

# TTK 4240 – Øving 8

Utløst dato: 13.10.2016  
Veiledningstid: 20.10.2016  
Innleveringsfrist: 27.10.2016  
Ansvarlig: Atle Rygg ([atle.rygg@itk.ntnu.no](mailto:atle.rygg@itk.ntnu.no))

## INTRODUKSJON – TREFASESYSTEMER + DIODELKERETTERE

---

I denne øvingen skal vi se på to nokså forskjellige tema: **trefasesystemer** og **diodelikerettere**

### Trefasesystemer

Størsteparten av generert, overført og forbrukt effekt er gjennom trefasesystemer. Det er derfor viktig å kjenne til dem.

Dagens visdomsord: Trefasesystemer ser kompliserte ut, men fremgangsmåten for å regne på dem er identisk som for enfasesystemer vi har regnet på i tidligere øvinger. Nøkkelen er å utnytte symmetrien.

Tips: Regn alltid med radianer når vi arbeider med tidsuttrykk hvor  $\omega t$  inngår, ellers er det fort å få feil.

Læringsmålene med trefase i dette faget er å vite:

- Sammenhengen mellom linjespenning og fasespenning
- Hvordan regne på effekt gjennom å se på en fase og deretter multiplisere med tre

### Diodelikeretter

Spenningen i kraftnettet er vekselsspenning, men svært mange applikasjoner trenger likespenning (f.eks. PC'er, TV', telefonlader). I tillegg er det mye utstyr som trenger å konvertere AC-spenningen fra en frekvens til en annen (frekvensomforming). I dette tilfellet går veien ofte via likespenning (AC->DC->AC). Den desidert billigste og enkleste måten å konvertere AC til DC er ved en diodelikeretter. En ideell diode kan som kjent bare lede strømmen i en retning, og dette kan vi utnytte til å bygge en krets som har netto positiv spenning.

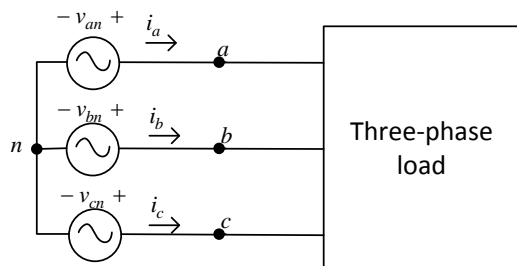
En ulempe med diodelikeretteren er at den gir en ukontrollert likespenning, dvs. vi kan ikke styre hvor stor DC-spenningen blir (den er gitt av spenningen på AC-siden). I mange tilfeller, f.eks. for en telefonlader – er vi avhengig av å ha en bestemt DC-spenning. I dette tilfellet har vi to valgmuligheter:

- Benytte en mer avansert type likeretter, f.eks. tyristor eller transistorbasert
- Kombinere diodelikeretter med DC/DC-omformer

Dette kommer mer i detalj på senere øvinger.

# 1 SYMMETRISKE TREFASESYSTEMER

Denne oppgaven inneholder ikke så mye regning, men mye grunnleggende forståelse om trefasesystemer. Alle deloppgavene omhandler kretsen i Figur 1.



Figur 1: Generelt trefasesystem

Vi antar faserekkefølge a-b-c på samme måte som i Nilson&Riedel.

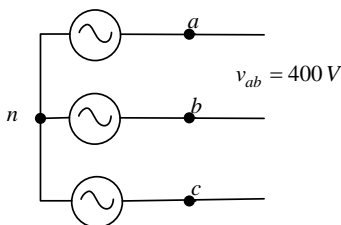
Strøm og spenning i fase *a* er som følger:

$$v_{an}(t) = \sqrt{2}V_{rms} \cos(\omega t) \quad i_a(t) = \sqrt{2}I_{rms} \cos(\omega t + \varphi)$$

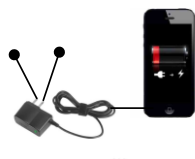
- Hva er hovedgrunnen til at vi benytter trefasesystemer i stedet for enfasesystemer?
- Forklar forskjellen på fasespenning (phase voltage) og linjespenning (line-to-line voltage)
- Skriv opp tidsfunksjonene til  $v_{bn}(t)$ ,  $v_{cn}(t)$ ,  $i_b(t)$ ,  $i_c(t)$
- Skriv de seks strøm- og spenningsfunksjonene på viserform. Tegn så alle i et felles viserdiagram (anta  $\varphi = -45^\circ$  for å lage viserdiagram).

Differansen mellom to fasespenninger kalles for linjespenning (line-to-line), eventuelt «linje-linje»-spenning. Ved å bruke Kirchoffs spenningslov får vi direkte at  $v_{ab} = v_{an} - v_{bn}$ .

- Skriv opp formlene for de to andre linjespenningene  $v_{bc}$  og  $v_{ca}$ . Basert på uttrykkene fra oppgave b), finn så uttrykket for viseren  $V_{ab}$ .



- Transformatorene i NTNU sin kraftforsyning gir 400 *vo/t* trefase linjespenning (rms). Men hvis du lader mobiltelefonen eller laptopen din så kobler du til 230 *vo/t* enfase (rms). Forklar hvordan dette er mulig uten bruk av flere transformatorer. Bruk eventuelt en figur som nedenfor til å vise tilkoblingen.



## 2 TREFASE EFFEKTBREGNINGER FOR EN SPREK ELBIL

Når vi antar balanserte (symmetriske) forhold mellom fasene, er det svært lik fremgangsmåte å regne på trefasesystemer som enfasesystemer. Siden vi vet at det blir forbrukt like mye effekt i hver fase kan vi begrense oss til å regne på en fase, men må huske å multiplisere effekten med 3. Det er også viktig at vi benytter fasespenningen (fase-nøytral) til disse beregningene og ikke linjespenningen. Hvis linjespenningen er oppgitt må vi dele denne på  $\sqrt{3}$  for å finne fasespenningen (se oppgave 1).

Figur 2 viser en forenklet modell av kraftforsyningen til en Tesla. Fra batteriet blir likespenning gjort om til trefase vekselspenning via en såkalt inverter (ikke vist i figuren). Denne vekselsspenningen blir koblet til motoren, her representert med en motstand i hver fase (dette er en forenkling). Vi kommer tilbake i senere øvinger med mer detaljerte modeller av elektriske motorer. **NB:** Alle tallverdier brukt i denne oppgaven er realistiske, og er tatt fra en pålitelig kilde (wikipedia). Den aller sprekeste Tesla-modellen har dog en motor på hver aksling, og derfor nesten dobbelt så stor effekt/aksellerasjon.

$$V_{ab} = 400 \text{ V (rms)}$$

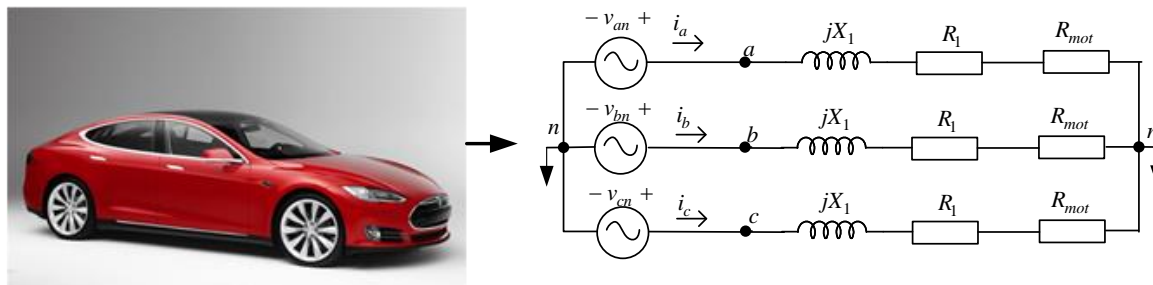
Oppgitt data:

$$R_{mot} = 0.5 \Omega$$

$$X_1 = 0.025 \Omega$$

$$R_1 = 0.01 \Omega$$

- Tegn «per fase»-kretsen for fase a, og sett på tallverdier for spenning / impedanser.
- Effekten som blir omgjort til fremdrift modelleres med motstanden  $R_{mot}$ . Finn total aktiv effekt levert til fremdrift. Hvor mange hestekrefter tilsvarer dette? (1 hestekraft = 0.75 kW)



Figur 2: Forenklet modell av strømforsyning til en Tesla

- Anta at hele motoreffekten kan brukes til å aksellerere bilen fra stillestående til 100 km/t. Bilens masse er 2000 kg. Hvor lang tid bruker teslaen dermed på 0-100 km/t?
- Anta at føreren til denne teslaen er en råkjører som kjører bilen med gjennomsnittlig 80 % av full motoreffekt helt til batteriet er tomt. Hvor lang tid tar dette når batteriet lagrer 70 kWh?

### 3 ENFASE DIODELIKERETTER – HALVBRO OG FULLBRO

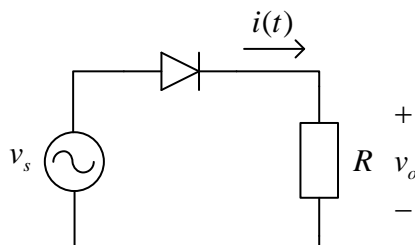
Figur 3 viser den enkleste måten å konstruere en enfase diodelikeretter på. Vi kaller dette for en halvbro. Vi skal i hele denne øvingen anta at diodene er idelle. Anta følgende verdier:

$$v_s(t) = 100 \sin(\omega t)$$

$$R = 2 \, \Omega$$

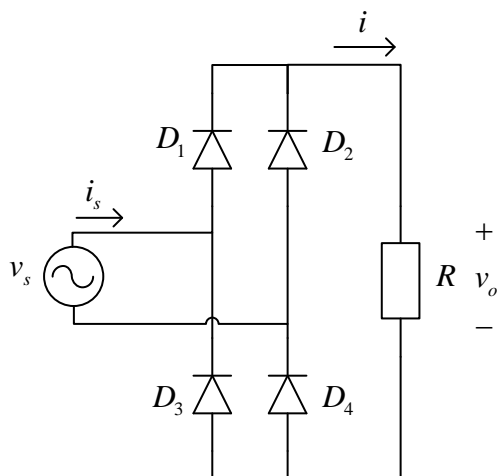
$$\omega = 2\pi \cdot 50 \text{ rad/s}$$

- Skriv opp antagelsene for en ideell diode.
- Beregn og skisser  $i(t), v_o(t)$
- Hva blir gjennomsnittsverdien til utgangsspenningen,  $V_o$  ? Beregn deretter forholdet  $\frac{V_o}{V_{s,rms}}$



Figur 3: Halvbro enfase diodelikeretter

Figuren nedenfor viser en fullbro enfase diodelikeretter (*full bridge diode rectifier*). Merk at dette er den samme kretsen som vist i figur 10.28 i Hambley kap 10, bare tegnet på en annen måte. Denne typen likeretter er svært mye brukt på alle effektnivåer, for eksempel PC-ladere, TV-er, vaskemaskiner, samt industrimotordrifter.



- Beregn og skisser  $i(t), v_o(t)$  til fullbrolikeretteren
- Hva blir gjennomsnittsverdien til utgangsspenningen,  $V_o$  ? Beregn deretter forholdet  $\frac{V_o}{V_{s,rms}}$ , og sammenlign med oppgave c).
- Hvilken type krets (brukt i tidligere øvinger) kunne bidratt til å gjøre  $v_o$  mer stabil/konstant, dvs. fjerne rippelen?

## 4 DESIGN AV TELEFONLADER

Figur 4 viser en skisse av en batterilader, f.eks. til bruk i en *iPhone*. Laderen henter effekt fra stikkontakten (vekselstrøm). Først blir denne transformert til et lavere spenningsnivå, deretter likerettet til likespenning siden et batteri krever dette.

En reell batterilader er i tillegg utstyrt med et ekstra omformersteg på likespenningssiden (DC/DC-omformer). Denne gjør det mulig å nøyaktig regulere ladestrømmen til batteriet ved hjelp av digital styring. Vi ser bort fra DC/DC-omformer i denne oppgaven, dette kommer på neste øving.

Vi antar i denne oppgaven at transformatoren er ideell, og at likeretteren er utstyrt med et filter på likespenningssiden slik at  $v_o$  blir konstant. Anta også at inngangsspenningen til likeretteren,  $v_i$ , er rent sinusformet. Samlet motstand i ledning og transformator er modellert ved hjelp av  $R$ .

Bruk følgende data:

$$V_s = 240 \text{ V (rms)}$$

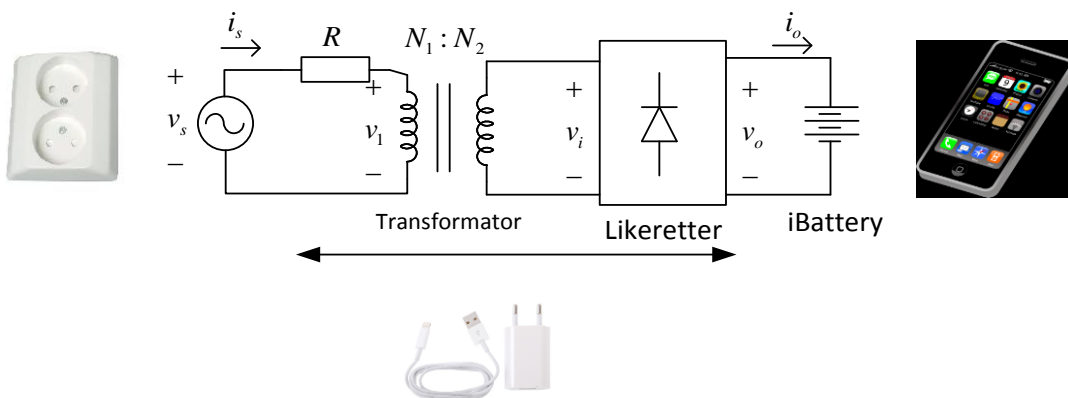
$$R = 1000 \, \Omega$$

$$\frac{V_o}{V_i} = 0.9$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

Relasjonen  $\frac{V_o}{V_i} = 0.9$  er den samme som funnet i oppgave 1 for en fullbro diodelikeretter.

- Når batteriet når 5 volt er det fulladet, og dermed skal  $i_o = 0$ . Finn verdien til transformatorens omsetningsforhold  $N_1 : N_2$  som oppfyller dette kriteriet.
- Eieren av telefonen skrudde på både Bluetooth og GPS ved en feiltagelse, og batterinivået ble kritisk lavt i løpet av en halvtime. Batterispenningen har sunket til 4.5 volt i det laderen kobles til. Hvor stor blir ladestrømmen  $i_o$ ?
- Hvor store blir tapene i motstanden  $R$ , og hvor store er disse i prosent av levert effekt til batteriet?



Figur 4: Forenklet skisse av batteriladeren til en iPhone

## HINT OG TALLSVAR

---

1. a) Dekkes av forelesningen, evt. google  
b) Se i læreboken  
c) I et symmetrisk trefasesystem har alle faser den samme amplituden, det er kun vinkelen (faseforskyvningen) som er ulik. Se i læreboken.  
d) Bruk definisjonen på en viser:  $A \cos(\omega t + \varphi) \Leftrightarrow A e^{j\varphi}$   
e)  $V_{ab} = \sqrt{3} V_{rms} e^{j30^\circ}$ . Bruk viserregning og sett opp differansen mellom de to fasespenningene.  
Tips: Det kan være lurt å gjøre om fra polar til rektangulær form, og tilbake igjen. Tips2: Mange har brukt amplitudeverdien i denne oppgaven, du må bruke RMS for å få riktig faktor.  
f) Viss du står fast på denne kan det være lurt å ta en titt på oppgave c) igjen.
2. a) Utnytt at de to punktene merket med «n» har samme potensial/spenning, dermed er det mulig å lukke kretsen.  
b) 304.3 kW. NB: Det er ikke nødvendig å vite vinkelen til spenningen siden vi er ute etter effekt i en impedans  
c) 2.54 sek. Sett opp likevekt mellom tilført motorenergi og bilens kinetiske energi.  $E_{mot} = P_{mot} \cdot t$   
og  $E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2$   
d) 17.3 minutter. Sett opp energilikevekt. NB: I praksis bruker man aldri så høy gjennomsnitteffekt, den trengs kun til ekstrem aksellerasjon.
3. a) Se i Hambley kap. 10  
b) Tegn kretsen på nytt for henholdsvis avslått og påslått diode. Prøv å finne kriterier for når dioden skal være avslått og påslått basert på antagelsen om ideell diode. Se for øvrig i læreboken  
c)  $V_o = 31.83 \text{ V}$ ,  $\frac{V_o}{V_{s,rms}} = \frac{\sqrt{2}}{\pi}$ . Gjennomsnittsspenning finnes som integralet av tidsfunksjonen over en periode, delt på periodetiden  
d) Tilsvarende oppgave som b), men en del mer komplisert. Forsøk samme fremgangsmåte, nemlig å resonnerer seg frem til hvilke dioder som vil lede for ulike verdier av kildepenningen. Det anbefales å bruke en del tid til å gruble på denne oppgaven.  
e)  $\frac{V_o}{V_{s,rms}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}$ . Identisk fremgangsmåte som for oppg. c)  
f) Svaret rimer på vilter
4. a)  $\frac{N_2}{N_1} = 0.0231$ . Det går an å finne verdien til  $i_s$  uten noe regning. Bruk deretter ligningen til en ideell transformator, samt forholdet mellom inn – og utgangsspenningen til likeretteren  
b)  $I_o = 1.13 \text{ A}$ . Bruk antagelsen om at vi ser bort fra tap i den ideelle transformatoren og likeretteren. Vi kan dermed finne spenningen  $V_1$  uten særlig regning  
c)  $P_{loss,\%} = 10.8 \%$