



Universitetet
i Stavanger

Det teknisk-
naturvitenskapelige fakultet

Stavanger, 8. oktober 2026

ELE310 Styringsteknikk, våren 2027.

Innhold

1.1	Generelt	2
1.2	Forventa forhåndskunnskap	2
1.3	Undervisningsplan	3
1.4	Oversikt over undervisning	4
1.5	Pensum og Eksamen	4
1.6	Grunnleggende elektroteknikk.	5
1.7	Trefasesystemer	9
1.8	UiS Laboratorium	12

Første undervisningsuke

Vi starter med litt informasjon om faget for våren 2027. Så undervises det litt generelt og grunnleggende om strøm og spenning og litt spesielt om trefasesystemet.

1.1 Generelt

- Faglærer: [Karl Skretting ↗](#), Institutt for data- og elektroteknologi (IDE), Rom E438. Faglærer er ofte tilgjengelig for spørsmål på kontoret fra 08.00 til 16.00 alle dager.
Laboratorium: Didrik Efjestad Fjereide, studentassistenter.
- Dette dokumentet er tilgjengelig fra *Canvas* “Plan for undervisning”-dokumentet. *Canvas* brukes også for innlevering og godkjenning av øvinger. Mer generell informasjon er på UiS nettsider om [Automatisering og elektronikkdesign, bachelor ↗](#), og om ELE310 på [Emnebeskrivelse-side ↗](#).
- Faget er på 10 studiepoeng. Estimert tidsforbruk er 13 uker à 14 timer (4 timer forelesning, 10 timer for- og etterarbeid, øvinger og lab) som gir 182 timer, pluss en del timer i forbindelse med eksamen. ECTS (European Credit Transfer System) sier at et studiepoeng bør tilsvare 27-30 timer. 13 uker er kort tid, så det blir hektisk den tiden det står på.
- På nettsidene står det “10 laboratoriumoppgaver, 7 av 10 må være godkjent.” Sannsynligvis blir det 8 øvinger på laboratoriet i høst. Kanskje 7 av 8 må være godkjent. På labben er det flere stasjoner med Omron PLS. Vi bruker nå Sysmac Studio til programmering. Det blir med studentassistent på i hvert fall noen av laboratorieoppgavene.
Det er flere mulige tider å gjøre lab på. Se info fra lab-personale på *Canvas*. Hver labgruppe har **en 3-timers bolk i uka**. Påmelding til lab på *Canvas*, velg Personer og så Prosjektgrupper. Laboratorieoppgavene gjennomføres og leveres i grupper.
- For (teori- og) regneoppgaver er det i utgangspunktet satt opp 6 regneoppgaver (teorioppgaver) der 4 av 6 må være godkjent for eksamen. Følg med i *Canvas*. Innlevering og godkjenning av oppgaver gjøres i *Canvas*. Teorioppgaver løses og leveres individuelt.

1.2 Forventa forhåndskunnskap

- Grunnleggende norsk, og litt engelsk
- Grunnleggende matematikk (egentlig ganske lite)
- Grunnleggende datakunnskaper og programmering
- Grunnleggende elektroteknikk

1.3 Undervisningsplan

Tidspunkt: Se gjerne Timeplan-program: [kanskje her ↗](#). Merk at endringer kan forekomme. Laboratorium blir fordelt utover i tretimersbolker i rom E-459, se *Canvas*. Hver bolk har plass for inntil 14 studenter fordelt over 7 grupper (hver med to studenter).

Materiell, lærebok: I år bruker vi Dag Håkon Hanssens lærebok på Fagbokforlaget: Programmerbare logiske styringer, 4. utgave, [lenke her ↗](#). Boka skal være tilgjengelig i bokhandelen.

Kompendier og vedlegg: I *Canvas* under modulen “Hjem - Dokumentasjon” er det ei liste med ulike dokumenter eller lenker der mye er aktuelt både som referanser og oppslag, og noe vil også bli pensum. Se *Canvas*.

Sysmac Studio: For øvinger og lab vil Sysmac Studio fra Omron bli brukt. Sysmac Studio ble introdusert i 2011 og er nå en moden produktpakke med mye innhold. Se [Sysmac Studio Software ↗](#). Det anbefales at hver student installerer Sysmac Studio på sin bærbare Windows-PC. Hvordan dette skal gjøres er beskrevet i et pdf-dokument under modulen “Hjem - Laboppgaver” i *Canvas*.

Omfattende dokumentasjon om Sysmac Studio finnes på Omrons nettsider, se [Sysmac Studio ↗](#). Et godt dokument å starte med er P122 Machine Automation Controller NX1P: Practices Guide for NX1P Programming. Det er på litt over 100 sider og oversiktlig og greit. Dette dokumentet får du kanskje tilgang til på en av lenkene nedenfor

- [P122 lenke hos omron-ap.co.nz ↗](#), eller
- [P122 hos manualslib ↗](#)

Det har vært noen problemer med disse lenkene. Det kan være at lenker er foreldet eller krever en registrert bruker for å gi tilgang. Studenter i faget har tilgang til noe dokumentasjon fra *Canvas*. Se *Canvas* under punktet Dokumentasjon”. Men det meste som trengs er tilgjengelig direkte fra Sysmac Studio programmet. Uansett, dokument P122 gir en kort og generell beskrivelse av Omron PLS og hvordan Sysmac Studio kan brukes til å programmere Omron PLS generelt (og NX1P spesielt). Merk at NX brukes for HW, CX er SW (som ble brukt før og nå er erstattet av Sysmac Studio). Ellers finnes noe av Omrons dokumentasjon i dokumenter med kode W501, W502, W504 (Operation Manual), W522, W578, V118 og ovenfornevnte P122.

I tillegg har Omron, og noen andre bedrifter og organisasjoner, lagt ut ganske omfattende opplæringsvideoer på nettet, søk gjerne på YouTube med søkeord “Sysmac Studio tutorial”, [som her ↗](#). Jeg anbefaler Omrons 4 leksjoner, delene (eng: session) 1 til 4, hver på ca. en og en halv time. Jeg har riktignok ikke sett alt selv, men det jeg har sett ser bra ut.

1.4 Oversikt over undervisning

Se *Canvas* “Plan for undervisning”-dokument for forelesninger, som bør finnes under Moduler eller under Hjem (etter noen kunngjøringer). Laboratorium-oppgaver og teorioppgaver er/blir lagt ut i *Canvas* under Oppgaver, her er også innleveringsfrister og retningslinjer for laboratorium. Ellers gjelder det som står i ELE310 [Emnebeskrivelse-side ↗](#). Det blir sannsynligvis lagt ut færre laboppgaver totalt, men fortsatt 7 som må bli gjort. Didrik vil eventuelt presisere dette.

1.5 Pensum og Eksamen

Foreløpig pensumliste er nedenfor. Endelig pensumliste blir klar senere i høst.

- Fra læreboka: kapittel 1-9, 11, 13.
- Forelesningene, teorioppgaver og laboratoriumoppgaver.
Det er planlagt 13 *forelesningsuker*. Notatene er i dokumenter nummerert fra [uke01.pdf ↗](#) til [uke13.pdf ↗](#). Disse gjøres i *kalenderukene* 2 til 15, unntatt uka før påske, uke 11 i 2027.
For teorioppgaver og laboratoriumoppgaver se *Canvas*.
- Tre-fasesystemer dekkes av kap 4 (side 85 til 103) i A. Julshamn kompendium fra 2002 som finnes i *Canvas* under modul Hjem - Dokumentasjon. Tre-faseanlegg og distribusjonsnett dekkes gjerne greit av din favorittbok om “Elektriske anlegg” fra videregående skole (elektriker), for eksempel av Svein Johnsen (2008) eller Halvor Glenne (1995), sistnevnte er tilgjengelig fra [Nasjonalbiblioteket sine nettsider ↗](#).
- Notater (eksterne dokumenter) om skjemateknikk og motorer, både asynkronmotor og stegmotorer. For skjemateknikk er det mye bakgrunnsstoff (se *Canvas*, og del 2.2 i [uke02.pdf ↗](#)), men vi tar bare med side 12-17 fra *Relstyringer* av Rolf Alvestad 1993 ElForlaget som pensum, denne finnes på [Nasjonalbiblioteket sine nettsider](#).

For elektriske motorer er en del bakgrunnsstoff og pensumstoff forklart i [uke09.pdf ↗](#). Pensum er en artikkel i [Wikipedia \(no\) ↗](#) del 5.2 og del 5.3, og for stegmotor er pensum kapittel 4.1-9 fra boka ”Creating Precision Robots : A Project-Based Approach to the Study of Mechatronics and Robotics” av Nickols, Francis, and Yueh Jaw Lin, utgitt av Elsevier Science & Technology, 2018, som er tilgjengelig fra *Canvas*.

Generell informasjon om **eksamen** er tilgjengelig på [UiS sine nettsider ↗](#).
Fra [UiS fagbeskrivelse ELE310 side ↗](#) kan du lese at det er skriftlig eksamen på 4 timer og at det gis bokstavkarakterer. Det er ikke tillatt med trykte eller

håndskrevne hjelpemidler. Godkjent, enkel kalkulator tillatt. Forelesningen i nest siste uke har et vedlegg som er med i eksamensoppgavene. Noen tidligere eksamensoppgaver er på *Canvas*.

1.6 Grunnleggende elektroteknikk.

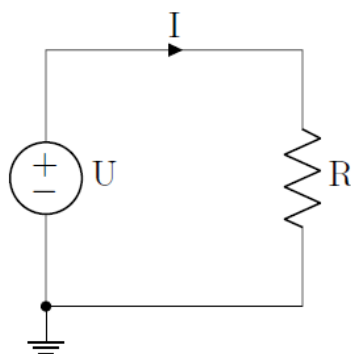
Dette kapittelet er kort oppsummering av noe fra fag om grunnleggende elektroteknikk, ELE100 og ELE200. Det bør være kjent stoff for mange av dere.

Kirchoff's lov.

For en elektrisk komponent er det en sammenheng mellom spenningen over komponenten og strømmen gjennom komponenten. Når komponenter kobles sammen i en elektrisk krets, kan en bruke *elektrisk kretsanalyse* som ved hjelp av komponentenes egenskaper og hvordan de er koblet sammen finner strømmene gjennom alle komponentene og spenningene over dem. **Kirchoff's lover** sier at summen av strømmer inn og ut ved et knutepunkt blir null, og at summen av spenninger over alle komponenter i ei lukka sløyfe blir null.

Statisk krets

I en statisk krets endres ikke egenskaper, geometri, strøm og spenning, innenfor det tidsrom som betraktes. Beregninger i en elektrisk krets er enklest når kretsens geometri ikke er for komplisert og når komponentene er *lineære* og *ideelle*. Virkelige komponenter er ofte ikke dette, men kan i mange tilfeller, innenfor normalt arbeidsområde, tilnærmes med ideelle komponenter. Nedenfor er en helt enkel elektrisk krets med ei likestrøms spenningskilde og en motstand.



Et vanlig bilbatteri kan modelleres som ei ideell spenningskilde på 12 V [Volt] eller noe bedre med ei ideell spenningskilde på 12 V og en (indre) motstand koblet i serie. En glødetråd, som i ei lyspære, er nær en ideell motstand. Strømmen i en (ideell) krets som over er gitt av Ohms lov

$$U = RI \quad \rightarrow \quad I = U/R. \quad (1)$$

Har en et bilbatteri på 12 V og ei lyspære med motstand på $6\ \Omega$ [Ohm] gir det en strøm på 2 A [Ampere]. Effekten, (elektrisk) arbeid utført per tidsenhet [sekund], er gitt som

$$P = UI, \quad (2)$$

her blir det da 24 W [Watt]. Ved å bruke Kirchoff's lover og de to ligningene ovenfor kan en elektrisk krets bestående av faste og lineære og ideelle spenningskilder (eller strømkilder) og motstandere analyseres. En får da et lineært reelt ligningssystem som (enkelt) kan løses, og en kan finne strøm og spenning, og dermed også effekt, for hver komponent.

Dynamisk krets

I prinsippet er strøm og spenning dynamiske, det vil si at de er funksjoner av tid. Komponentenes egenskaper og kretsens geometri er oftest statiske, det vil si at de er faste. Men det er noen viktige unntak for blant annet brytere og transistorer. En bryter kan gå fra å være en perfekt leder når den står på til å være en uendelig motstand når den slås av. Et viktig dynamisk element i en krets er at den inneholder tidsvarierende spenningskilder eller strømkilder eller blir påtrykt (utsatt for) slike mellom to koblinger. En har da at spenningskilden er en funksjon av tiden $U = u(t)$. I prinsippet kan en løse dette for hvert tidspunkt, og for den enkle kretsen over får en $i(t) = u(t)/R$. I praksis blir det imidlertid ofte mer komplisert.

I tillegg til motstander finnes to andre *ideelle* typer elektriske komponenter, kondensatorer og spoler. Virkelige komponenter kan ofte modelleres med en kombinasjon av flere ideelle komponenter, en kveil ledning er da gjerne en spole og en motstand i seriekobling. Kondensatorer og spoler virker ved at de lagrer energi i et elektrisk felt (kondensatorer) eller i et magnetisk felt (spoler) og at denne energien kan tilbakeføres til kretsen på et senere tidspunkt.

En kondensator “ønsker” å holde konstant spenning (over seg selv, altså komponenten) og når spenningen endres, så går det en strøm gjennom kondensatoren. Denne strømmen avhenger av komponentens kapasitans C (enhet F [Farad], μF [mikroFarad]) og farten spenningen endres med:

$$i(t) = C \frac{d}{dt} u(t). \quad (3)$$

En spole “ønsker” å holde konstant strøm (over seg selv, altså komponenten) og når strømmen endres, så genereres ei spenning over spolen. Denne spenningen avhenger av komponentens induktans L (enhet H [Henry], μH [mikroHenry]) og farten strømmen endres med:

$$u(t) = L \frac{d}{dt} i(t). \quad (4)$$

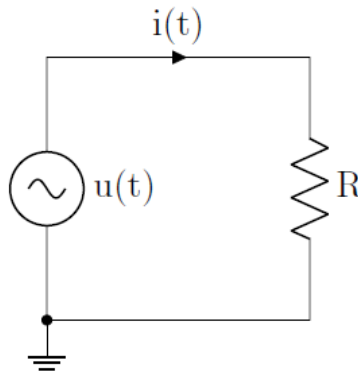
Energien (enhet J [Joule]) lagra i en kondensator og en spole er henholdsvis

$$w(t) = \frac{1}{2} C u^2(t), \quad w(t) = \frac{1}{2} L i^2(t). \quad (5)$$

En elektrisk krets med tidsvarierende spenningskilder (og strømkilder) og ideelle lineære komponenter i form av motstandere, kondensatorer og spoler kan analyseres ved hjelp av Kirchoffs lover. Disse gir et sett med lineære differensialligninger som ofte kan løses matematisk, i hvert fall for rimelig enkel geometri og veldefinerte (enkle) funksjoner for tidsvarierende spenningskilder og strømkilder. Numerisk løsning av et system med lineære differensialligninger er alltid mulig.

Vekselspenning

Et noe enklere analyseproblem får en hvis alle tidsvarierende spenningskilder og strømkilder er sinusfunksjoner, noe de ofte er. En vanlig spenningskilde er 230 V 50 Hz vekselspenning¹, slik som en får fra en vanlig stikkontakt. Da er $u(t) = 325 \cos(314 t)$ (forklaring noen avsnitt fram).



For vekselspenning og vekselstrøm oppgis gjerne verdien som effektiv (RMS, root-mean-square) spenning eller strøm. Det forholder seg til amplituden eller maksimalverdi U_m som

$$U = U_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_m \quad \text{og} \quad I = I_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m. \quad (6)$$

For standard vekselspenning har en da $u(t) = U_m \cos(\omega t) = 325 \cos(314t)$ [V], fordi $\omega = 2\pi f$ med $f = 50$ [Hz] og $U_m = \sqrt{2}U$ med $U = 230$ [V]. For momentan effekt har en

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m \cos(\omega t) I_m \cos(\omega t - \phi), \quad (7)$$

¹Spenning kan variere en del, med god forsyning er den gjerne i området 220-240 V. Frekvensen er mye mer stabil. Avvik er sjelden større enn 0.1 Hz.

der ϕ er faseforskjellen mellom strøm og spenning, med “skjev” last vil det ofte være en faseforskjell $\phi \neq 0$. Integreres dette opp over en hel periode får en at gjennomsnittlig effekt er

$$P = 0.5 U_m I_m \cos(\phi) = U_{rms} I_{rms} \cos(\phi) = UI \cos(\phi), \quad (8)$$

der $\cos(\phi)$ kalles effektfaktoren. Tilsynelatende effekt er $S = U_{rms} I_{rms}$, og reaktiv effekt er $Q = U_{rms} I_{rms} \sin(\phi)$. Sammenhengen mellom disse er gitt av sammenhengen mellom sinus og cosinus $P^2 + Q^2 = S^2$. Se gjerne Store norske leksikon: [effekttrekant](#) ↗ og [effektfaktor](#) ↗.

Anta at en i kretsen over har spenning fra en standard stikkontakt $U = 230$ V og last er ei gammaldags glødelampe med effekt $P = 20$ W får en faseforskjell 0 og effektfaktor 1. Da blir strøm $I = P/U = 0.087$ A, og motstand i glødelampe er $R = U/I = 2645 \Omega$.

For vekselspenning kan kretsanalyse gjøres ved å sette opp et system av lineære ligninger med komplekse koeffisienter og komplekse verdier for strøm og spenning, der absoluttverdien er amplitude og vinkelen i det komplekse planet er fase. For et sinus-signal er frekvensen $f = 1/T$ (enhet Hz [Hertz]) der T er tiden for en periode. Vinkelhastigheten er $\omega = 2\pi f$. Motstanden R er fortsatt reell. Impedans (kompleks kapasitans) for en kondensator og impedans (kompleks induktans) for en spole er da komplekse verdier, henholdsvis

$$Z_L = j\omega L, \quad Z_C = \frac{1}{j\omega C} = -j\frac{1}{\omega C} \quad \text{der} \quad j = \sqrt{-1}. \quad (9)$$

Ligningssystemet blir komplekst. Matematisk er det (nesten) like enkelt å løse et komplekst lineært ligningssystem som et lineært og reelt ligningssystem, selv om det er vanskeligere å forstå.

Magnetiske felt

Utenom kondensatorer og spoler er det et annet viktig forhold som kompliserer analysen av dynamiske elektriske kretser. Det er magnetiske felt og vekselvirkning mellom tidsvarierende elektriske og magnetiske felt. Elektriske og magnetiske kretser som er nær hverandre utveksler energi imellom seg.

En strøm, elektrisk ladning i bevegelse, gir et magnetisk felt, og en elektrisk ladning som beveger seg i et magnetisk felt opplever en fysisk kraft. En har også at *spenning blir induert* i en elektrisk krets som beveger seg i et magnetisk felt, eller, mer vanlig, at den elektriske kretsen utsettes for et varierende magnetisk felt. Denne vekselvirkningen kan utnyttes maksimalt i noen elektriske kretser drevet av vekselspenning, slik som transformatorer og elektriske motorer. Kretsen har da spoler omkring jernkjerner for å styre (lede) det tilhørende magnetfeltet og redusere magnetisk motstand *reluktans* i den [magnetiske kretsen](#) ↗. Vi kommer tilbake til dette når vi lærer om elektriske motorer, [uke09.pdf](#) ↗.

1.7 Trefasesystemer

Fra Store norske leksikon klipper jeg om [trefase vekselstrøm ↗](#). Trefase er vekselstrøm tilført gjennom tre eller fire ledninger hvor spenningene varierer med samme frekvens og amplitude, men er faseforskjøvet 120° i forhold til hverandre. Systemet er praktisk talt enerådende for produksjon og forsyning av elektrisk energi på grunn av tekniske og økonomiske fordeler.

Dette kapittelet gir en like kort og overfladisk beskrivelse av trefasevekselstrøm som det foregående kapittelet gir av grunnleggende elektroteknikk. Mange vil ønske “mer kjøtt på beina” og mer komplett beskrivelse, og det er derfor med noen lenker til mer utfyllende forklaringer noen steder i avsnittene nedenfor. Generelt gir kapittel 4 (side 85 til 103) i kompendiet fra 2002 (av Alf Julshamn) en grei oversikt over trefase. De tre første kapitlene dekker grunnleggende elektroteknikk noe grundigere enn det foregående kapittelet her. Kompendiet finnes i *Canvas* under modulen Hjem - Dokumentasjon.

Generering og distribusjon av trefase

Trefase vekselstrøm produseres i kraftverk av store generatorer, se gjerne [Wikipedia \(no\) ↗](#) der historikk, generelle prinsipper og flere ulike typer generatorer presenteres. Mest interessant for oss er avsnittet om vekselstrømsgeneratoren. Trefasespenningen transformeres opp til høye spenninger og fordeles utover i landet der spenningen igjen transformeres ned og leveres til privatforbrukere og bedrifter som 230 V trefase eller 400 V trefase. Bedrifter med høyt kraftforbruk kan få levert elkraft med høyere spenning eller ha helt egne løsninger som mange smelteverk har. Her bryr vi oss ikke om produksjon og distribusjon, men går til trefasestrøm slik den kommer inn til de fleste boliger og bedrifter.

Strømmen kan bli levert til forbruker gjennom ulike [nettsystem ↗](#). I Norge har [IT-nett ↗](#) (230 V) vært mest brukt men [TN-nett ↗](#) (400 V) har også blitt brukt og det er det som helst brukes i nye nettsystemer. For begge typer er frekvensen 50 Hz. I et TN-nett har en trefase-, nøytral- og jordleder som alle har faste forkortelser:

- L1 = Faseleder 1. Fargekode: Sort
- L2 = Faseleder 2. Fargekode: Brun
- L3 = Faseleder 3. Fargekode: Grå eller hvit
- N = Nøytralleder, også kalt nullleder. Fargekode: Blå
- PE = Jordleder (Protective Earth), også kalt beskyttelsesleder. Fargekode: Gul og grønn

Det er spenningen mellom to faseledere (L1 og L2, L1 og L3, og L2 og L3) som kalles linjespenning eller *hovedspenning* U og den er normalt 400 V, men

kan også være 230 V. Merk at det er effektiv spenning (U_{rms}) som oppgis, og amplitude U_m er dermed hele 565 V når hovedspenningen er 400 V.

Fasespenning U_f er spenningen fra en fase til felles nullpunkt. Sammenhengen mellom hovedspenning U og fasespenning U_f er

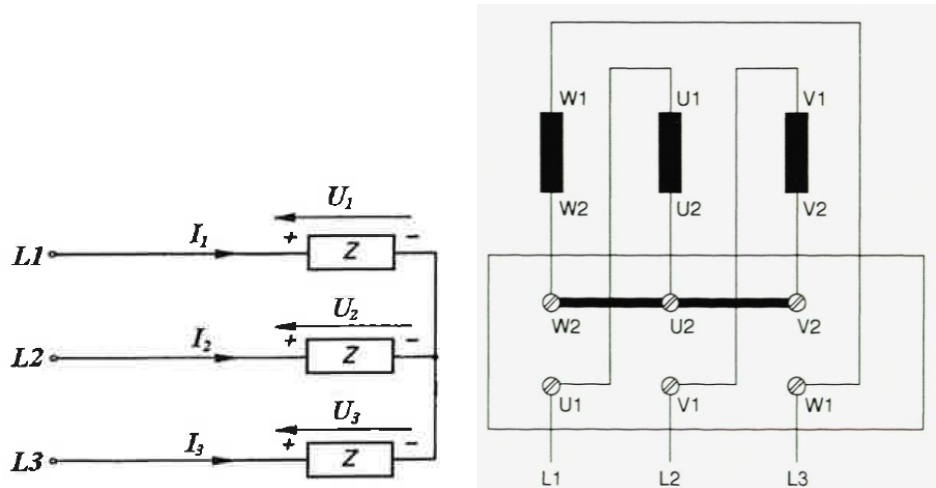
$$U = \sqrt{3} U_f. \quad (10)$$

Ut til vanlige stikkontakter er det fasespenning som brukes for anlegg med 400 V hovedspenning, og de to ledningene er da N og Lx (x = 1, 2, eller 3). I jordede stikkontakter er også PE med. En kan merke seg at for hovedspenning på 400 V blir fasespenningen 230 V, slik vi ønsker i en stikkontakt.

Stjernekobling (Y) og trekantkobling (D) av symmetrisk last

For et trefasesystem kobles tre laster til fasene i systemet. Ei last er en (eller flere) elektriske komponenter mellom to tilknytningspunkter. Hvis disse tre lastene er like, altså har samme impedans Z , sier man at en har symmetrisk last. Da er også de tre fasestrømmene like store og faseforskjøvet 120° i forhold til hverandre. De tre lastene kan kobles til fasene på to ulike måter.

For **stjernekobling** eller Y-kobling, se figur 1, har en at et punkt for hver last kobles sammen (som senteret i Y-en) og den andre enden for hver last kobles til hver av de tre fasene.



Figur 1: Stjernekobling eller Y-kobling av generell last til venstre. Til høyre, slik det gjerne er for en motor med klemmer for koblingsboks. I begge tilfellene er det symmetrisk last, det vil si at lasten for hver av fasene er lik.

Den generelle symmetriske stjernekoblingen vises i venstre del av figur 1. Her får senterpunktet (til høyre) null spenning (nullpunkt), og spenningen over hver last bli $U_1 = U_2 = U_3 = U_f = (1/\sqrt{3}) U$ der U er hovedspenning.

Strømmen i hver av fasene blir $I_1 = I_2 = I_3 = I = U_f/Z$.

Aktiv effekt for en fase blir $P_f = U_f \cdot I \cdot \cos(\phi) = (U^2/3Z) \cdot \cos(\phi)$.

Reaktiv effekt for en fase blir $Q_f = U_f \cdot I \cdot \sin(\phi) = (U^2/3Z) \cdot \sin(\phi)$.

Tilsynelatende effekt blir $S_f = U_f I = U_f^2/Z = U^2/3Z$.

Her er ϕ faseforskjellen mellom strøm og spenning som for vekselstrøm generelt.

Siden det er tre faser, blir trefaseeffekten tre ganger så stor:

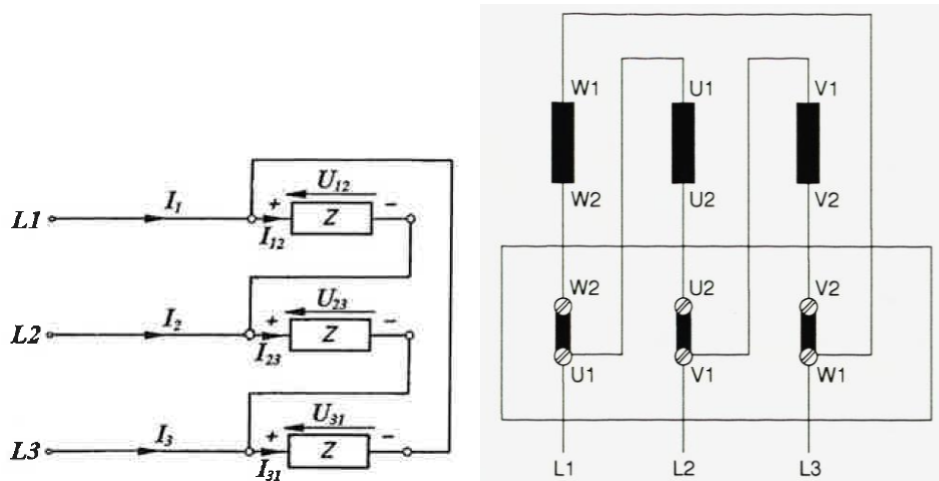
$$P = 3 U_f I \cos(\phi) = \sqrt{3} U I \cos(\phi),$$

$$Q = 3 U_f I \sin(\phi) = \sqrt{3} U I \sin(\phi) \text{ og}$$

$$S = 3 U_f I = \sqrt{3} U I.$$

Det er verdt å merke seg at trefaseeffekten er konstant og uavhengig av tiden i motsetning til slik det er for enfase vekselspenning.

For **trekantkobling** eller D-kobling, se figur 2, har en at hver last kobles mellom to faser. I venstre del av figuren ser en at øverste last er koblet mellom L1 og L2 og har spenning $U_{12} = U$, midterste last er koblet mellom L2 og L3 og har spenning $U_{23} = U$, og nederste last er koblet mellom L3 og L1 og har spenning $U_{31} = U$.



Figur 2: Trekantkobling eller D-kobling av generell last til venstre. Til høyre slik det gjerne er for en motor med klemmer for koblingsboks. I begge tilfellene er det symmetrisk last, det vil si at lasten for hver av fasene er lik.

Den generelle symmetriske trekantkoblingen vises i venstre del av figur 2. Her blir spenningen over hver last lik hovedspenningen $U = U_{12} = U_{23} = U_{31}$.

Strømmen i hver av fasene blir $I_{12} = I_{23} = I_{31} = I_f = U/Z$.

Aktiv effekt for en fase blir $P_f = U \cdot I_f \cdot \cos(\phi) = (U^2/Z) \cdot \cos(\phi)$.

Reaktiv effekt for en fase blir $Q_f = U \cdot I_f \cdot \sin(\phi) = (U^2/Z) \cdot \sin(\phi)$.

Tilsynelatende effekt blir $S_f = U I_f = U^2/Z$.

Nedenfor bruker vi at linjestrømmene $I_1 = I_2 = I_3 = I = \sqrt{3} I_f$ og trefaseeffekten blir:

$$\begin{aligned}
P &= 3 U I_f \cos(\phi) = \sqrt{3} U I \cos(\phi), \\
Q &= 3 U_f I \sin(\phi) = \sqrt{3} U I \sin(\phi) \text{ og} \\
S &= 3 U_f I = \sqrt{3} U I.
\end{aligned}$$

Også her er trefaseeffekten konstant og uavhengig av tiden, i motsetning til slik det er for enfase vekselspanning.

Merk at for både stjernekobling og trekantkobling blir trefase-effekten

$$P = \sqrt{3} U I \cos(\phi), \quad (11)$$

der U er hovedspenning og I er linjestrøm og ϕ faseforskjellen mellom strøm og spenning, det er her det samme som lastens fasevinkel (vinkel for den komplekse verdien til lastens impedans Z).

1.8 UiS Laboratorium

På UiS laboratorium er både 230 V og 400 V trefasespenning tilgjengelig. For eksempel ser en at over vinduene på rom E458 (Molaugstova) er det røde kontakter for 400 VAC og blå kontakter for 230 VAC. For PLS-lab er det **230 VAC** som brukes. Trefase nettuttak finnes på el-kanalen på lab-benken.

Dokumentasjon om **UiS kontaktorpanel** på laboratorium er i

UiS Kontaktorpanel bruksanvisning [working].pdf.

Dette dokumentet er også tilgjengelig fra *Canvas* laboratoriumoppgave 1 “Motorstyring uten PLS”. Det er en oversikt i figur 3 på side 4. Dokumentasjonen må leses og forsøkes forstått før dere kommer på laboratoriet.

Hovedspenningen på 230 VAC fra arbeidsbenken skal kobles til L1, L2 og L3 til høyre på brettet (blå bøsninger/kontaktpunkt). Alle kontaktorer, tidsreléer og lamper montert på kontaktorpanelet (røde bøsninger/kontaktpunkt) har drivspenning på 230 VAC som vist i figur 5 side 9 i bruksanvisningen.

Kontaktorpanelet kan brukes på to ulike måter (venderen til høyre på panelet). Enten direkte med manuell betjening, som vist på side 6, da er terminalblokken til inngangssignaler frakoblet og det røde lokket (dummy terminalblokk) skal stå over inngangskortet på PLS-rekken. PLS-rekken er øverst til venstre på kontaktorpanelet. Den kan ha kommunikasjon til PLS (på UiS PLS panel) via EtherCAT, se utstyrsliste side 5.

Alternativer er brukt via PLS, som vist på side 7. Terminalblokken er tilkoblet, og det røde lokket er da rimeligvis av. Merk at I/O-modulene på PLS-rekken har 24 VDC-spenning. I PLS-modus hentes 24 VDC-signal til inngangskortet, og brytere/reléer (sorte bøsninger/kontaktpunkter) på brettet er koblet til 24 VDC som vist i figur 4 på side 8.

På **UiS PLS panel**, montert på bakvegg på arbeidsbenk, er også driftspenningen 230 VAC koblet til energiforsyning (Power supply). Men innganger og utganger for PLS er 24 VDC. Det er **svært** viktig at utstyr beregnet for 24 VDC (innganger til PLS) ikke kobles til 230 VAC. Inngangskortet (venstre side) er koblet ferdig, mens utgangskortet driver reléer (høyre side). Relé-kontaktene kan kobles til 230 VAC. Styrestrøm for reléer og relékontaktene er ikke i direkte kontakt med hverandre.

Følg instruksjoner som gis på laboratoriet.