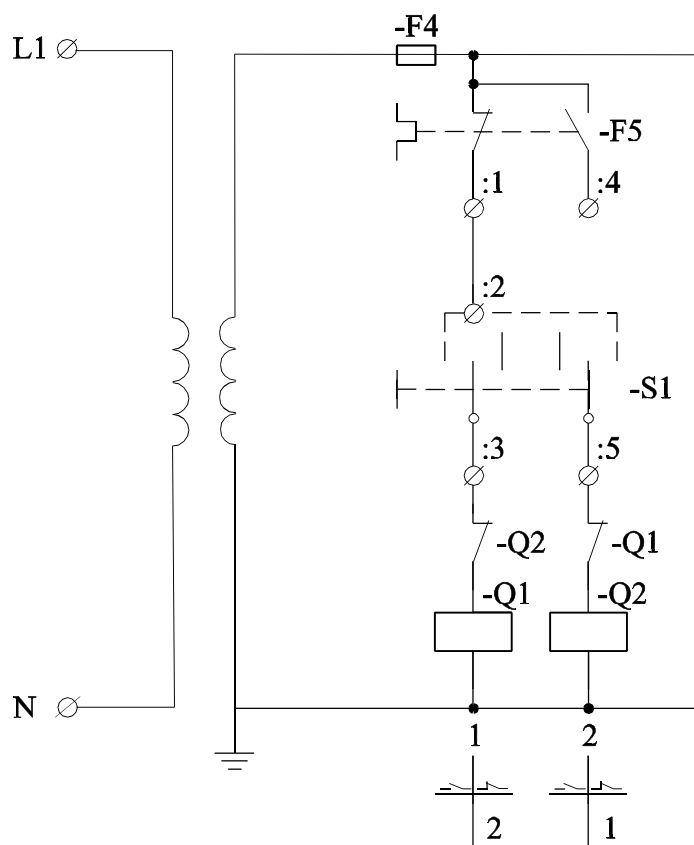
Der benyttes kun et termorelæ, da motoren har samme fuldlaststrøm uanset omløbsretning.



Reversering med skiftekontakt

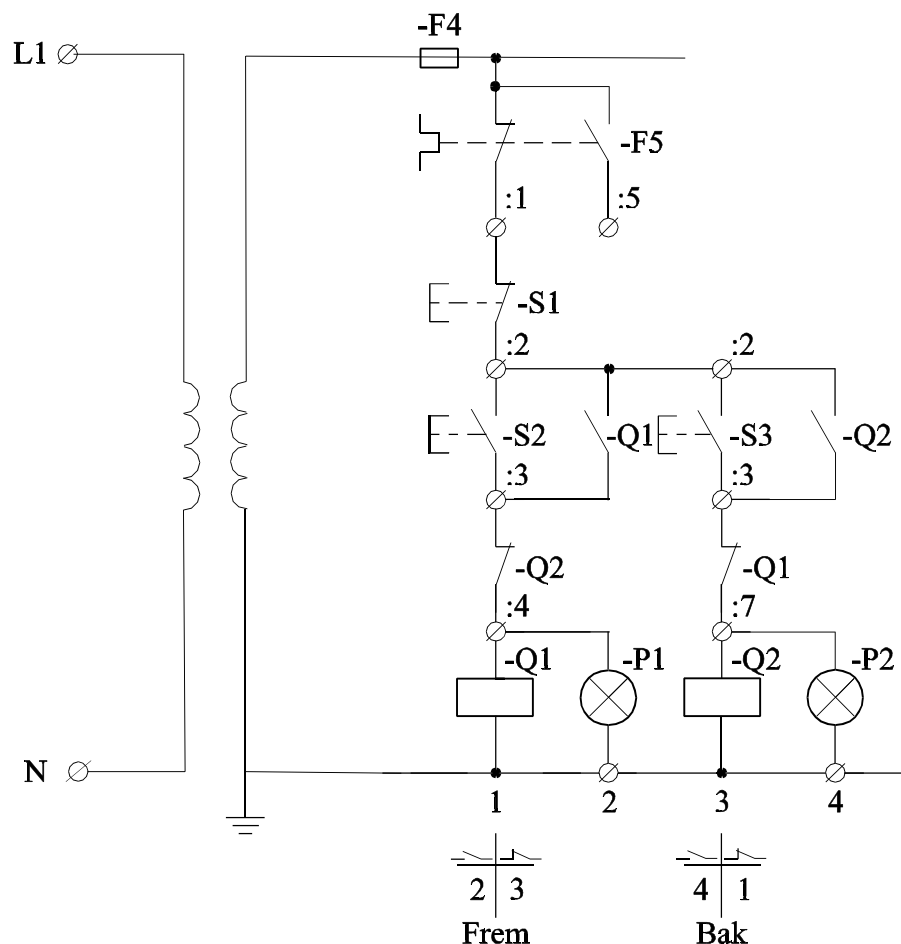
Styrestrømsskemaet viser en reversering, som betjenes via en omskifterkontakt S1 med nulstilling.

Kontakterne Q1 og Q2 forhindrer, at kontaktorerne kan være sluttet samtidig ved hurtig omskiftning eller ved fejl i omskifterkontakten.



Reversering med trykkontakter

Styrestrømsskemaet viser en reversering, som betjenes via trykkontakter.



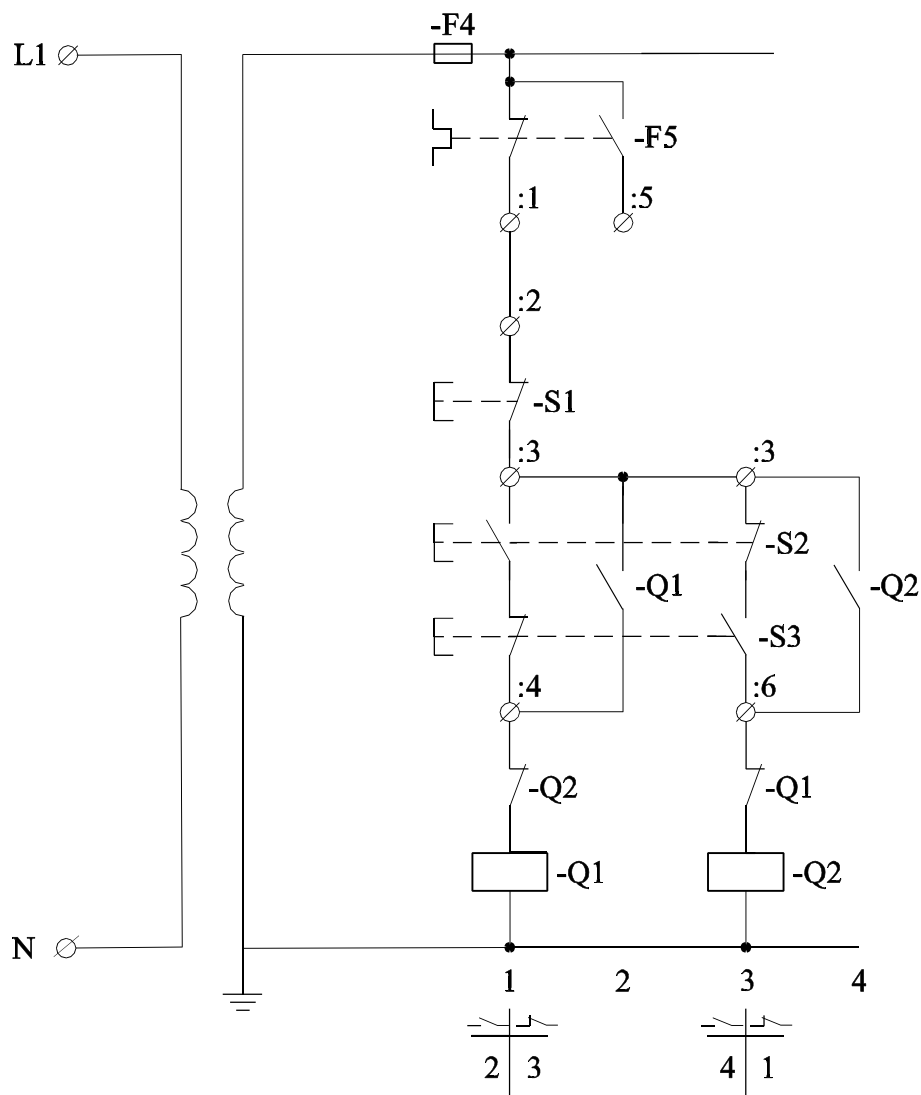
Gensidig spærring

For at forhindre kortslutning mellem to faser forsynes reverseringsenheden med gensidig spærring (elektrisk gensidig spærring). Denne spærring udføres sådan, at når en kontaktor er sluttet, er forbindelsen til den anden afbrudt. Det er nødvendigt at udføre det på denne måde, da der ingen spærring er mellem S2 og S3. For at ændre omløbsretning er det derfor nødvendigt først at stoppe motoren ved tryk på S1.

I mere specielle tilfælde vil det endvidere kræves, at kontaktorerne er forsynet med mekanisk spærring.

Reversering med kombinerede kontakter

Styrestrømsskemaet viser en reversering med kombinerede kontakter, hvor startspærringen kræver tryk på stop, før det er muligt at starte for modsat omløbsretning. I denne styring er der både lavet elektrisk spærring med starttrykkene og kontaktorerne.



Polomkobling

I kortslutningsmaskiner med to hastigheder kan statoren være forsynet med to helt adskilte viklinger.

Polomkobling af to adskilte viklinger

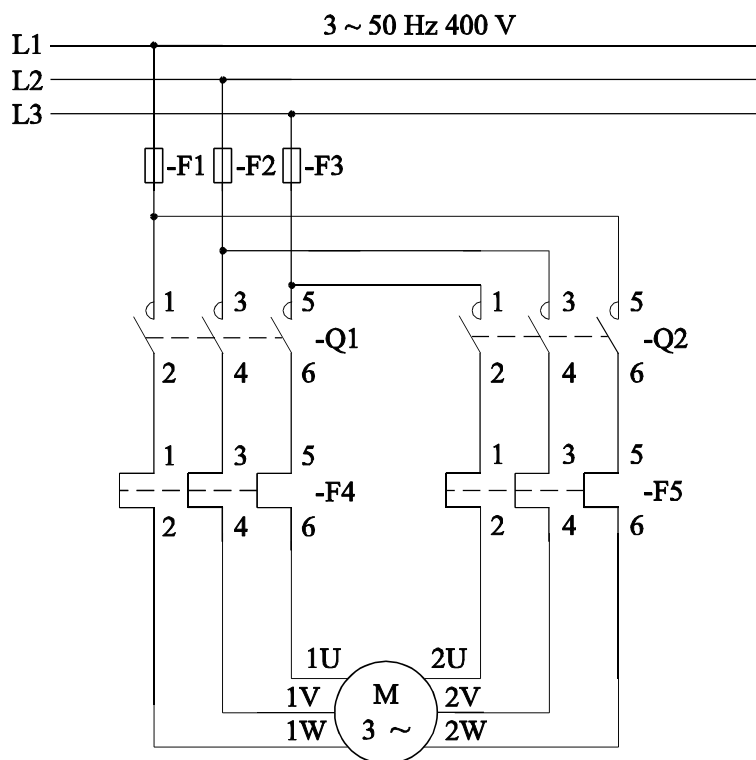
To adskilte statorviklinger benyttes normalt for motorer, hvis drejefeltshastigheder er på 1500 og 1000 o/min, dvs., at de to viklinger har henholdsvis 4 og 6 poler.

Hvis det af forskellige årsager er nødvendigt at kunne skifte direkte fra høj til lav hastighed, skal det tages med i risikovurderingen og efterfølgende beregninger, at den ikke arbejdende vikling kører som generator, når motoren er i drift.

Dette kan give nogle gevaldige indkoblingsstrømspidser, som er ødelæggende for både kontaktorerne og deres omgivelser. Der anbefales 40 millisekunders adskillelse mellem de to hastigheder til at lade restspændinger klinge af.

Hovedstrømsskema

Den almindelige polomkobler for motorer med adskilte viklinger består af to motorværn.



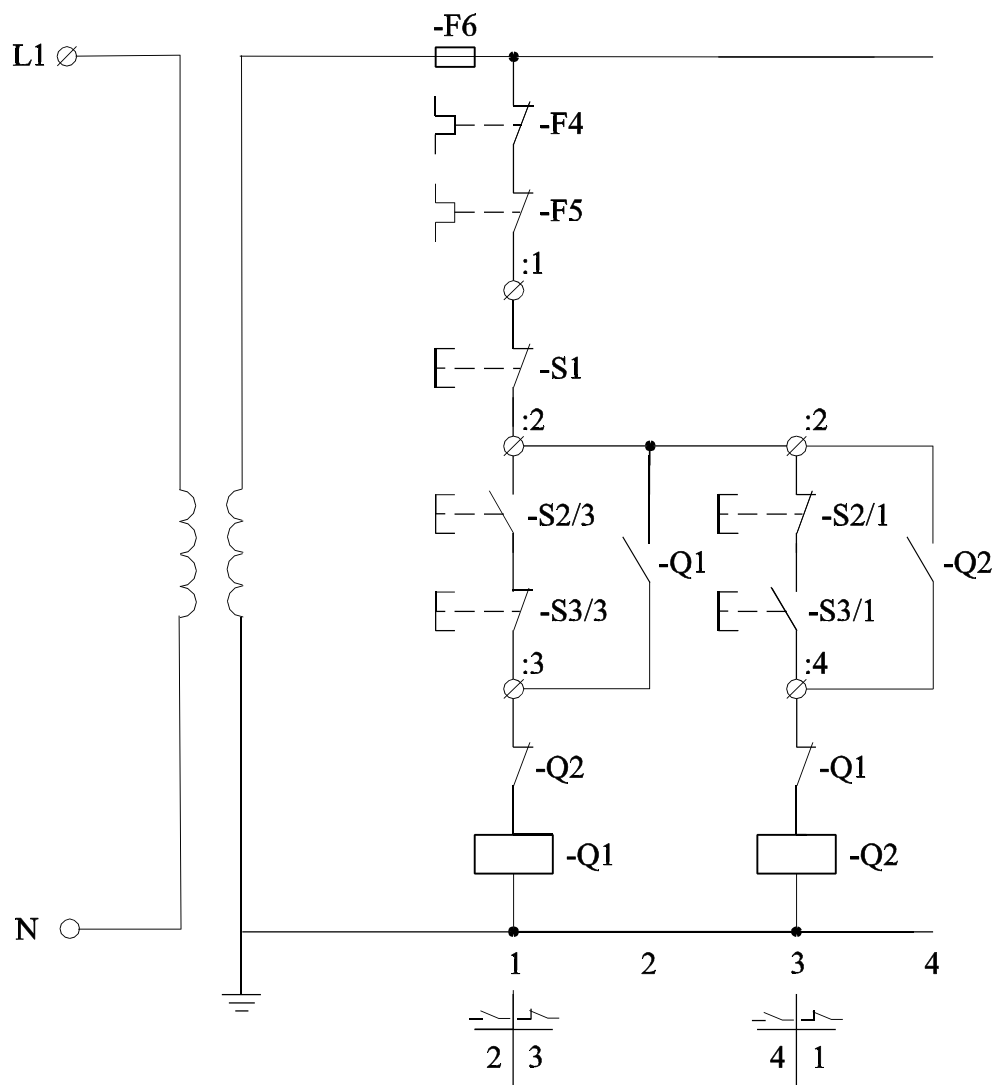
Indstilling af motorværn

Da motorens fuldlaststrøm for de to hastigheder normalt er meget forskellig, skal der benyttes to forskellige indstillingsområder for de termiske relæer. Dette kan endvidere medføre, at der muligvis skal benyttes to forskellige sæt forsikringer, tilpasset hvert sit motorværn for henholdsvis høj og lav hastighed.

Styrestrømsskema for polomkobler

Styrestrømsskemaet viser en styring for en motor med to adskilte viklinger, hvor der ved skift fra høj til lav hastighed (eller omvendt) først skal trykkes på stop via S1.

Denne styring ses også undertiden udført sådan, at skiftet mellem hastighederne kan ske direkte uden brug af stoptrykket. Det er der ikke de store problemer med rent elektrisk, da der ikke på noget tidspunkt kan ske en kortslutning af faserne i hovedstrømmen.



Polomkobling af dahlandermotor

I kortslutningsmaskiner med to hastigheder kan statoren, i stedet for at være forsynet med to adskilte viklinger, være forsynet med en vikling, hvor hver fasevikling har midtpunktsudtag.

Denne viklingstype kaldes også for en dahlandervikling.

Ved kobling på lav hastighed tilsluttes der blot tre faser til tre motorklemmer.

Ved kobling på høj hastighed tilsluttes de tre faser til de tre andre motorklemmer, samtidig med at de tre klemmer til lav hastighed kortsluttes.

Alt efter motorfabrikat skal der muligvis også ske en ændring af fasefølgen.

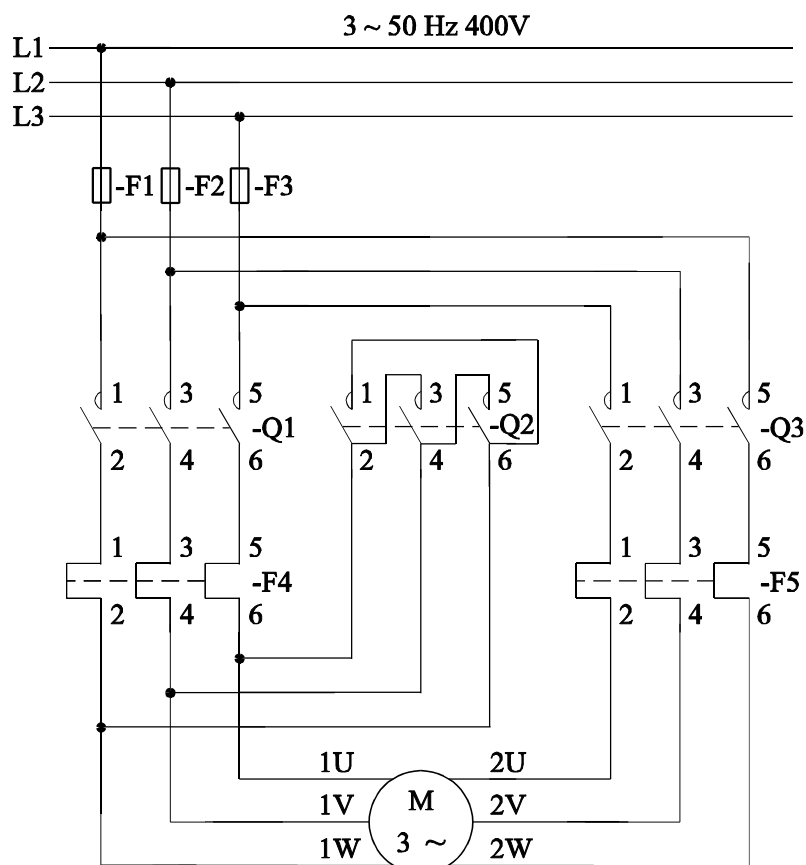
Flere hastigheder generelt.

Motorer med dahlanderviklinger kan hver for sig køre med to hastigheder, hvoraf den ene er præcis halvdelen af den anden, fx 2800/1400 omdr./min

Motorer med adskilte viklinger kan udføres med alle standardhastigheder, fx 2800/900 omdr./min. Den mest anvendte er 1400/900 omdr./min.

Hovedstrømsskema

Den almindelige polomkobler for motorer med dahl-landervikling består af to termorelæer og tre kontaktorer.



Den specielle måde stjernerelæet er forbundet på, gør, at der laves et korrekt stjernepunkt når blot to af de tre kontaktsæt er i orden.

Eksemplet er medtaget for at vise mulighedernes mangfoldighed. Koblingen tilfredsstiller kravet om enkeltfejl tolerance, men da dette kun gælder for én af tre kontaktorer i igangsætteren, har det kun ringe betydning. En standardkoblet stjernekontakt vil i en fejlfindingssituation være mere overskuelig at fejlfinde på.

Indstilling af motorværn

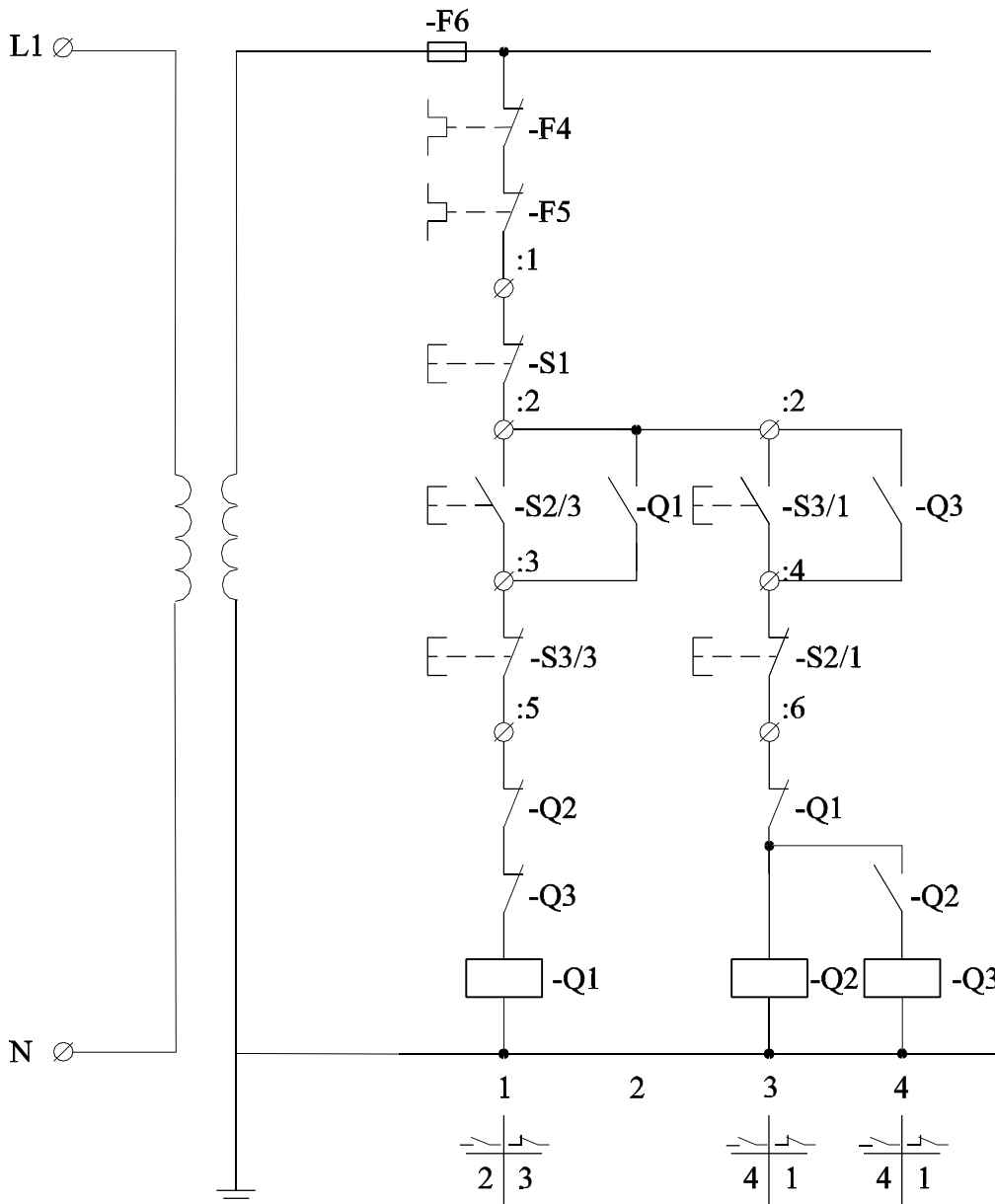
Motoren med dahlandervikling optager ligesom motoren med adskilte viklinger forskellige strømme ved høj og lav hastighed. Derfor er det nødvendigt, at omkobleren forsynes med to termorelæer, der indstilles på hver sin strømværdi, svarende til motorens påstemplede værdier.

Det er endvidere vigtigt, at den strøm, der løber til stjernerelæet Q2, ikke kommer til at løbe gennem termorelæet F4, da denne strøm kan være større end F4's indstillede værdi.

Styrestrømsskema for polomkobling af dahlandermotor

Efterfølgende styrestrømsskema viser styringen af en motor med dahlandervikling.

Der kan skiftes direkte mellem lav og høj samt omvendt uden at påvirke stoptrykket S1.



Hvis det af forskellige årsager er nødvendigt at kunne skifte direkte fra høj til lav hastighed, skal det tages med i risikovurderingen og efterfølgende beregninger, at dette kan give nogle gevaldige indkoblingsstrømspidser, som er ødelæggende for både kontaktorerne og deres omgivelser. Der anbefales 40 millisekunders

adskillelse mellem de to hastigheder til at lade restspændinger klinge af.

Da det er vigtigt, at der laves et stjernepunkt, når motoren kører høj hastighed, er det her sikret, at relæet Q2, som laver stjernepunktet, altid indkobles, før der sættes spænding på motoren i høj hastighed ved hjælp af Q3. Der testes her for, at stjernepunktet ikke udebliver pga. en eventuel afbrændt spole.

Stjerne-trekantstart

I disse tider, hvor næsten 80 % af alle motorer forsynes gennem frekvensomformere eller softstartere må den automatiske stjerne-trekantstarter ikke glemmes.

Startmetoden kan anvendes ved motorer, hvor hver vikling er beregnet for netspændingen mellem to faser.

Idéen er at nedsætte spændingen over hver enkelt vikling med kvadratrod 3 i startperioden og dermed nedsætte startstrømmen tilsvarende.

Tidligere var der i store træk ikke andre metoder til at nedsætte startstrømmen, men i dag er der en bred vifte af muligheder.

Fordele:

- Startstrømmen nedsættes
- Startmomentet nedsættes (fx til ventilatorer med kilerebbe).
- Alle strømme og spændinger er sinusformede med undtagelse af koblingstidspunktet.
- Der er kontrol over utilsigtet overhastighed
- Der kan anvendes almindelige PVC-isolerede kabler og ledninger.

Ulemper:

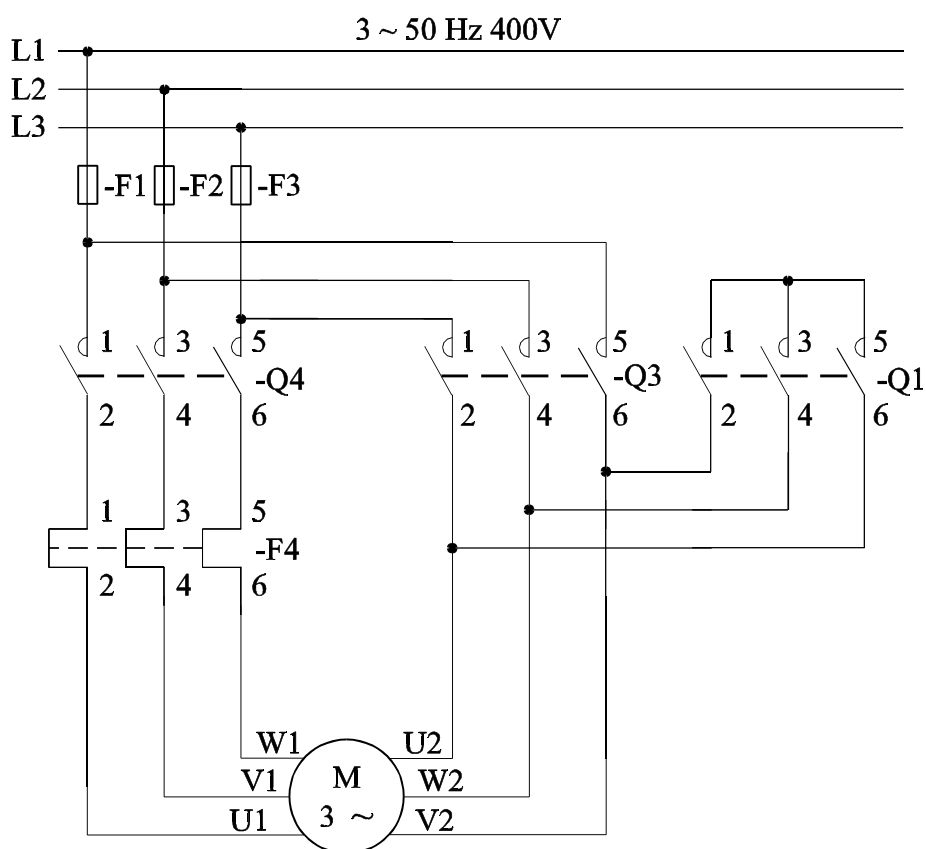
- Manglende moment til maskiner med behov for stort løsrivelsesmoment
- Kobling mellem stjerne og trekant giver støj
- Ingen mulighed for tilsigtet overhastighed
- Hvis maskinen har behov for motorens fulde moment for at nå 100 % hastighed, opstår der et nyt startstrømstød i omkoblingssituationen.

Den automatiske stjerne-trekantigangsætter har altså fordele såvel som ulemper, men det gælder også alle de andre typer af igangsættere. Opgaven lyder altså på at vælge den rette igangsætter til den enkelte opgave.

Hovedstrømsskema

Termorelæet placeres i motorens faseledninger, således at de enkelte bimetaller gennemløbes af fasestrømmene. Dette betyder, at strømmen gennem et bimetal er $\sqrt{3}$ mindre end den netstrøm, der går i tilledningerne til omskifteren.

Den almindelige Y/D-omskifter består af et termorelæ og tre kontaktorer.



Dermed er motoren også delvist beskyttet, hvis styresystemet skulle svigte, og igangsætteren bliver i stjerne - stillingen.

Dette gælder dog ikke i alle situationer.

Hvis motorbelastningen ikke er stor nok i stjerne-stillingen til at udkoble motorværnet, vil motoren fortsætte driften med underspænding på statoren på $\sqrt{3}$. Dette er ikke noget problem for statoren, men for rotoren er det et stort problem. Der vil foregå en meget stor

varmeudvikling i rotorstavene med fare for afbrænding og ikke mindst fare for udtørring af motorens lejer.

Indstilling af termorelæ

Ved skift fra stjerne til trekant er det vigtigt at tage nogle ting i betragtning.

Når stjernekontakten åbner, dannes der ret høje induktioner i viklingerne. Hvis trekantkontakten kobler ind, inden disse spændinger er klinget af, medfører det uforholdsmæssigt slid på kontaktorerne.

Der er behov for en tidsforsinkelse i størrelsesordenen 40 til 80 msek. mellem stjernekontaktorens udkobling og trekantkontaktorens indkobling

En supplerende metode

En supplerende metode er at undersøge, om man har dannet det rigtige vektordiagram ved omkoblingen. Afhængig af omløbsretningen skal motoren indhente 30 grader i vektordiagrammet eller falde 30 grader tilbage i omkoblingstidspunktet.

Ved højreløb passer standardkoblingen, men ved venstreløb skal der ændres på koblingen af trekantkontaktorens hovedstrøm.

Standardkoblingen for højreløb (se skema):

Vikling 1: (U 1 - U 2) L1 og L3

Vikling 2: (V 1 - V 2) L2 og L1

Vikling 3: (W1 - W2) L3 og L2

Kobling for venstreløb:

Vikling 1: (U 1 - U 2) L1 og L2

Vikling 2: (V 1 - V 2) L2 og L3

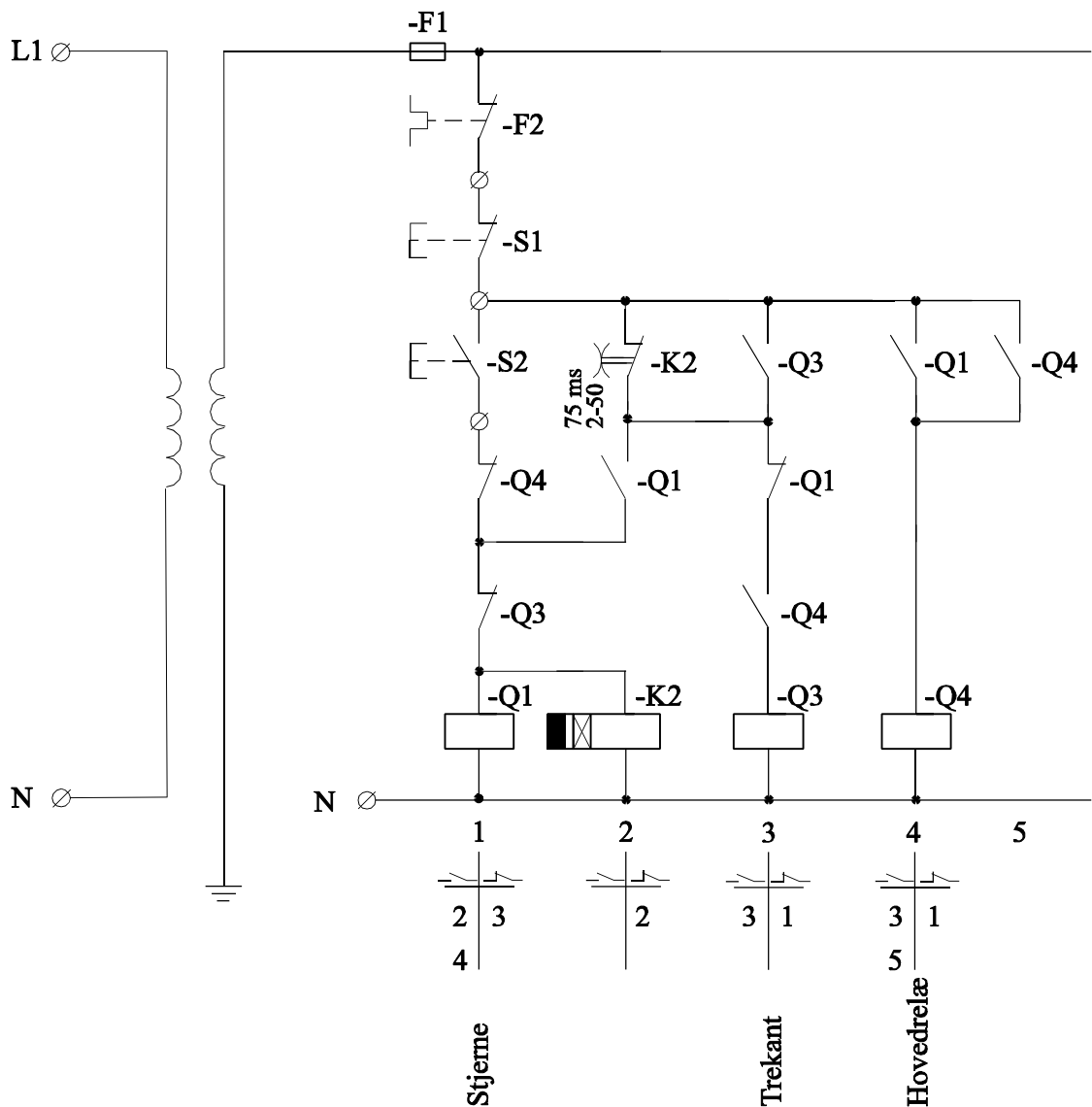
Vikling 3: (W1 - W2) L3 og L1

Drejefeltet i motoren er uændret ved den alternative kobling, men den giver en næsten gnistfri omkobling ved venstre omløbsretning af motoren.

Stjerne-trekantstart af motor

Styrestrømsskemaet viser en trykkontaktstyret automatisk stjerne-trekantomskifter med justerbart tidsrelæ, som styrer, hvor lang tid motoren skal køre i stjerne, inden omskiftningen til trekant sker.

Desuden har tidsrelæet en fast tid på 75 ms, som forsinker omskiftningen fra stjerne til trekant.

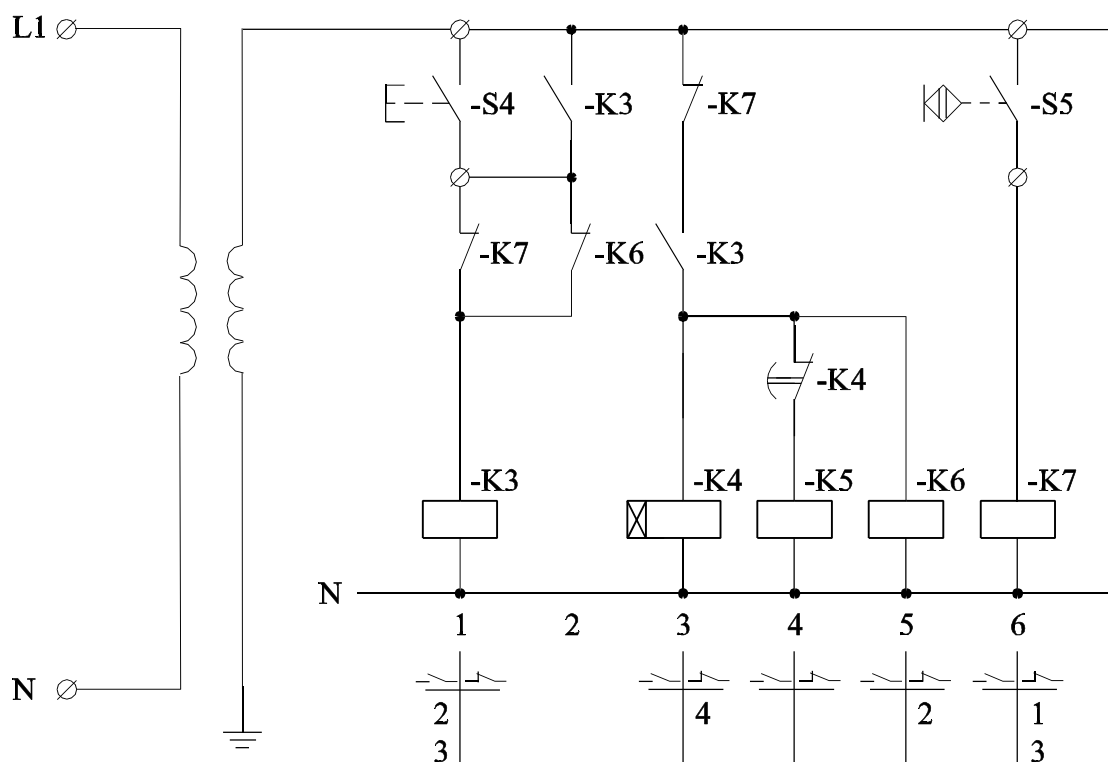


Det viste styrestrømsskema er én af flere måder at løse opgaven på. Afhængig af de valgte komponenter kan der findes simple metoder.

Hasard

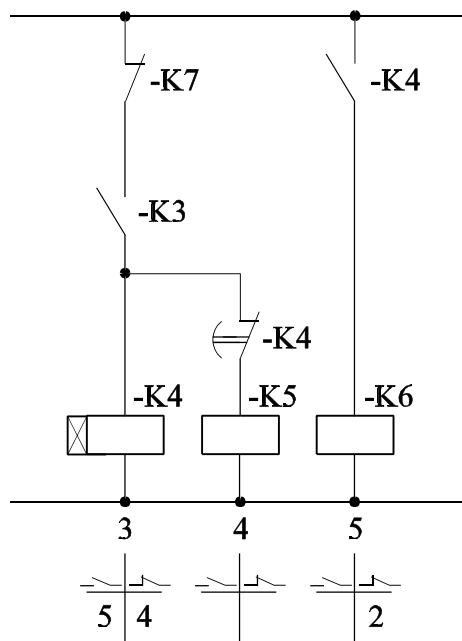
I automatiske anlæg med relæsystemer kan der optræde kapløb, også kaldet hasard, mellem to eller flere kontakter. Kontakterne "konkurrerer" om, hvem der først kan udføre ordre; resultatet kan være, at en tilstand, der ikke var tilsigtet, indtræffer.

Ved opkald fra S4 indkobles via K3 (opkaldsrelæ) en aktivitet K5, K6 i et bestemt tidsinterval, K4. Når S5 (sletning af ordren) påvirkes, vil K7 slette opkaldet og stoppe aktiviteten. Der er imidlertid risiko for, at K6 i strømvej 2 kan genindkoble, inden K7 i strømvej 1 udkobler K3. Denne risiko indtræffer især i styringer, hvor ældre og yngre relæer sammenbygges.



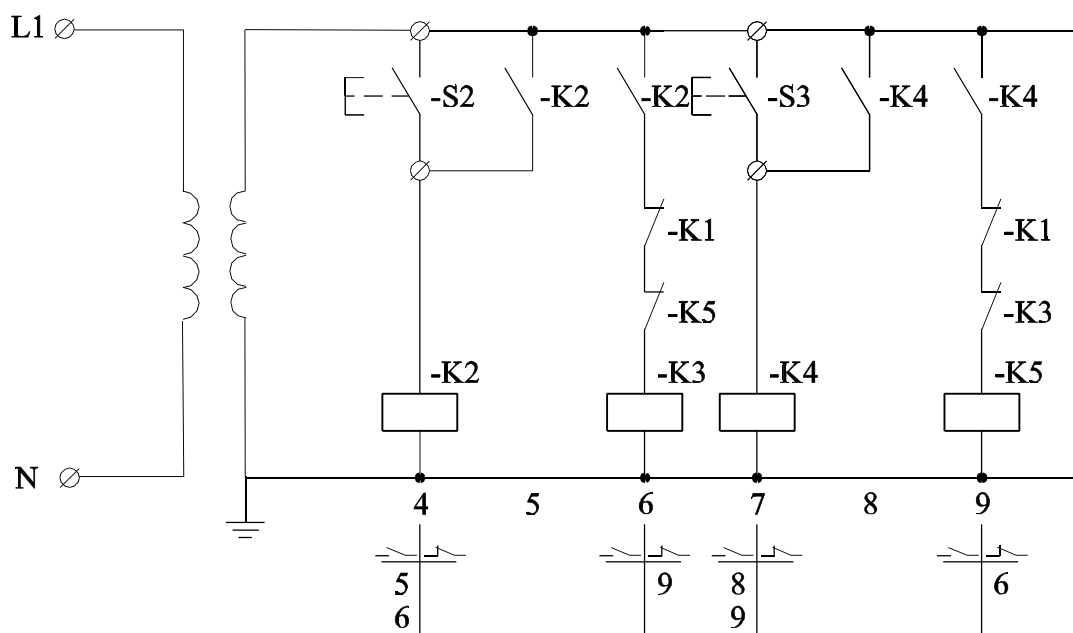
Løsning

Problemet kan løses ved at forsinke udkoblingen af K6 relæet i strømvej 5, fx over en kontakt K4.



Eksempel 2

Her optræder hasardproblemet ved et kredsløb med gensidig spærring.



Et relæ K1 er indkoblet (dette relæ sidder et andet sted i styringen, dette er blot en del af en styring). Herefter foretages der opkald fra S2 og derefter fra S3. Når K1 relæet udkobler, vil der kunne optræde kapløb mellem K3 og K5, der spærrer gensidigt for hinanden. Dette kan få til følge, at relæerne ødelægges.

Solid State Relays

Solid State Relays forkortes SSR. Udtrykket kan oversættes til fast tilstands relæ eller fast stillings relæ.

Med andre ord; **Solid state** betyder, at der ikke er nogen bevægelige dele i relæet. Ordet relay betyder blot, at et SSR kan erstatte vores almindelige elektromekaniske relæ.

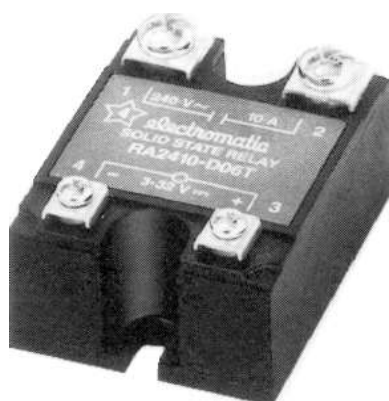
Hvis relæet har en plads i det sikkerhedsrelaterede styresystem (fx udgang til en bevægelig del), er der en lang række krav i standarderne for sikkerhedsrelaterede styresystemer, som skal tilfredsstilles.

I dette afsnit vil solid state relays blive benævnt SSR og elektromekaniske relæer benævnes EMR.

SSR findes i mange forskellige størrelser og har mange forskellige anvendelsesmuligheder. De findes i størrelser fra nogle få milliampere til flere hundrede ampere. De mindste fås i form af 8-bens IC-er, hvor kun de fire ben er benyttet til printmontage. De største til montage på køleplader med skruer til ledningsmontage. Der findes SSR til både AC og DC, til AC findes de i en-faset og tre-faset udførelse.

Et typisk SSR har fire klemmer; 2 klemmer til input (indgang) og 2 klemmer til output (udgang).

Det vil så være muligt, ved at lægge en DC-spænding på mellem 3 til 32 volt DC på indgangsklemmerne, at få udgangen gjort aktiv (ledende/sluttet). Ved at fjerne spændingen fra indgangen igen kan man få udgangen gjort ikke aktiv (ikke ledende/ikke sluttet). Det betyder at man ved hjælp af en lille DC-spænding kan tænde/slukke for en stor AC-strøm. Der findes også SSR,

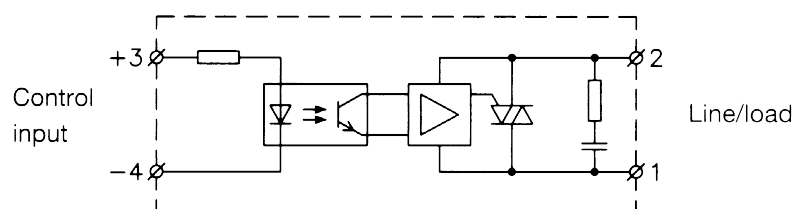


der kan styre med en AC-spænding på indgangen samt SSR, der kan tænde/slukke for store DC-strømme.

SSR kan altså anvendes, hvor man har en lille spænding som styresignal, anvendes i forbindelse med elektroniske styringer, PC-styringer og PLC/PPC-styringer samt andre steder, hvor man har brug for hurtige og kontrollerede koblinger.

Virkemåde for SSR

For at forstå virkemåden af en SSR kan man med fordel kigge på et principdiagram for en SSR.



Diagrammet viser relæets fire klemmer, to input-klemmer og to output-klemmer, og hvad der kan være inde i et SSR.

Et SSR skal tænkes opdelt i tre dele; en input-del, en forstærker/styredel og en output-del.

Input-delen kan være, som vist her, en optokobler, der sikrer den galvaniske adskillelse med output. Der kan også benyttes reed-kontakt frem for optokobler. Sidstnævnte kan også være udvidet med polaritets- og over-spændingsbeskyttelse.

Typiske data for input:

Spændingsområde: 3 til 32 volt DC

Mindste spænding for aktivering: 3 volt

Spænding for deaktivering: 1 volt

Maks. modsat spænding 32 volt DC

Input impedans: 1,5 k Ω

Maks. aktiveringstid: 10 msek.

Forstærker/styredelen har til opgave at bestemme, hvornår det rigtige signal kommer ind, og ud fra dette

RELÆTEKNIK

at bestemme, hvornår output skal aktiveres. Denne del vil være forskellig for de forskellige typer af SSR.

Output-delen består her af en triac og et RC-led. Triac'en har til opgave at være ledende eller ikke ledende, afhængig af signalet fra forstærker/styredelen. RC-ledet har til opgave at dæmpe transienter fra effektsiden. Output-delen kan være forskellig, afhængigt af typen af SSR. Output-delen vil typisk være en triac, thyristor eller en transistor med eller uden transientdæmpningsled i forskellige koblinger, afhængig af konstruktørens anvendelsesforslag.

Typiske data for output:

Maks strøm: 25 A AC

Minimum strøm: 20 mA

Maks spidsstrøm i 1 sek: 50 A

Maks spidsstrøm i 20 msek: 200 A

Lækstrøm: mindre end 5 mA

Maks I^2t : mindre end 200 A²sek

Kritisk dI/dt : større end 10A/ μ sek

Spændingsfald ved on: mindre end 1,6 volt

Kritisk dV/dt commutation: større end

10 volt/ μ sek

Kritisk dV/dt off-state: større end 250 volt/ μ sek