

Dimensjonering av ledertverrsnitt i anlegg med overharmoniske strømmer

Øyvind Kjeldstad

Master of Science in Electric Power Engineering
Oppgaven levert: Mars 2010
Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Oppgavetekst

Overharmoniske strømmer vil kunne påvirke dimensjoneringen av de elektriske installasjonene i et anlegg. Eksempelvis vil trippelharmoniske strømmer i et TN-nett kunne medføre store strømmer i nøytralleder. I NEK400 er det angitt en metode for hvordan det skal tas hensyn til slike strømmer. Derimot er det lite kjent hvilke andeler overharmoniske som kan forventes i forskjellige typer anlegg.

Kandidaten skal

- beskrive årsak og virkning av ulike typer overharmoniske strømmer i elektriske anlegg
- måle og beskrive overharmoniske fra typisk forbrukerutstyr i et bygg
- måle og beskrive overharmoniske i typiske bygningskategorier, som grunnlag for å kunne bruke erfaringsdata ved senere prosjektering av liknende bygg.

Oppgaven gitt: 15. november 2009

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Forord

I 2001 ble det skrevet et forprosjekt av Arne Jorde ved COWI som omhandlet elektrisk støy i yrkesbygg. Denne tok for seg problemstillingen rundt harmoniske strømmer i forskjellige bygningstyper. Etter samtaler med veileder og COWI ble det ansett som interessant å se på denne problemstillingen igjen, nå ca 10 år senere, for å se om det har vært noen forandringer. Det var videre ønskelig å se mer spesifikt på forskjellig utstyr som er kjent for å ha større harmoniske bidrag.

Oppgaven inneholder teori rundt årsaker til og virkning av overharmoniske strømmer. I tillegg er det presentert og analysert målinger av forskjellig utstyr og i ulike bygningstyper.

Jeg har i løpet av oppgaven fått innspill og hjelp fra flere personer, og vil spesielt rette en takk til:

Eilif Hugo Hansen, veileder ved NTNU
Dag Ivan Ekrem, COWI (avd. Trondheim)
Arne Jorde, COWI (avd. Oslo)
Steinar Åkerholm, Øya Helsehus
Kristoffer Gundersen, Studentersamfundet i Trondhjem

Trondheim, 23.03.2010

Øyvind Kjeldstad

Sammendrag

Ved dimensjonering av tverrsnitt på elektriske ledere i et lavspenningsanlegg er det flere faktorer man må vurdere. Blant annet vil skjevlast og ulinearitet i lastene i TN-anlegg medføre strømmer i N-leder. Utstyr med mye elektronikk forårsaker store og små overharmoniske strømmer, noe som er grunnen til at lastene vil få ulineære strømmer. I NEK400 er det angitt en metode for hvordan det skal tas hensyn til slike harmoniske strømmer i N-leder.

Denne oppgaven har sett på teorien bak de harmoniske strømmene. Hvordan de oppstår, hvilke konsekvenser de kan ha, og hva som kan gjøres for å redusere dem. Det ble videre gjort tester på forskjellig utstyr som vi vet har større harmoniske bidrag, og i tillegg ble det gjort målinger av utvalgte bygningstyper.

Målingene viser at datamaskiner er en veldig stor bidragsyter til harmoniske strømmer, og at bærbare maskiner er verre enn stasjonære maskiner. Det ble sett på maskiner fra de siste 3 tiårene, og i de siste årene har det vært en kraftig forbedring. Det ble målt THD_f helt ned i 68,1% (bærbare) og 17,0% (stasjonære) på de nyeste maskinene, i motsetning til på eldre maskiner med THD_f helt opp mot 200%.

Av lyskilder for hjemmebruk ble det påvist at de lyskildene som sannsynligvis vil bli mest brukt i fremtiden, sparepærer og LED, inneholder mye mer harmoniske strømmer enn glødepærer og halogenpærer som er mest brukt frem til i dag. Dette vil nok likevel overskygges av alle de andre fordelene man får ved å velge energisparende lyskilder. Problemer rundt harmoniske strømmer er uansett ikke veldig store i vanlig husholdning. Det ble i tillegg påvist at overgangen fra konvensjonell til elektronisk forkobling på lysrør har medført en merkbar nedgang i de harmoniske bidragene. Det ble også sett på damplamper til veibelysning, og med tanke på harmoniske strømmer var det ingen stor forskjell på om man velger høytrykksnatrium eller metallhalogenpærer. Da er det større mulighet for å finne forskjeller i de forskjellige forkoblingene.

Det ble sett på tre forskjellige bygningstyper; undervisningsbygg, helsehus og kulturhus. Både undervisningsbygg og helsehus viste, som forventet, at yrkesbygg i disse kategoriene inneholdt lyskurser med harmoniske bidrag som var helt i grenseland for behov for reduksjonsfaktor ved dimensjonering. Stikkontaktkurser til datautstyr hadde store bidrag av harmoniske strømmer, med et påfølgende behov for bruk av reduksjonsfaktor ved dimensjonering. I kulturhus er det spesielt lys- og lyd-kursene som skiller seg ut fra andre typer bygg. Målingene fra scenelyskursen viste at det vil være store forvrengninger i strømmen, og at man i høyeste grad må ta hensyn til dette ved dimensjonering.

Målingene på Studentersamfundet i Trondhjem (kulturhus) ble utført på IT-nett. Dette gjorde at disse falt litt utenfor hovedfokuset på oppgaven, som var overbelastning av N-leder. Det ble derimot oppdaget et overraskende fenomen. Alle odde trippelharmoniske var nesten helt kansellerte, mens det var store bidrag fra de andre harmoniske. Et laboppsett for målinger på IT-nett ble derfor satt opp. Her ble det konkludert med nettopp at, *odde trippelharmoniske strømmer i et IT-nett vil kansellere hverandre i tilførselskabelen i et symmetrisk belastet anlegg*. Men selv om disse er kansellerte i trefasekabelen finner vi dem likevel i selve lastene. Og strømmen i lastene blir ikke påvirket av usymmetri i anlegget, selv om det ser slik ut på tilførselskabelen.

Innholdsfortegnelse

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INNLEDNING | 1 |
| 2 | TEORI | 3 |
| 2.1 | TN-NETT | 3 |
| 2.2 | HARMONISKE STRØMMER | 4 |
| 2.2.1 | <i>Lineære laster</i> | 4 |
| 2.2.2 | <i>Ulineære laster</i> | 4 |
| 2.2.3 | <i>Andre typer elektrisk støy</i> | 5 |
| 2.3 | ANALYSEMETODER | 6 |
| 2.3.1 | <i>Total Harmonic Distortion</i> | 6 |
| 2.3.2 | <i>Fourierrekkeutvikling</i> | 7 |
| 2.4 | ÅRSAKER TIL HARMONISKE STRØMMER | 12 |
| 2.5 | KONSEKVENSER AV HARMONISKE STRØMMER | 13 |
| 2.6 | TILTAK MOT HARMONISKE STRØMMER | 15 |
| 2.7 | DIMENSJONERINGSKRITERIER ETTER NEK 400 | 17 |
| 3 | UTFØRELSE AV MÅLINGER | 19 |
| 4 | RESULTATER | 21 |
| 4.1 | UTSTYR | 21 |
| 4.1.1 | <i>Datamaskiner</i> | 21 |
| 4.1.2 | <i>Belysningsutstyr</i> | 23 |
| 4.2 | ANLEGG | 25 |
| 4.2.1 | <i>Undervisningsbygg</i> | 25 |
| 4.2.2 | <i>Helsehus</i> | 27 |
| 4.2.3 | <i>Kulturhus</i> | 29 |
| 4.3 | HARMONISKE STRØMMER I IT-NETT | 32 |
| 5 | ANALYSE/DISKUSJON | 35 |
| 5.1 | UTSTYR | 35 |
| 5.1.1 | <i>Datamaskiner</i> | 35 |
| 5.1.2 | <i>Belysningsutstyr</i> | 37 |
| 5.2 | ANLEGG | 41 |
| 5.2.1 | <i>Undervisningsbygg</i> | 41 |
| 5.2.2 | <i>Helsehus</i> | 42 |
| 5.2.3 | <i>Kulturhus</i> | 43 |
| 5.3 | HARMONISKE STRØMMER I IT-NETT | 44 |
| 6 | KONKLUSJON | 47 |
| 7 | REFERANSELISTE | 49 |
| 8 | VEDLEGG | 51 |

1 Innledning

Ved dimensjonering av tverrsnitt på elektriske ledere i lavspenningsanlegg er det flere faktorer som spiller inn. Man må først og fremst gjøre en vurdering av hva laststrømmene vil bli. Dette kan gjøres ut i fra lastenes merkeverdier, eller vurdere behov for effekt ved de forskjellige uttakspunktene. Inntaks- og stige kabler blir deretter beregnet ut i fra de forskjellige kursavgangene, hvor forbehold om samtidighets- og sammenlagningsfaktorer blir vurdert.

Utstyr i dagens anlegg er preget av store mengder elektronikk. Dette vil ofte medføre at det går store og små harmoniske strømmer i anlegget. Ulineariteten dette gir i strømmen til lastene vil i TN-anlegg medføre strømmer i N-leder. I visse tilfeller kan strømmene bli så store at hensyn må tas i dimensjoneringen av anlegget.

I NEK400 er det angitt en metode for hvordan det skal tas hensyn til slike strømmer i N-leder. Tabell 52C-1 [5] beskriver hvilke reduksjonsfaktorer som skal benyttes ved forskjellig størrelse på de 3.harmoniske strømmene i faselederne.

Ved planlegging og dimensjonering må man derfor ta hensyn til hvilke, og hvor mye harmoniske strømmer man forventer i det aktuelle anlegget. Hvilke andeler av overharmoniske strømmer som kan forventes i forskjellige typer anlegg er derimot lite kjent. På grunn av at man vil sikre seg et tilstrekkelig anlegg som dekker behovene, er det en stor tendens til at anleggene blir sterkt overdimensjonerte.

Denne rapporten vil ta for seg teorien som ligger bak harmoniske strømmer. Hvordan oppstår de, hvilke konsekvenser kan de ha og hva kan gjøres for å redusere dem. Det vil videre bli kjørt tester på hvordan spekteret av harmoniske strømmer på PC'er og belysningsutstyr har utviklet seg gjennom de siste årene. Til slutt utføres tester på større anlegg for å se på hvor mye harmoniske strømmer som går i forskjellige typer bygg.

2 Teori

Som kunde og forbruker er det til enhver tid ønskelig å ha sikker og god levering av strøm. Dette innebærer blant annet konstant frekvens og ren sinusformet spenning på nettet. Men dette er ikke alltid tilfelle for fordelingsnettet og i anlegg. Det er flere faktorer som kan være årsaken til dette. Hos kundene er det strømavbrudd som merkes best. Andre grunner til avvik kan være; spenningsdip, spenningsspisser, spenningsvariasjoner, frekvensavvik, usymmetri og harmoniske spenninger og strømmer. Hovedfokuset i denne oppgaven vil være å se på harmoniske strømmer.

2.1 TN-nett

Prosjektoppgaven ser hovedsakelig på problemene harmoniske strømmer gir i et TN-anlegg. Dette delkapittelet forklarer oppbyggingen av TN-nettet.

Forklaringen på bokstavene er:

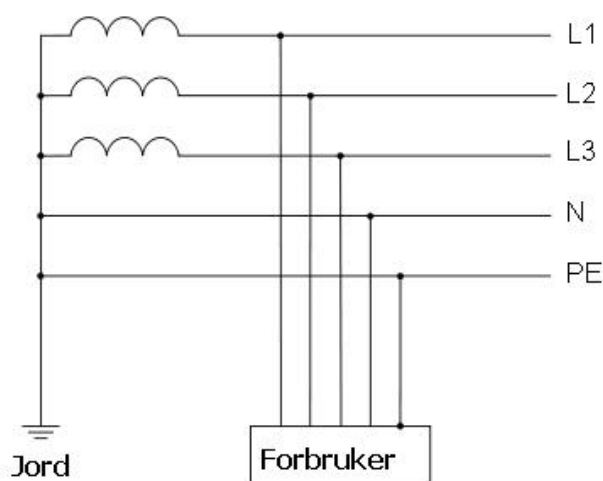
- T: Et punkt i nettet er koblet direkte og varig mot jord. Dette er vanligvis nøytralt punktet i transformatorens sekundærvikling.
- N: Utsatte anleggsdeler har direkte forbindelse med nøytralt punktet jord gjennom beskyttelsesjordledere (PE-ledere)

Videre deles systemet inn i TN-C, TN-S og TN-C-S

- TN-C: N- og PE-leder er kombinert (PEN-lederen)
- TN-S: N- og PE-leder er atskilt.
- TN-C-S: N- og PE-leder er kombinert (TN-C) i en del av anlegget. Vanligvis går det over til TN-S i første fordeling i en bygning.

I TN-nett for ordinære bygningsforsyninger i Norge er spenningen mellom to faser 400 V, og 230 V mellom fase og nøytralleder. Dette medfører at for å gi samme effekt som for eksempel IT-nett, hvor spenningen mellom fasene er 230 V, går det mindre strøm i nettet. Dette gir både mindre tap og mulighet til å dimensjonere anlegget med lavere tverrsnitt [4]. Figur 2-1 illustrerer hvordan TN-nettet er bygget opp.

Transformator



Figur 2-1 TN-nett (TN-S)

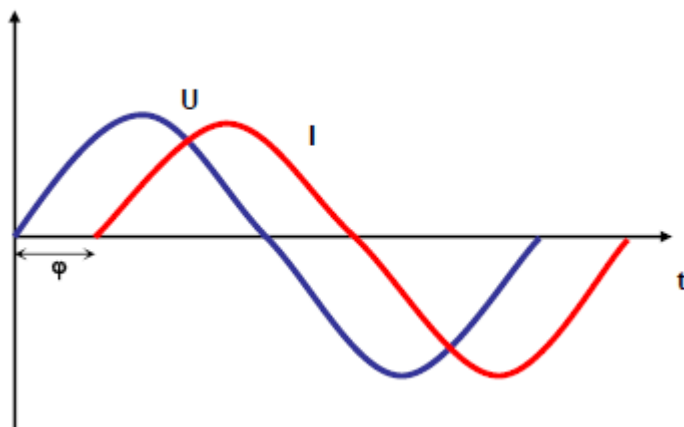
2.2 Harmoniske strømmer

Harmoniske strømmer er en type elektrisk støy man finner i stort sett alle elektriske installasjoner. Dette delkapittelet tar for seg hva harmoniske strømmer egentlig er, og hva de kommer av.

I et anlegg vil det være tilkoblet mange forskjellige laster. Disse kan hovedsakelig deles inn i lineære laster og ulineære laster. Avhengig av hvilken type last man har, vil strøm- og spenningskurven påvirkes.

2.2.1 Lineære laster

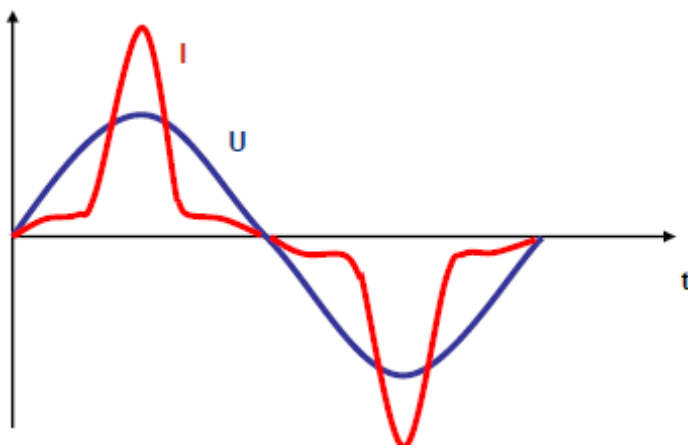
Så lenge lastene er lineære vil strømkurven være perfekt sinusformet. Slike laster vil være motstander, spoler og kapasitanser [4]. Varmeovner er et typisk eksempel på en slik last.



Figur 2-2, Strøm og spenning ved en induktiv lineær last, hvor ϕ er faseforskyvningen [1]

2.2.2 Ulineære laster

Med ulineære laster mener vi utstyr som ikke gir rent sinusformede strømmer. Eksempler på slikt utstyr er likerettere, frekvensomformere og forskjellige typer belysningsutstyr. I tillegg til å trekke strøm i grunnfrekvensen f (50 Hz i Norge), vil det også trekkes strømmer i frekvenser som er multiplum av f . Det er dette som er harmoniske strømmer. For fysiske laster vil dette være oddetalls multiplum (3.harmoniske, 5. harmoniske, 7.harmoniske osv) [1].



Figur 2-3, Eksempel på strøm og spenning ved ulineære laster [1]

2.2.3 Andre typer elektrisk støy

I anlegg og installasjoner vil det også kunne dukke opp andre typer elektrisk støy som vil påvirke både utstyr og omgivelsene. Disse vil ikke bli videre omtalt i denne oppgaven, men eksempler på dette er[1]:

- Lavfrekvent felt oppstår både som elektrostatisk og magnetisk. Det *elektrostatiske* feltet omgir ethvert ledende materiale som har en potensialforskjell fra omgivelsene (nullpotensial). Det *magnetiske* feltet omgir enhver leder som fører strøm. Dette vil man spesielt kunne oppleve i stige kabler, fordelinger, motorer og transformatorer.
- Høyfrekvent(HF) støy sees på som det elektromagnetiske feltet mellom 9 kHz og 1 GHz. Denne støyen utstråles kontinuerlig fra HFgeneratorer som radiosendere, el.kirurgi, kortbølgeapparater og lignende.

2.3 Analysemetoder

Når man skal se på påvirkningen de harmoniske strømmene har på strømkurven er det flere analysemetoder som kan benyttes.

2.3.1 Total Harmonic Distortion

Total Harmonic Distortion, betyr på norsk Total Harmonisk Forvrengning, og forkortes ofte til THD. Dette er en vanlig måte å måle forvrengningen i en bølge på. Denne uttrykker forvrengningen som en prosentdel av den grunnharmoniske komponenten eller den totale effektverdien for strøm eller spenning. Definisjonen av THD skrives slik:

$$THD = \sqrt{\frac{\text{summen av effektivverdiene for alle harmoniske strømmer}}{\text{effektivverdien for den grunnharmoniske strømmen eller total effektivverdi}}} \cdot 100\%$$

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}{I_1}} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

Tilsvarende kan vi bruke formelen for harmoniske spenninger

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}{U_1}} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

Når man snakker om THD kan det altså defineres på disse to måtene:

- THD_f: (THD-Fundamental) Total harmonisk forvrengning sett i forhold til den grunnharmoniske komponenten.
- THD_r: (THD_{rms}) Total harmonisk forvrengning sett i forhold til total effektivverdi, altså til både grunnharmoniske og de andre harmoniske.

2.3.2 Fourierrekkeutvikling

Ved bruk av THD vil vi derimot ikke nødvendigvis få et realistisk syn på hva den virkelige forvrengningen er. Mangelen på informasjon om fasevinkelen vil kunne medføre at toppverdier for harmoniske strømmer i to forskjellige nett kan være forskjellige, men ha lik THD[1]. Derfor bruker man ofte fourieranalyse i analyseringen av slike strømkurver. Den ikkesinusformede kurven deles inn i cosinus- og sinusledd med varierende amplitude, frekvens og fase. I tillegg er det et konstantledd som innen elektronikken kalles DC-ledd.

Fourierrekken skrives på denne måten [2]:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cdot \cos(w_1 t) + b_1 \cdot \sin(w_1 t) + \dots + a_n \cdot \cos(nw_1 t) + b_n \cdot \sin(nw_1 t) \quad (2.3)$$

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \cos(nw_1 t) + b_n \cdot \sin(nw_1 t) \quad (2.4)$$

hvor

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2.5)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt \cdot \cos\left(\frac{n2\pi}{T} t\right) dt \quad (2.6)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt \cdot \sin\left(\frac{n2\pi}{T} t\right) dt \quad (2.7)$$

Ved fysiske laster vil vi som nevnt hovedsaklig kun ha oddetalls multiple av grunnfrekvensen. Dette kommer av at de fleste elektroniske laster har egenskap av halvbølgesymmetri, noe som betyr at den positive og negative halvdelen av bølgen er identisk.

Teorien sier at;

Hvis $f(-t) = -f(t)$, så er f en ulike-funksjon [2]

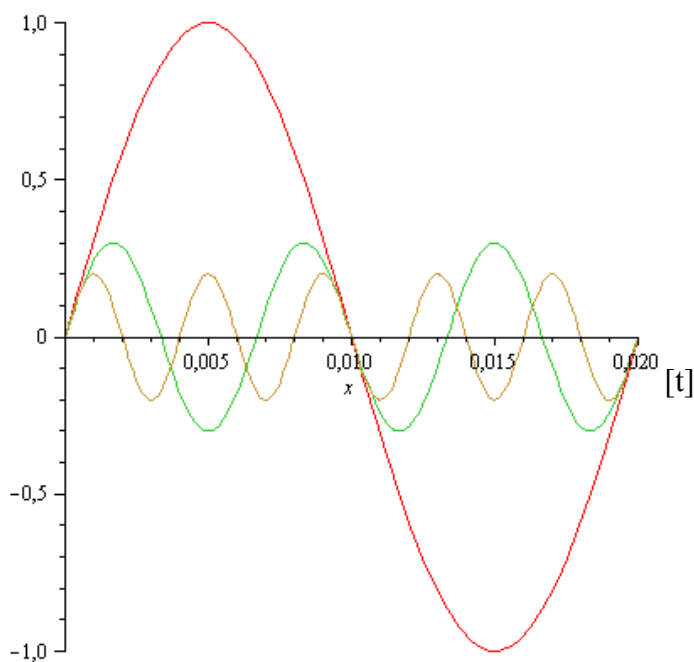
Fourieranalysen baserer seg på at enhver syklisk kurveform kan representeres av en sum av sinusformede funksjoner med frekvens lik et helt multiplum av den sykliske kurveformen. Momentanverdien til strømmen, $i(t)$, vil se slik ut[3]:

$$i(t) = I_{dc} + \sum_{n=1}^{\infty} I_h \cdot \sin(h \cdot \omega_1 \cdot t + \varphi_h) \quad (2.8)$$

hvor

- I_{dc} : DC-ledd
- h : Harmonisk orden
- I_h : Strømamplitude til den h 'te harmoniske
- ω_1 : Grunnharmonisk vinkelfrekvens = $2\pi f_1$
- f_1 : Grunnharmonisk frekvens
- t : Tid
- φ_h : Fasevinkel til den h 'te harmoniske

Her ser vi et eksempel på de forskjellige harmoniske bidragene til en last som gir utslag i 3.- og 5.-harmoniske. Strømamplituden er gitt til 1 i den grunnharmoniske, 0.3 i den 3.harmoniske og 0.2 i den 5.harmoniske.

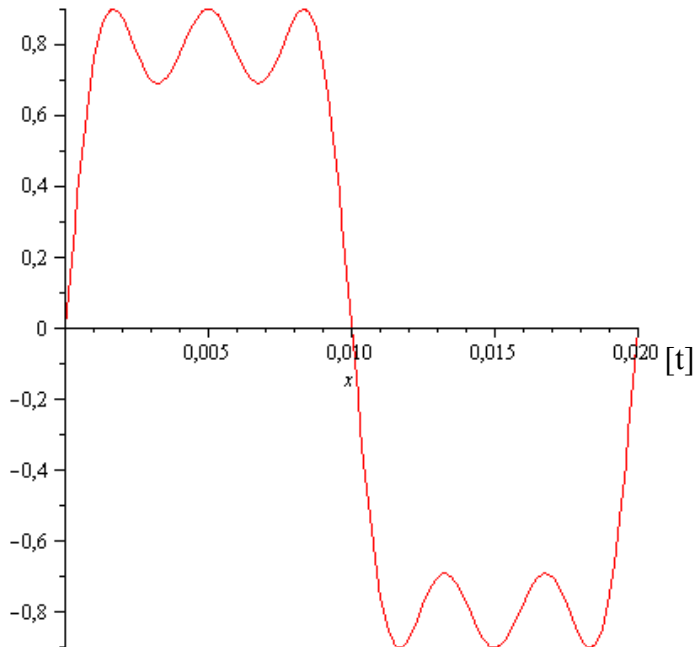


Figur 2-4 Eksempel, 1.,3., og 5.harmoniske

Den strømmen vi vil måle på nettet vil matematisk skrives slik:

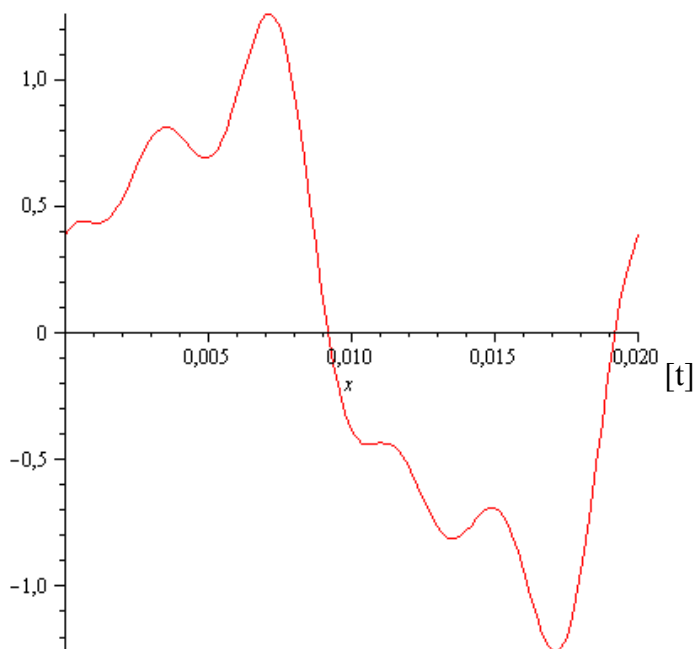
$$i(t) = 1.0 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot t) + 0.3 \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot t) + 0.2 \cdot \sin(5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot t)$$

Og grafisk vil den se slik ut:



Figur 2-5 Grafisk fremstilling av en strømcurve påvirket av harmoniske strømmer

De forskjellige harmoniske leddene kan også ha forskyvninger i fasevinkelen, φ . Legger en inn 45° forskyvning på 3.harmoniske og 15° forskyvning på 5.harmoniske i det samme eksempelet som over, vil en få denne grafen:

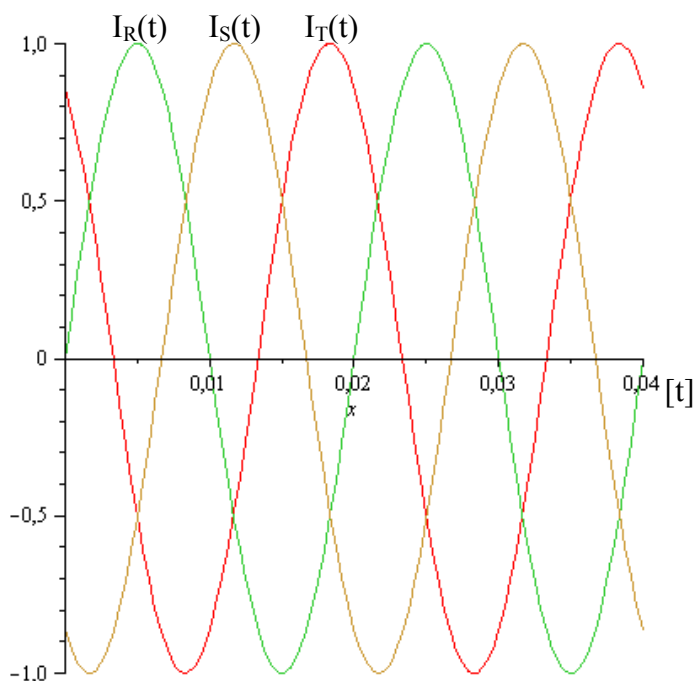


Figur 2-6 Grafisk fremstilling av en strømcurve påvirket av harmoniske strømmer med faseforskyvning

Bruken av fourierrekketviking medfører flere fordeler ved analyse av slike strømkurver. Vi ser fra eksemplet over at selv ved sterkt forvrengte kurver gir fourier god oversikt over de ulike parametrene i modellen. Disse lar seg lett måle.

Trefase

I et trefasesystem vil strømkurvene være 120° faseforskjøvet i forhold til hverandre, som vist i grafen under:



Figur 2-7 Fasestrømmene i et trefasesystem

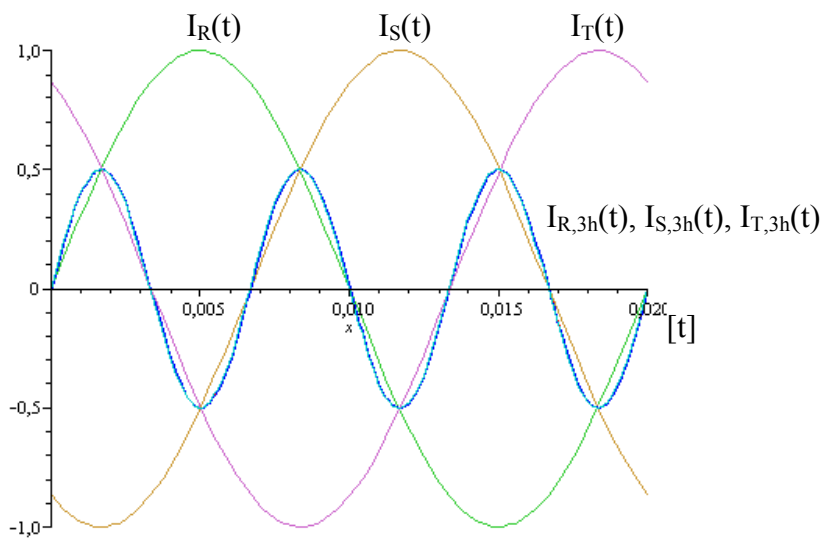
Vi ser nå på hva som vil skje dersom alle 3 fasene får en 3.harmonisk komponent. Som man kan se på den matematiske beregningen under, vil de 3.harmoniske komponentene til de 3 fasene havne i fase med hverandre [1]:

$$i_R(t) = I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \quad (2.9)$$

$$i_S(t) = I \cdot \sin(3 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 120^\circ)) = I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 360^\circ) = I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \quad (2.10)$$

$$i_T(t) = I \cdot \sin(3 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 240^\circ)) = I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 760^\circ) = I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \quad (2.11)$$

I et TN-anlegg vil dette bety at de 3.harmoniske komponentene fra de tre fasene adderes, og gir en betydelig strøm i N-leder. Dette gjelder alle odde trippelharmoniske, altså 3., 9., 15., 21., 27. også videre.



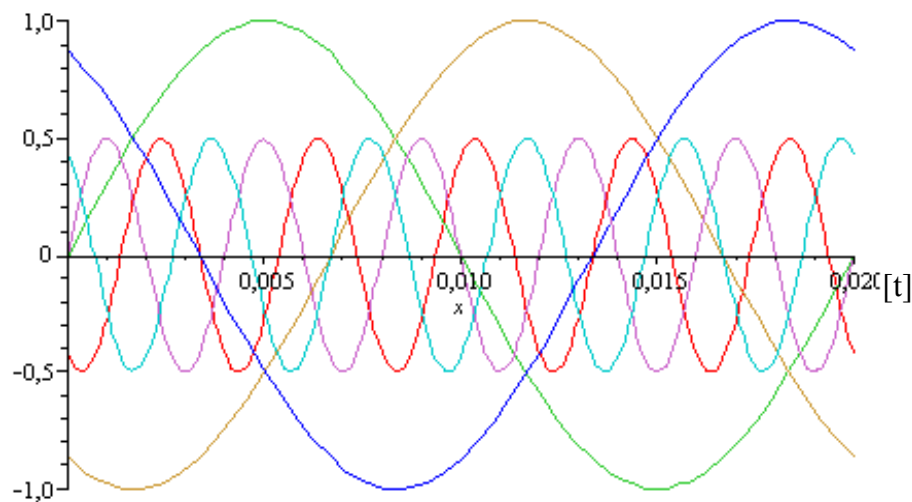
Figur 2-8 De 3.harmoniske fasestrømmene vil bli sammenfallende

Ved 5-dobling av frekvensen (5.harmonisk) vil strømmene igjen være 120° faseforskjøvet i forhold til hverandre. Men nå vil de være i motsatt fasefølge av den grunnharmoniske strømmen [1]:

$$i_R(t) = I \cdot \sin(5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \quad (2.12)$$

$$i_S(t) = I \cdot \sin(5 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 120^\circ)) = I \cdot \sin(5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 600^\circ) = I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 240^\circ) \quad (2.13)$$

$$i_T(t) = I \cdot \sin(5 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 240^\circ)) = I \cdot \sin(5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 1200^\circ) = I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 120^\circ) \quad (2.14)$$



Figur 2-9 De 5.harmoniske fasestrømmene vil få motsatt fasefølge

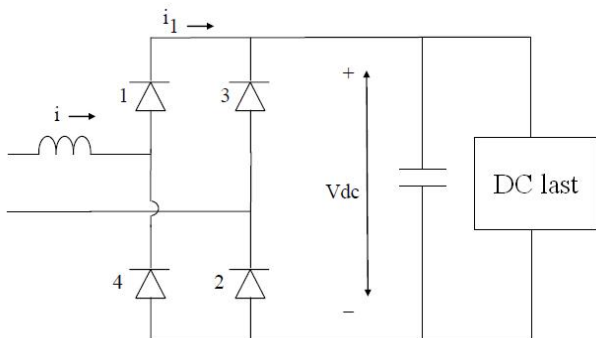
2.4 Årsaker til harmoniske strømmer

Som nevnt tidligere oppstår harmoniske strømmer ved ulinearitet i lastene. Den største kilden for slik ulinearitet er diverse kraftelektronikk. Eksempler på dette kan være likerettere, frekvensomformere, PCer og diverse styre- og reguleringsenheter. Lysrør vil også kunne forårsake harmoniske strømmer på grunn av de ulineære egenskapene til gassen.

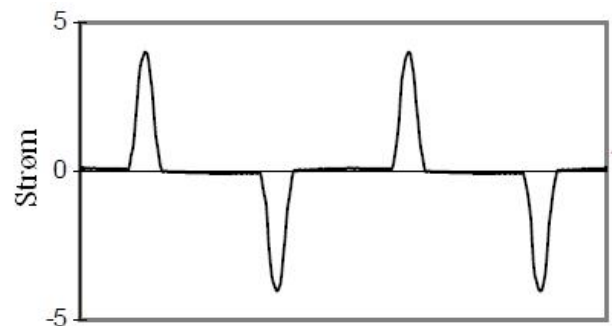
I større industribygg vil vi også finne annet utstyr som vil generere harmoniske strømmer ut på nettet. Eksempler på dette er [3] [1]:

- *Krafttransformatorer*
Her vil det oppstå harmoniske strømmer på grunn av jernets metning.
- *Lysbuebasert utstyr (Sveiseapparat og lignende)*
Lysbuens ulineære strøm-spenningskarakteristikk vil forvrengne strømmen.
- *Motorer*
Viklingene kan ligge ujevnt fordelt og forårsake harmoniske strømmer.
- *Store likerettere, frekvensomformere og styresystemer*

Her ser vi et eksempel på en typisk enfaset powersupply som blir brukt til PC og lignende utstyr man finner i det dagligdagse. Denne er satt sammen av en diodelikeretter mellom strømforsyningen og en kondensator. Kondensatoren virker som en ”glatter” for DC-lasten. Denne glattginga medfører også at ACsystemet lader kondensatoren for hver halvbølge, noe som medfører en sterkt peak-formet ACbølge [3].



Figur 2-10 Enfaset likeretter



Figur 2-11 ACstrøm for likeretteren. THD: 134% [3]

Som man ser blir strømmen påvirket av elektronikken i likeretteren og vi får en ikkesinusformet strømcurve, som er sammensatt av den grunnharmoniske komponenten og flere harmoniske bidrag lengre ut i spekteret. I enfaset likerettere er det den 3.harmoniske som dominerer, mens i trefase likerettere vil 5. og 7.harmoniske være sterkt fremtredende [15].

2.5 Konsekvenser av harmoniske strømmer

Harmoniske strømmer som sprer seg i installasjoner kan medføre flere uheldige problemer for utstyr og kabler.

Typiske konsekvenser i kontorbygg og lignende kan være [3] [1]:

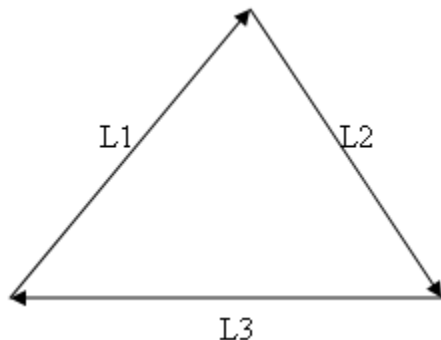
- Overbelastning av N-leder
- Overoppheting av UPS og trafoer
- Lav virkningsgrad på UPS
- Uønsket trip av vern
- Feil på PCutstyr
- Forstyrrelse på kommunikasjon
- Større energiforbruk

I industrien kan det også dukke opp feil som:

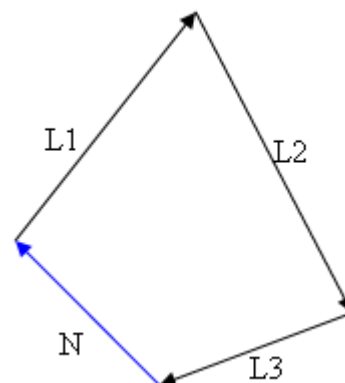
- Feil på elektronisk utstyr
- Temperaturøkning og feil i trafoer, kabler og kondensatorbatterier
- Overlast og feil på motorer

Overoppheting av N-leder:

I denne oppgaven er overbelastningen av N-leder det mest aktuelle problemet. Så lenge lastene i et anlegg er lineære og jevnt fordelt på fasene, vil det ikke gå noe strøm i N-lederen. Ved noen driftstilfeller vil det likevel forekomme. Det ene tilfellet er hvis lastene blir skjevt fordelt mellom fasene. Den driftsmessige usymmetriske strømmen vil da begynne å gå strømmer i N-leder [4].



Figur 2-12 Symmetrisk belastet nett



Figur 2-13 Usymmetrisk belastet nett, med strøm i N-leder

Det andre tilfellet for strømmer i N-leder, er hvis en enfaselast produserer harmoniske strømmer. Disse strømmene vil da kun oppstå i én av fasene, og vil derfor få N-leder som ”returvei”.

En trefaselast gir i utgangspunktet lik last på alle fasene. Men hvis lasten skaper 3.harmoniske strømmer vil det likevel gå strømmer i N-leder. Dette kommer av at siden 50 Hz spenningene ligger 120° forskjøvet i forhold til hverandre, vil de 3.harmoniske (150 Hz) bli sammenfallende og adderes i N-leder, noe vi kan se på Figur 2-8 [1]. Dette gjelder også de andre odde trippelharmoniske, dvs. 3-, 9., 15., 21., og 27.harmoniske.

Transformatorfeil:

Industribygg har ofte transformatorer med delta/Y kobling. Som forklart over, vil overharmoniske strømmer forårsake strømmer i N-leder. Når de odde tredjeharmoniske strømmene når tilbake til transformatoren vil de reflektere i den primære deltaviklingen, hvor de vil begynne å sirkulere og forårsake overoppheting og feil [15]. Transformatorer er dessuten ofte dimensjonert for 50 Hz fasestrøm. Overharmoniske strømmer vil derfor kunne gi økte kjernetap og virvelstrømmer, noe som vil medføre større temperatur enn ved 50 Hz [6].

Vernfeil:

Når det gjelder vern kan strømtopper som kommer med overharmoniske strømmer gjøre at vern tripper for tidlig [6].

Forstyrrelser på kommunikasjon:

Tredjeharmoniske strømmer i N-lederen forårsaker induktiv interferens. Dette vil man kunne høre for eksempel på telefonlinjen hvis de ligger nært strømkabler [6].

Feil på elektronisk utstyr:

Så lenge det er overharmoniske strømmer i nettet vil det alltid, ut i fra impedanseforskjellene, påvirke spenningskvaliteten. Blir denne påvirkningen for stor vil det kunne gå ut over elektronisk utstyr. I normale stive nett er det likevel sjeldent at overharmoniske nett gir såpass stort utslag på spenningskvaliteten at det gir konsekvenser for utstyr [7].

2.6 Tiltak mot harmoniske strømmer

Ideelt sett hadde det vært best hvis man lot være å benytte seg av utstyr som genererer harmoniske strømmer. Men siden stort sett alt man går til anskaffelse av nå inneholder mye elektronikk, vil dette nesten være umulig å unngå. Det finnes flere tiltak man kan gjøre for å redusere problemene overharmoniske strømmer kan medføre [1]:

- Filter
- Oppdeling av nett
- Øking av reaktanser
- Tilstrekkelig dimensjonering av kabler, skinner og lignende for å unngå konsekvenser

Filter

Filter er en elektronisk komponent som blir satt inn i anlegget for å begrense mengden harmoniske strømmer. Fordelen med å benytte filter er at man får redusert de harmoniske strømmene nær støykilden slik at de ikke fordeles ut på nettet. Filtrene er derimot ikke retningsbestemte og vil dermed bli belastet fra alle kildene til harmoniske strømmer på nettet. Det finnes to prinsipper som brukes ved oppbygging av slike filter:

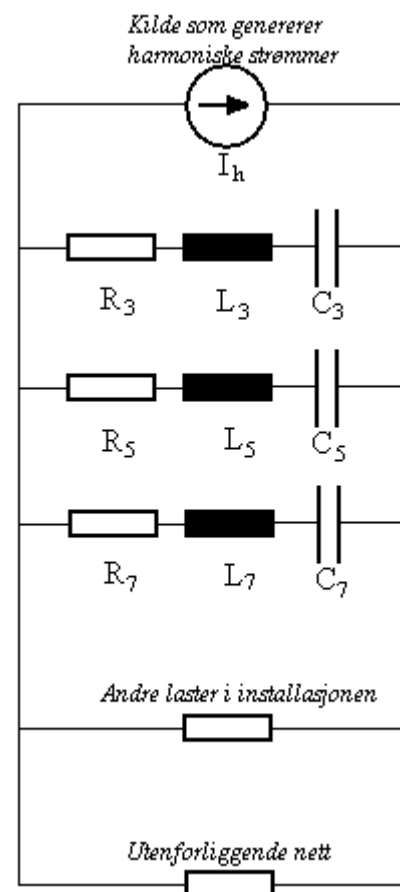
- Shuntfilter (parallell)
- Seriefilter

Shuntfilteret har som jobb å kortslutte de harmoniske strømmene, og er som vist i Figur 2-14 koblet i parallell med komponenten som genererer de harmoniske strømmene. For å gjøre dette må filteret være oppbygd slik at impedansen er lavere for de harmoniske strømmene man ønsker å fjerne enn for de andre frekvensene. For de laveste frekvensene er filteret bygd opp slik at det kun slipper gjennom frekvensene rundt de harmoniske, mens for de høye harmoniske sørger et høypassfilter for at all frekvensene slipper gjennom. De strømmene som slipper gjennom vil da bli kortsluttet i filteret og ikke forplante seg ut på nettet.

Seriefilterets oppgave er å sperre for de harmoniske spenningene. Dette filteret vil passe godt for mindre apparater der funksjonene kan forstyrres av forstyrrelser på nettet. Filtret vil derimot ikke egne seg for utstyr som trekker stor effekt, ettersom spolen i filteret må dimensjoneres etter strømmen som trekkes, noe som kan bli veldig kostbart.

Videre finnes det både aktive og passive filtre. De passive filtrene sperrer eller slipper gjennom gitte frekvenser (etter hvordan de er oppbygd). De aktive filtrene vil derimot sette opp motsatt rettede harmoniske, i forhold til de harmoniske strømmene gitt fra lasten, slik at de utligner hverandre. I tillegg gir de aktive filtrene en fasekompensasjon som gir lavere effekttap [1].

Filtre blir sett på som den mest effektive metoden for fjerning av harmoniske strømmer, men dette er også et ganske dyrt tiltak.



Figur 2-14 Oppbygging av shuntfilter

Oppdeling av nett

Dette tiltaket går ut på å legge inn fordelingstransformator mellom de ulineære lastene og resten av nettet. På grunn av transformatorene og reaktansene vil de harmoniske strømmene bli redusert ut mot resten av nettet. Dette kan fort bli det dyreste tiltaket.

Øking av reaktanser

En måte å redusere de harmoniske spenningene i et anlegg på, er å la impedansen i tilførselsledningene til apparatet som genererer de harmoniske være høyere enn impedansen i resten av anlegget. Hvis denne løsningen velges er det viktig at impedansen er avpasset til det aktuelle utstyret. Hvis ikke vil spenningsstapet over tilførselsledningen bli for stort. Dette kan være en rimelig og god løsning for utstyr som trekker liten effekt. En ulempe med dette valget vil derimot være hvis de andre komponentene i kretsen har så lavt forbruk at de vil stå for en stor impedans. Da vil ikke tiltaket oppnå sitt mål. [1]

Dimensjonering

Som nevnt over finnes det flere tiltak man kan gjøre for å redusere mengden med harmoniske strømmer som vil være i et anlegg. Men ettersom stort sett alt av utstyr som blir satt inn i nye bygg nå inneholder elektronikk og lignende som vil generere harmoniske strømmer, vil det både av praktiske og økonomiske grunner være nesten umulig å fjerne alt. En generell løsning som derfor blir brukt i stort sett alle anlegg, er å ta forbehold om harmoniske strømmer når man dimensjonerer kabler og strømskinner. I NEK400 [5] finnes det også en tabell man forholder seg til når det gjelder strømmer i N-leder. Her blir det benyttet reduksjonsfaktorer ved høyt harmonisk innhold i fasestrømmen.

2.7 Dimensjoneringskriterier etter NEK 400

Som nevnt blir overharmoniske strømmer omtalt i NEK 400. Den forklarer hvordan man skal forholde seg til dimensjoneringen av N-leder i forskjellige situasjoner. Hvis den overharmoniske andelen er større enn 10% skal ledertverrsnittet for N-leder ikke være mindre enn ledertverrsnittet for faseleder [5, kap. 523.6.3]. Videre blir reduksjonsfaktorer på grunn av overharmoniske strømmer i 4-og 5-lederkabler med 4 strømførende ledere omtalt i informativt tillegg 52C [5]:

Avsnitt 523.6.3 konstaterer at dersom nøytrallederen fører strøm uten at det finnes en reduksjon i fasestrømmene, skal nøytrallederstrømmen tas med i vurderingen for å bestemme kursens strømføringsevne.

Avsnitt 523.6.3 har til hensikt å dekke situasjonen hvor det flyter strøm i nøytrallederen i symmetrisk belastet trefasesystem. Slike nøytrallederstrømmer oppstår fordi fasestrømmene har et innhold av overharmoniske som ikke nulles ut i nøytrallederen. Den mest signifikante overharmoniske som ikke nulles ut er vanligvis tredje harmoniske. Størrelsen av den tredje harmoniske strømmen i nøytrallederen kan overstige størrelsen av den grunnharmoniske fasestrømmen. I slike tilfeller vil nøytrallederstrømmen ha en signifikant innflytelse på strømføringsevnen for kablene i kursen.

Reduksjonsfaktorene i dette tillegget gjelder for symmetrisk belastet trefase kurser. Det er kjent at situasjonen vil forverres dersom bare to av de tre fasene er belastet. I slike tilfeller vil nøytrallederen føre overharmoniske strøm i tillegg til en usymmetrisk strøm. Slike situasjoner kan føre til en overbelastning av nøytrallederen.

Utstyr som vanligvis vil gi en signifikant overharmonisk strøm er, for eksempel, lysørarmaturer og likestrømsforsyninger som blant annet finnes i PC'er. Ytterligere informasjon om overharmoniske forstyrrelser finnes i NEK EN 61000-seriern.

Reduksjonsfaktorene definert i Tabell 52C-1 gjelder kun for kabler hvor nøytrallederen er i en 4- eller 5-lederkabel og er av samme ledermaterial og har samme ledertverrsnitt som faselederne. Disse reduksjonsfaktorene er utregnet på basis av tredje harmoniske strømmer. Hvis et signifikant bidrag, mer enn 10%, høyere harmoniske strømmer forventes (for eksempel 9. eller 12. harmoniske), gjelder lavere reduksjonsfaktorer. Dersom det er en ubalanse mellom fasestrømmene på mer enn 50% vil også lavere reduksjonsfaktorer gjelde.

De tabulerte reduksjonsfaktorene vil når de anvendes for å finne strømføringsevnen for en kabel med tre belastede ledere, gi en strømføringsevne for en kabel med fire belastede ledere hvor strømmen i den fjerde lederen er pga. overharmoniske. Reduksjonsfaktorene tar også i betraktning virkningen av oppvarmingen pga. harmoniske strøm i faselederne.

Dersom nøytrallederstrømmen forventes å bli høyere enn faselederstrømmen, skal kablens ledertverrsnitt velges på basis av nøytrallederstrømmen.

Når kabelens ledertverrsnitt velges på basis av en nøytrallederstrøm som ikke signifikant større enn fasestrømmen, er det nødvendig å redusere de tabulerte strømføringsevnene for de tre belastede ledere.

Dersom nøytrallederstrømmen er mer enn 135% av fasestrømmen og kabelens ledertverrsnitt er valgt på basis av nøytrallederstrømmen, vil de tre faselederen ikke være fullt belastet. Reduksjonen i varmeutviklingen fra faselederne vil motvirke den ekstra varmeutviklingen i nøytrallederen slik at det ikke er nødvendig å anvende en reduksjonsfaktor til strømføringsevnen for tre belastede ledere.

Tabell 52C-1
Reduksjonsfaktorer for overharmoniske strømmer i 4- og 5-lederkabler

| 3. harmoniske innhold i fasestrømmen [%] | Reduksjonsfaktor | |
|--|---|---|
| | Ledertverrsnitt valgt på basis av fasestrøm | Ledertverrsnitt valgt på basis av nøytrallederstrøm |
| 0-15 | 1,0 | - |
| 15-33 | 0,86 | - |
| 33-45 | - | 0,86 |
| >45 | - | 1,0 |

Harmoniske spenninger

I tillegg til dimensjoneringskriteriene rundt harmoniske strømmer fra NEK-400, blir harmoniske spenninger omtalt i Europnorm EN 50160.

Kildespenningens THD, som inkluderer harmoniske til og med nr. 40, skal være mindre enn eller lik 8%. [13]

Kravene til hver enkelt av de harmoniske spenningene er gitt ved denne tabellen:

Tabell 1 Krav til hver enkelt av de harmoniske spenningene målt ved klemmene til en kilde [13].

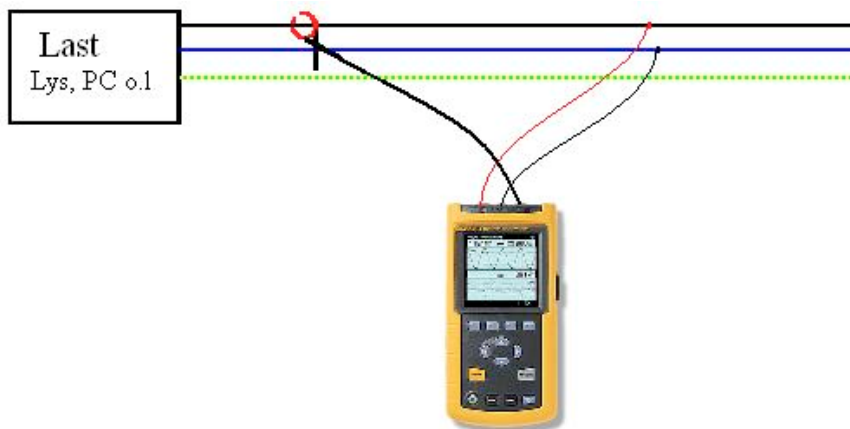
| Odde harmoniske | | | | Like harmoniske | |
|--------------------|----------------------|---------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| Ikke multiple av 3 | | Multiple av 3 | | Orden n | Relativ spenning [%] |
| Orden n | Relativ spenning [%] | Orden n | Relativ spenning [%] | | |
| 5 | 6 | 3 | 5 | 2 | 2 |
| 7 | 5 | 9 | 1,5 | 4 | 1 |
| 11 | 3,5 | 15 | 0,5 | 6..24 | 0,5 |
| 13 | 3 | 18 | 0,5 | | |
| 17 | 2 | 21 | 0,5 | | |
| 19 | 1,5 | | | | |
| 23 | 1,5 | | | | |

3 Utførelse av målinger

Det er i denne oppgaven foretatt målinger på forskjellige typer utstyr, samt målinger på større anlegg.

Utstyr

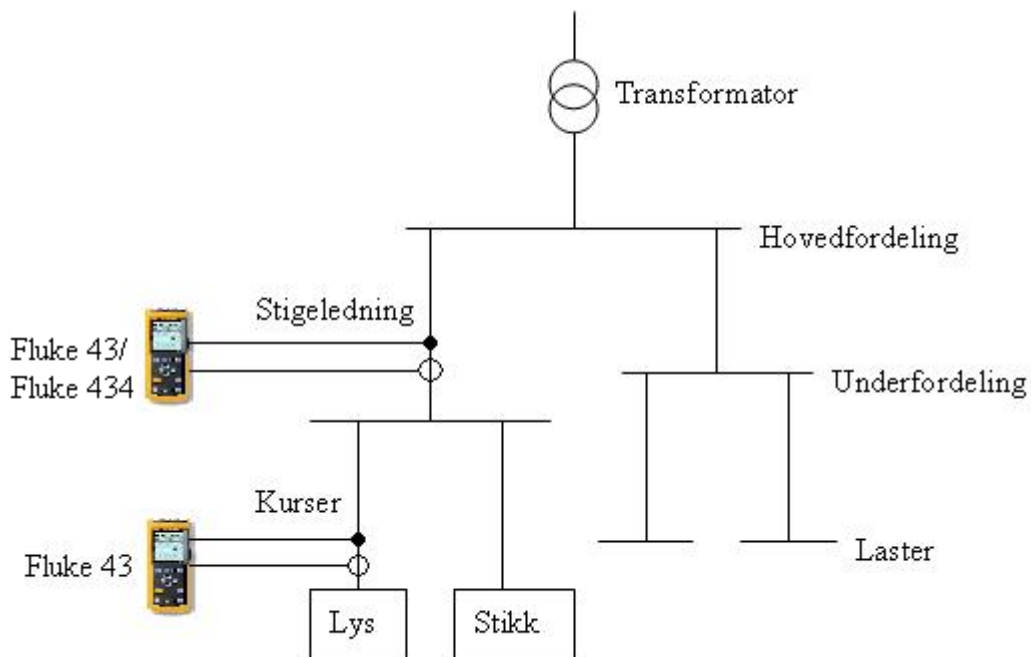
Det er blant annet blitt utført tester på belysningsutstyr og PC'er. For å utføre disse testene ble "Power meter" Fluke 43 benyttet. Oppkoblingen ble gjort ved å koble til spenningsmålere mellom fase og N-leder. Deretter kobles en strømtang på den lederen som er aktuell å måle strømmen på, som vist i Figur 3-1.



Figur 3-1 Oppkobling av måleutstyr ved målinger på last

Større anlegg

Det er gjort målinger ute på forskjellige anlegg. Der er det gjort strøm- og spenningsmålinger på stigeledninger og på kursnivå. Også her ble Fluke 43 benyttet. I tillegg ble Fluke 434 brukt for trefasemålinger.



Figur 3-2 Oppkobling av måleutstyr på anlegg

4 Resultater

Dette kapittelet vil vise resultater som er oppnådd ved målinger gjort på forskjellige typer utstyr som er kjent for å skape harmoniske strømmer, samt målinger på forskjellige typer bygg. I dette kapittelet er det kun små kommentarer, mens analyse og diskusjon av resultatene vil bli presentert i kapittel 5.

4.1 Utstyr

Ved dimensjonering av nye anlegg vil det være nyttig å vite hvilke typer utstyr som genererer hvilke harmoniske strømmer. Som nevnt under teorikapittelet er det kjent at datautstyr er en stor kilde for harmoniske strømmer. Videre bidrar også forskjellig belyningsutstyr. Her vil det derfor bli sett på problemstillinger som;

- Har mengden harmoniske strømmer fra datamaskiner endret seg noe de siste tiårene?
- Hvordan har de i så fall endret seg?
- Hvordan er virkningen av forskjellig typer belyningsutstyr?

4.1.1 Datamaskiner

Det er utført målinger på datamaskiner fra de siste tiårene. Det ble målt på strømforbruk, THD, de forskjellige harmoniske bidragene og effektforbruk. Måleinstrumentet som ble brukt var FLUKE43. Dette er hovedsakelig beregnet for å måle større strømmer enn hva en datamaskin trekker, så størrelsen på strøm og effekt ble ikke helt nøyaktig. Det er gjort målinger på datamaskiner fra 80-, 90- og 2000-tallet.

Målte datamaskiner:

Tabell 2 Datamaskiner som ble brukt til måling

| Hva | Årstall | Merke | Type |
|--------------|---------|-----------------|------------------------|
| Stasjonær PC | 1981 | Tandberg | TDV 2200 |
| Stasjonær PC | 1984 | IBM | 5170 |
| Stasjonær PC | 1993 | byggePC | Seventeam Power Supply |
| Stasjonær PC | 1998 | byggePC | King Year Power Supply |
| Stasjonær PC | 1999 | DELL | Optiplex GX1p |
| Stasjonær PC | 2001 | DELL | Optiplex GX270 |
| Bærbar PC | 2006 | Fujitsu Siemens | Amilo |
| Bærbar PC | 2007 | DELL | Latitude D630 |
| Stasjonær PC | 2009 | DELL | Optiplex 960 |
| Bærbar PC | 2010 | DELL | Latitude E6400 |

Det ble målt:

- I [A] – Total strøm
- THD_f [%] – Total harmonisk forvrengning i forhold til grunnharmonisk komponent
- Found [A] – Strømamplitude til grunnharmonisk komponent
- P [W] – Målt effekt (denne vil være litt unøyaktig)
- $3h-21h$ [%] – 3. til 21.- harmonisk komponent i prosent i forhold til grunnharmonisk komponent

Tabell 3 Oversikt over måleresultater fra forskjellige datamaskiner

| | <i>Tanberg 1981</i> | <i>IBM 1984</i> | <i>Bygge PC 1993</i> | <i>Bygge PC 1998</i> | <i>DELL 1999</i> | <i>DELL 2001</i> | <i>Fujitsu Laptop 2006</i> | <i>DELL Laptop 2007</i> | <i>DELL 2009</i> | <i>DELL Laptop 2010</i> |
|--------------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| I [A] | 0,27 | 0,67 | 0,21 | 0,28 | 0,33 | 0,51 | 0,53 | 0,20 | 0,32 | 0,06 |
| THD_f [%] | 117,4 | 134,2 | 145,0 | 143,3 | 164,7 | 73,1 | 190,0 | 193,6 | 17,0 | 68,1 |
| Found [A] | 0,18 | 0,40 | 0,12 | 0,16 | 0,17 | 0,41 | 0,25 | 0,09 | 0,31 | 0,06 |
| P [W] | 40 | 90 | 30 | 40 | 40 | - | - | - | - | - |
| 3h | 86,1 | 88,9 | 87,0 | 93,2 | 90,8 | 68,1 | 96,4 | 95,2 | 15,7 | 45,8 |
| 5h | 64,6 | 74,4 | 79,6 | 78,1 | 85,5 | 18,6 | 89,2 | 90,5 | 1,4 | 33,3 |
| 7h | 39,2 | 53,9 | 63,0 | 60,3 | 72,4 | 13,1 | 79,3 | 83,3 | 0,7 | 4,2 |
| 9h | 19,0 | 33,9 | 42,6 | 38,4 | 59,2 | 15,3 | 68,5 | 71,4 | 2,9 | 8,3 |
| 11h | 7,6 | 15,6 | 27,8 | 20,5 | 42,1 | 4,9 | 55,9 | 57,1 | 0,7 | 12,5 |
| 13h | 6,3 | 4,4 | 14,8 | 8,2 | 26,3 | 0,5 | 45,0 | 47,6 | 2,1 | 8,3 |
| 15h | 8,9 | 7,8 | 7,4 | 4,1 | 14,5 | 1,1 | 33,3 | 35,7 | 0,7 | 4,2 |
| 17h | 5,1 | 9,4 | 5,6 | 5,5 | 3,9 | 2,2 | 26,1 | 26,2 | 0,7 | 4,2 |
| 19h | 2,5 | 6,1 | 5,6 | 5,5 | 3,9 | 2,2 | 18,0 | 11,9 | 0,7 | 4,2 |
| 21h | 1,3 | 2,8 | 1,9 | 4,1 | 2,6 | 0,5 | 15,3 | 14,3 | 0,7 | 4,2 |

Vi ser at målingene viser en stor forvrengning, med en THD_f helt opp mot 200%. De 3. og 9. harmoniske er også store, og vil helt klart gi store påvirkninger for N-leder i installasjoner med TN-nett.

Utviklingen viser at det spesielt i de siste årene har blitt en kraftig forbedring innen strømforvrengning både hos stasjonære og bærbare datamaskiner.

4.1.2 Belysningsutstyr

Som nevnt er også belysningsutstyr en relativt stor bidragsyter til harmoniske strømmer i en installasjon. Hvor mye forstyrrelse det vil gi kommer blant annet an på hvilken type lyskilde det er. Om det er gasser, hvilke gasser det er og så videre. Men mye av de harmoniske bidragene vil også oppstå på grunn av forkoblingsutstyret. Innen dette kan man skille mellom konvensjonelt og elektronisk forkoblingsutstyr. I denne oppgaven er det målt på forskjellige typer lyskilder, samt sett på forskjellen mellom de forskjellige forkoblingene.

Belysningsutstyret som er blitt målt er:

Tabell 4 Belysningsutstyr som ble brukt til måling

| <i>Type</i> | <i>Forkobling</i> | <i>Merke</i> | <i>Styrke</i> | <i>Annet</i> |
|-----------------|-------------------|--------------|---------------|------------------------------------|
| Sparepære | | Osram | 11 W | |
| LED | | Megaman | 15+8 W | |
| Halogen | | Sylvania | 100 W | |
| Glødepære | | Thorn | 60 W | |
| Lysrør | Elektronisk | Helvar | 2x58 W | |
| Lysrør | Konvensjonell | Zumtobel | 2x58 W | |
| Metallhalogen | Elektronisk | Philips | 150 W | Målt med forskjellige forkoblinger |
| Høytrykknatrium | Elektronisk | Osram | 150 W | Målt med forskjellige forkoblinger |

Målingene ble delt opp i:

- Lyskilder for hjembelysning
- Lysrør
- Damplamper

Også her ble målingene målt med THD_f (total harmoniske forvrengning i forhold til grunnharmoniske komponent)

Lyskilder for hjembelysning

Målingene av de forskjellige lyskildene ble gjort med bare en og en enhet, noe som medførte ganske lav strøm. Dette kan være med på å gjøre målingene litt unøyaktige. Ut i fra resultatene som er presentert i Tabell 5 får man likevel en god pekepinn på strømforbruk og generering av harmoniske strømmer til de forskjellige lyskildene.

Tabell 5 Oversikt over målinger av forskjellig belysningsutstyr

| Type | I_{rms} [A] | THD_f [%] | 3h [%] |
|----------------|---------------|-------------|--------|
| Sparepære 11 W | 0,06 | 135,2 | 86,7 |
| LED 15+8W | 0,11 | 104,1 | 100,0 |
| Glødepære 60W | 0,18 | 9,6 | 1,3 |
| Halogen 100W | 0,33 | 5,4 | 0,8 |

Ser en merkbart større forvrengning i de energisparende lyskildene.

Lysrør

Når det gjelder lysrør er det forskjellen på konvensjonelt og elektronisk forkoblingsutstyr som utgjør den største forskjellen når man ser på harmoniske strømmer. Det ble gjort målinger på flere armaturer av samme type, men i Tabell 6 er bare de lysrørarmaturene med høyeste THD presentert:

Tabell 6 Oversikt over målinger av armaturer

| Type | Forkobling | I_{rms} [A] | THD _f [%] | 3h [%] |
|--------|---------------|---------------|----------------------|--------|
| Lysrør | Elektronisk | 0,43 | 6,9 | 5,2 |
| Lysrør | Konvensjonell | 0,52 | 23,7 | 20,1 |

Ser en merkbar nedgang i forvrengningen fra konvensjonell til elektronisk forkobling. Det er videre interessant å se om resultatet vil endre seg vesentlig ved øking av antall belysningskilder. I Tabell 7 presenteres målinger på armaturer med konvensjonelt- og elektronisk forkoblingsutstyr med henholdsvis 3 og 2 enheter.

Tabell 7 Måling av økende antall armaturer

| Type | Antall | 1 | 2 | 3 |
|---------------|--------|------|------|------|
| Lysrør | THD | 24,5 | 26,3 | 27,4 |
| Konvensjonell | 3h | 22,0 | 22,1 | 22,7 |
| Lysrør | THD | 6,4 | 4,8 | - |
| Elektronisk | 3h | 6,6 | 6,0 | - |

Damplamper

Damplamper brukes blant annet til gatelykter og i tunneller. Det er hovedsakelig to lyskilder som er mest i bruk; metallhalogen og høytrykk natriumlampe. Det var derfor interessant å se om valget mellom de to ville påvirke de harmoniske bidragene. I tillegg var det interessant å se om man vil oppleve noen stor forskjell når man velger forskjellige forkoblingsprodusenter. Tilgjengelig for målinger var to veilyarmaturer med forkoblinger fra henholdsvis Philips og Selc.



Figur 4-1 Bilde fra måling av veily

Tabell 8 Oversikt over målinger av veily med forskjellige forkoblinger

| Type | Forkobling | Forkobl. type | I_{rms} [A] | THD _f [%] | 3h [%] |
|------------------|-------------|---------------|---------------|----------------------|--------|
| Metalhalogen | Elektronisk | Philips | 0,73 | 6,1 | 5,5 |
| Metalhalogen | Elektronisk | Selc | 0,71 | 4,6 | 3,7 |
| Høytrykk natrium | Elektronisk | Philips | 0,70 | 6,7 | 6,0 |
| Høytrykk natrium | Elektronisk | Selc | 0,71 | 4,3 | 3,4 |

4.2 Anlegg

4.2.1 Undervisningsbygg

For å se på harmoniske strømmer i større installasjoner ble det blant annet gjennomført målinger på EL-bygget på NTNU Gløshaugen. Dette er et bygg som inneholder mange kontor, lesesaler, datasaler og større undervisningsrom.

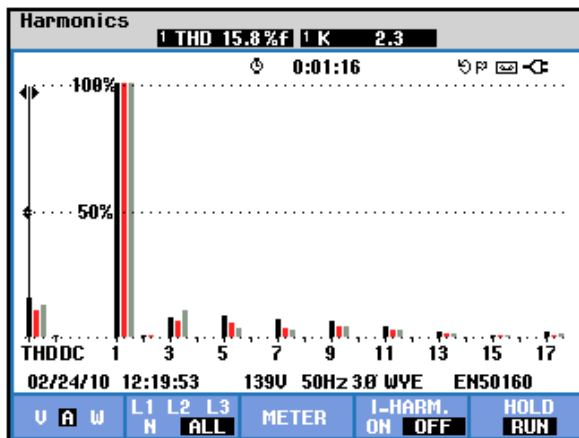
Målingene ble utført på en underfordeling i 3.etg. Her ble det gjort målinger med et trefase-måleinstrument (FLUKE 434) på stige-kabelen, og enfase-måleinstrument (FLUKE 43) på kursnivå.



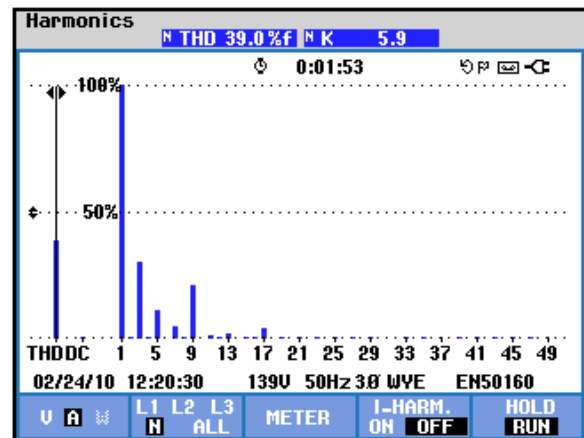
Figur 4-2 EL-bygget, NTNU Gløshaugen [8]

Stigeledning

Under er målingene av stige-kabelen presentert grafisk og i tabell.



Figur 4-3 Fordeling av harmoniske strømmer i stige-kabel, (L1 L2 og L3)



Figur 4-4 Fordeling av harmoniske strømmer i stige-kabel, (N)

Tabell 9 Verdier for harmoniske spenninger og strømmer i stige-kabelen

| HARMONICS TABLE | | | | |
|-----------------|------------|------|------|------|
| | 3s 0:00:30 | | | |
| Volt | L1 | L2 | L3 | N |
| THD%f | 1.2 | 1.0 | 1.1 | 44.5 |
| H3%f | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 25.8 |
| H5%f | 0.8 | 0.5 | 0.6 | 6.2 |
| H7%f | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 2.2 |
| Amp | L1 | L2 | L3 | N |
| THD%f | 15.7 | 10.6 | 12.7 | 39.2 |
| H3%f | 7.5 | 6.8 | 10.5 | 30.4 |
| H5%f | 8.5 | 5.4 | 3.8 | 11.4 |

Vi ser en forholdsvis liten forvrengning i strømmen på stige-kabelen, noe som også gjenspeiler liten forvrengning av spenningen.

Kursnivå

Det ble utført målinger på 10 forskjellige kurser, hvor halvparten går til belysning og den andre halvparten går til stikkontakter. Stikkene blir i all hovedsak brukt til datautstyr.

Tabell 10 Resultater fra målinger i ELbygget på kursnivå

| Målested | Strøm [A] | Strøm THD [%F] | Strøm 3h [%RMS] | Andre kommentarer |
|--------------|-----------|----------------|-----------------|-------------------|
| Lys korridor | 4,44 | 25,9 | 20,4 | Vern:16A |
| Lys verksted | 5,51 | 14,2 | 12,8 | Vern: 10A |
| Lys lab | 6,23 | 11,1 | 9,5 | Vern: 10A |
| Lys kontor | 1,63 | 16,3 | 14,5 | Vern: 10A |
| Lys verksted | 6,92 | 13,3 | 13,0 | Vern: 10A |
| Stikk kontor | 3,75 | 41,6 | 30,9 | Vern:16A |
| Stikk kontor | 0,65 | 33 | 22,4 | Vern:16A |
| Stikk kontor | 1,64 | 55,4 | 36,5 | Vern:16A |
| Stikk lyslab | 0,44 | 72,6 | 36,2 | Vern:16A |
| Stikk lyslab | 0,36 | 70 | 48,2 | Vern:16A |

Ser en vesentlig mengde THD og 3.harmoniske bidrag i kursene som går til stikk på kontorene, noe som kommer av datautstyret som er tilkoblet. Lyskursene viser 3.harmoniske bidrag som ligger rundt området hvor det er krav om bruk av reduksjonsfaktor for 4- og 5-leder kabler.

4.2.2 Helsehus

Det ble gjort målinger på Øya Helsehus. Dette er et helsehus som tilbyr behandling, observasjon, rehabilitering og avlastning. Det blir i tillegg benyttet av HiST og NTNU for undervisningsplasser til sykepleiere og medisin. Bygget er relativt nytt, det ble åpnet i november 2008.



Figur 4-5 Øya Helsehus [9]

For å få tilgang og hjelp til å gjennomføre målinger ble driftsansvarlig for bygget kontaktet. Det ble gitt tilgang for målinger i hovedfordelingen (HF) og i en underfordeling (UF) i 3. etasje (tilfeldig valgt). Både i HF og UF var det ganske trangt å komme til, noe som gjorde det vanskelig å komme til på alle steder det var ønskelig å måle.

I tabellene under presenteres de målte verdiene fra målingene på Øya Helsehus (gjennomført 21. desember).

Hovedfordeling

Tabell 11 Spenningsmåling av HF, Øya Helsehus

| Målested | RMS [V] | THD [%F] | 3-h [%F] | 5-h [%F] | 7-h [%F] |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| HF | 240 | 3,3 | 1,4 | 2,4 | 0,4 |

Tabell 12 Strømverdier for målinger i HF, Øya Helsehus

| Målested <i>HF</i> | Strøm [A] | Strøm THD [%F] | Strøm 3-h [%RMS] | Andre kommentarer |
|-----------------------|--------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Teknisk rom, L1 | 29,0 | 55,3 | 2,9 | Vern: 160 A |
| Teknisk rom, N | 5,0 | 20 | 16,3 | Vern: 160 A |
| Kantine, L1 | 22,1 | 9,7 | 7,5 | Vern: 160 A |
| Kantine, N | 14,5 | 11 | 11,5 | Vern: 160 A |
| Sjakt øst, L3 | 23,5 | 11 | 4,4 | Vern: 160 A |

Kursnivå

I underfordelingen ble det gjort målinger på kurser som gikk til offentlig belysning og til stikk. Stikkene er antatt å hovedsakelig bli brukt til datautstyr.

Tabell 13 Spenningsmåling av UF 3.etg, Øya Helsehus

| Målested | RMS [V] | THD [%F] | 3-h [%F] | 5-h [%F] | 7-h [%F] |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| UF 3.etg | 240,7 | 3,4 | 1,4 | 2,2 | 0,3 |

Tabell 14 Strømverdier for målinger i UF 3.etg, Øya Helsehus

| <i>Målested UF 3.etg</i> | <i>Strøm [A]</i> | <i>Strøm THD [%F]</i> | <i>Strøm 3-h [%RMS]</i> | <i>Andre kommentarer</i> |
|------------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 110 Lys korridor | 1,2 | 8,1 | 2,2 | Vern: 16 A |
| 114 Lys | 3,81 | 11,2 | 2,3 | Vern: 16 A |
| 203 Stikk Kontor | 0,48 | 96-99 | 52,3 | Vern: 16 A |
| 205 Stikk Kjøk.+behandl. | 0,26 | 17,4 | 5,5 | Vern: 16 A |
| 214 Stikk kontor | 1,07 | 86,2 | 47,2 | Vern: 16 A |

Ser at forvrengningen i spenningen er godt innenfor kravene til EN 50160. Videre ser man kun en liten forvrengning i lyskursene og en vesentlig forvrengning på stikkene. Det legges likevel spesielt merke til at belastningsgraden er særs lav.

4.2.3 Kulturhus

Det var videre ønskelig å se på harmoniske bidrag i et kulturhus. Bygget som ble målt på er Studentersamfundet i Trondhjem. Selve målingene ble gjennomført under en konsert i Storsalen. Under konsserter er det mye lyd- og lysutstyr som utgjør mye av strømforbruket, noe som anses å være det mest spesielle med et kulturhus.



Studentersamfundet i Trondhjem har et IT-nettanlegg, og vil derfor ikke falle under hovedfokus til denne oppgaven, **Figur 4-6 Studentersamfundet [10]** som er overbelastning av N-leder. Men man vil likevel ut i fra målingene se om harmoniske strømmer er utbredt i slike kulturhus, noe som er naturlig å anta. Til denne målingen ble det benyttet et trefase måleinstrument, Fluke 434. Dette ga full oversikt over både spenning og strøm på alle 3 fasene under målingen.

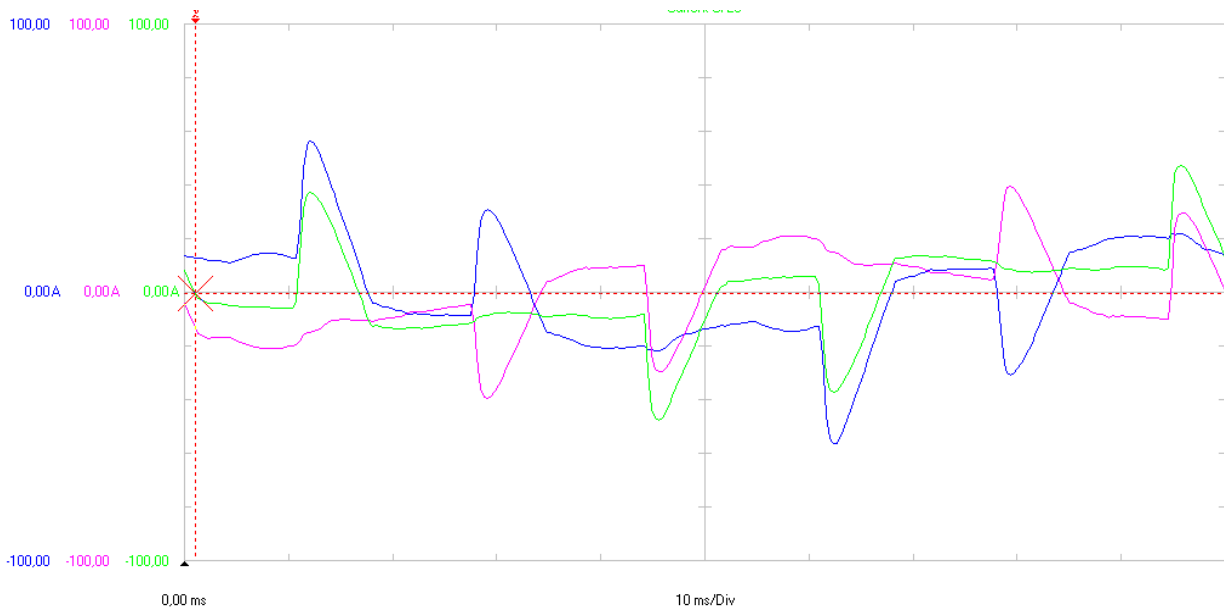
Målingene ble gjort i hovedfordelingen og det ble valgt å hovedsakelig se på kabelen som går opp til dimmerskapene til lysanlegget på scenen. Dette er en 2x3x150AL kabel, med 400/400 A sikring. Dimmerskapene er av typen ADB Eurorack 60, som benytter tyristorbasert teknologi.

Forbruket under en konsert vil variere i stor grad. Det er stor forskjell på hvilken mengde lys de forskjellige lysteknikerne og artistene ønsker å ha. Det er også blitt en vesentlig større bruk av bevegelig lys (moving heads), noe som ikke ble fanget opp under målingene siden disse er tilkoblet faststrøm.

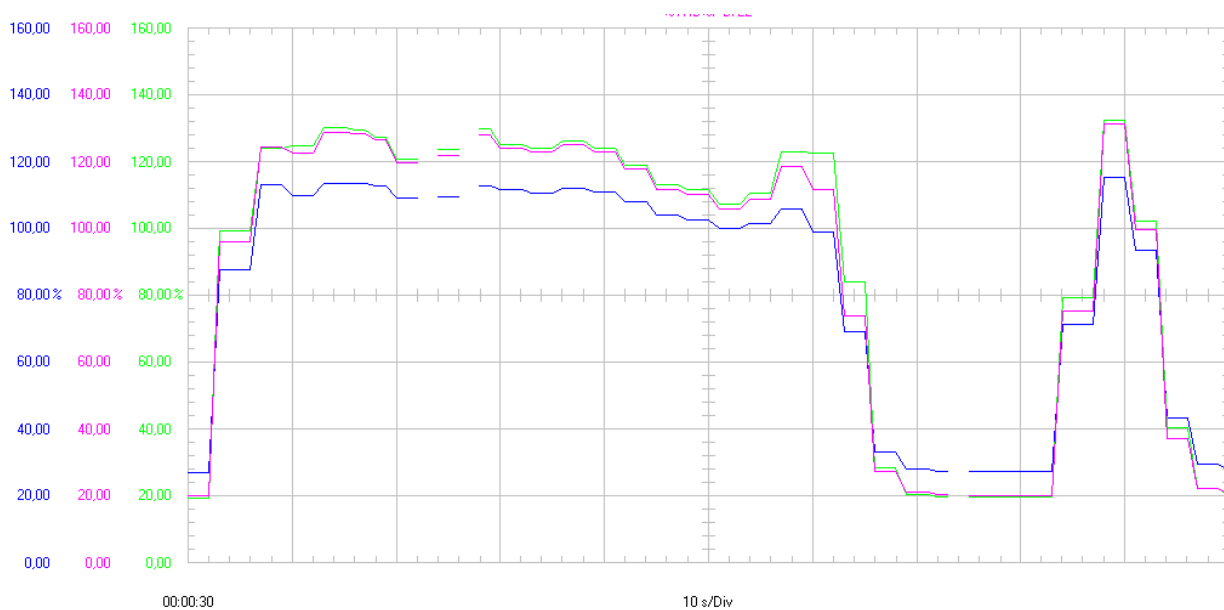
På grunn av de til enhver tid store forandringene på forbruket er det vanskelig å sette opp noen tabell som det ble gjort på de andre målingene. Derfor blir det i stedet presentert forskjellige bilder og logger gjort under konserten.



Figur 4-7 Fluke 434 fra målingen på Samfundet



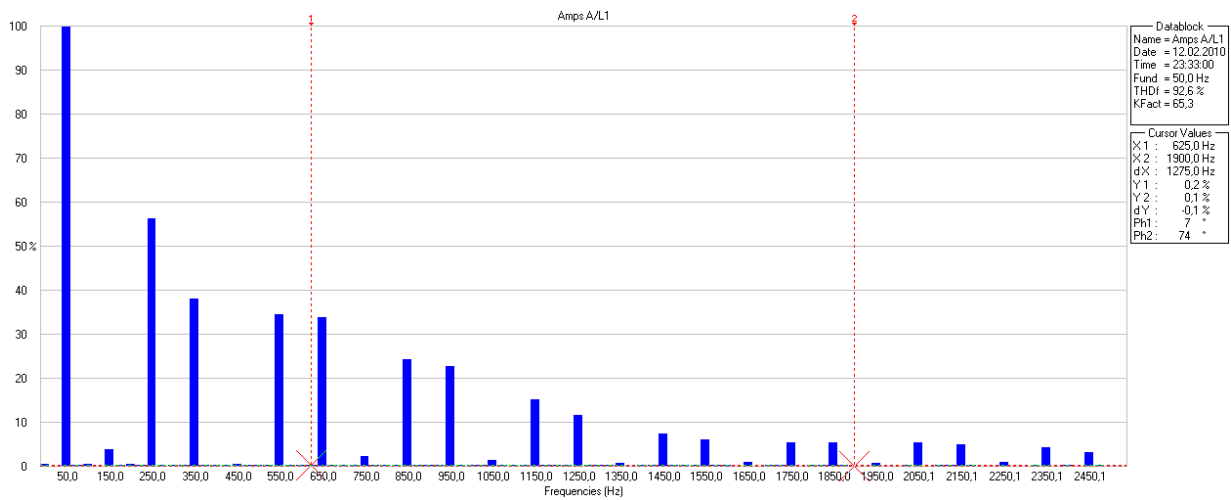
Figur 4-8 Strøm på de 3 fasene



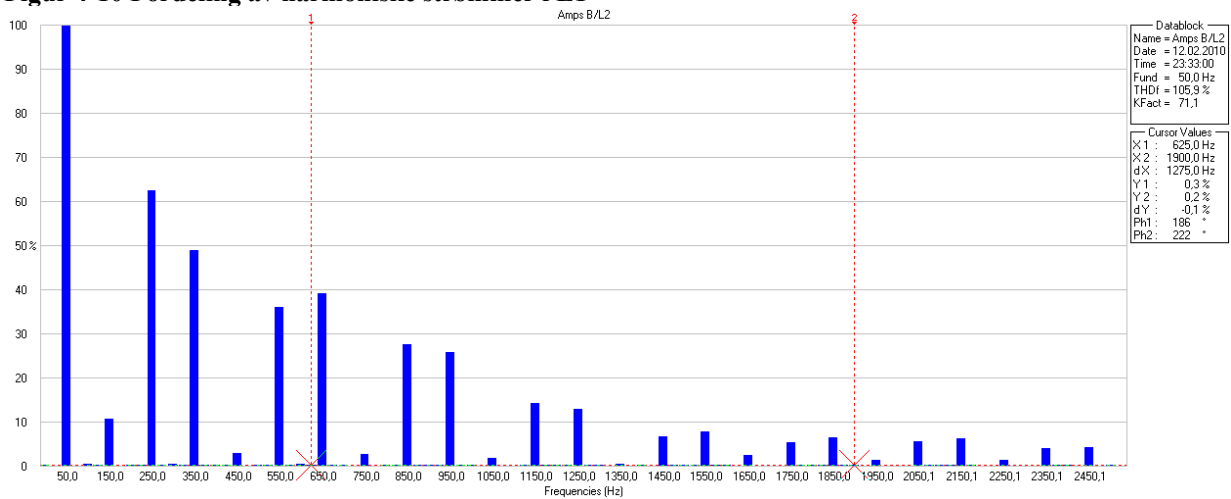
Figur 4-9 Endring av THD_f% på de 3 fasene over en periode av konserten

Vi ser av grafen, som viser en logging for en liten periode av konserten, at THD_fer over 120% når mye lys blir benyttet. Det er med andre ord stor sjanse for at det er mye harmoniske bidrag tilstede.

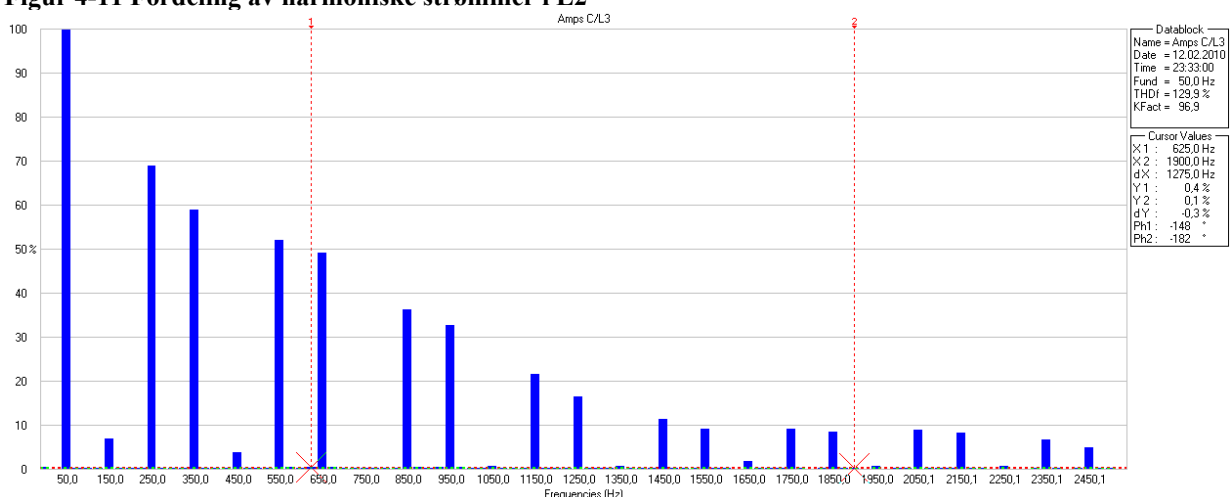
Under ser vi fordelingen av de harmoniske strømmene på de forskjellige fasene. Det harmoniske bidraget er relativt likt på alle fasene og er i høyeste grad til stede. Det man spesielt kan legge merke til, er at 3., 9., 15., 21., 27., 33., 39 og 45. harmoniske er tilnærmet kansellert.



Figur 4-10 Fordeling av harmoniske strømmer i L1



Figur 4-11 Fordeling av harmoniske strømmer i L2



Figur 4-12 Fordeling av harmoniske strømmer i L3

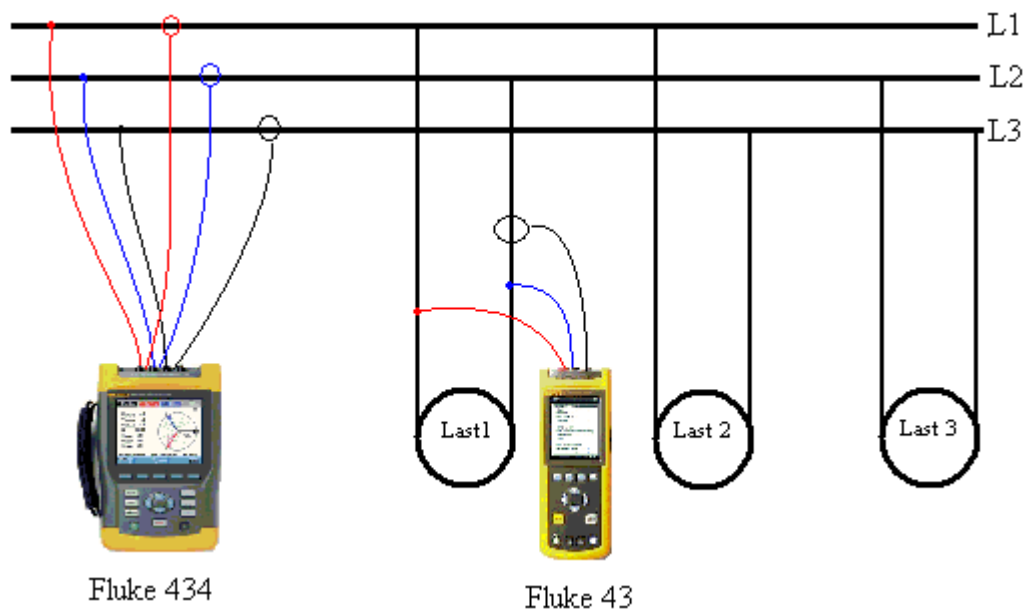
På grunn av nysgjerrigheten rundt hva grunnen til at alle odde tredjeharmoniske nesten var lik null, ble det bestemt å undersøke dette nærmere i kapittel 4.3.

4.3 Harmoniske strømmer i IT-nett

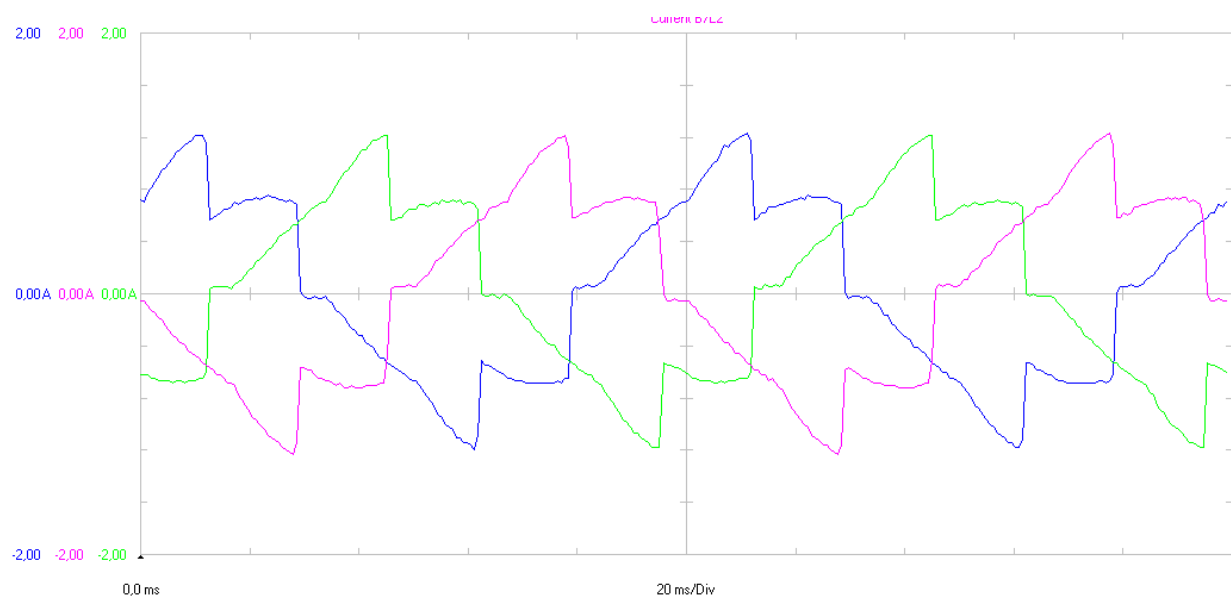
Fra målingene på Studentersamfundet kan man se et spesielt fenomen. Alle de odde trippelharmoniske strømmene (dvs. 3., 9., 15., 21., og 27.harmoniske osv.) er uforutsett lave. Dette spesielt siden man vil forvente å få et merkbart bidrag av 3.harmoniske fra en dimmer. Det ble derfor, i samarbeid med veileder, bestemt at dette skulle undersøkes litt nærmere.

Et laboppsett bestående av 3fase IT-nett, dimmere og glødepærer ble derfor laget. Her ble det sett på spørsmål som:

- Hva skjer med de harmoniske bidragene i et symmetrisk belastet IT-nett?
- Hva skjer med de harmoniske bidragene i et usymmetrisk belastet IT-nett?
- Blir de harmoniske bidragene til en spesifikk last påvirket av symmetri/usymmetri i nettet?

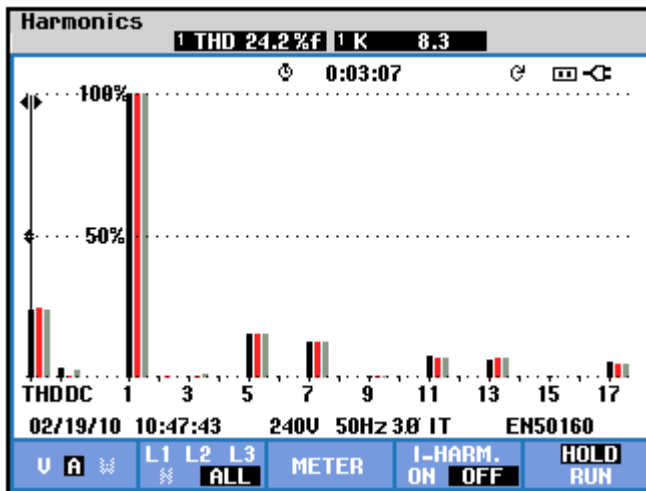


Figur 4-13 Laboppsett for målinger på IT-nett



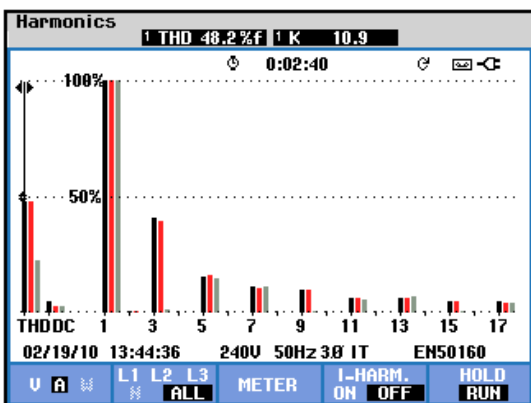
Figur 4-14 Strømkurver ved symmetrisk belastet nett

Først ble nettet belastet med lik last på alle fasene. Strømkurvene fra målingen er vist i Figur 4-14, og den harmoniske fordelingen er presentert i Figur 4-15.

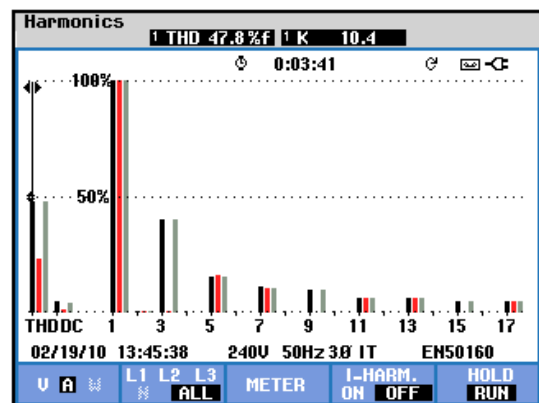


Figur 4-15 Symmetrisk lastet nett, målt på hovedkretsen

Det ble deretter sett på hva som skjer med den harmoniske fordelingen hvis man la ut enkelte laster. Resultatet av det kan man se i de neste figurene.



Figur 4-16 Last 1 koblet fra, målt på hovedkretsen



Figur 4-17 Last 2 koblet fra, målt på hovedkretsen

Til slutt ble det gjort målinger for å se på hva som skjer med strømmen på en last ved endringer av symmetrien på belastningen mellom fasene på installasjonen. Figurer fra disse målingene er presentert i vedlegg 3.

Bokstavene i første rad forteller om hvordan de 3 lastene er belastet.

h: høy m: middel l: lav

Tabell 15 Målinger av 3.harmoniske strømmer ved endring av lastene

| 3h [%] | <i>m-m-m</i> | <i>m-m-h</i> | <i>m-h-h</i> | <i>m-h-l</i> | <i>m-l-l</i> | <i>l-l-l</i> |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| L1 | 0,9 | 0,8 | 20,8 | 20,7 | 41,6 | 0,2 |
| L2 | 0,3 | 23,3 | 23,4 | 38,7 | 35,4 | 2,1 |
| L3 | 0,7 | 19,9 | 1,1 | 49,4 | 1,1 | 1,2 |
| Last ₁₂ | 47,8 | 47,1 | 45,7 | 48,8 | 46,4 | 66,0 |

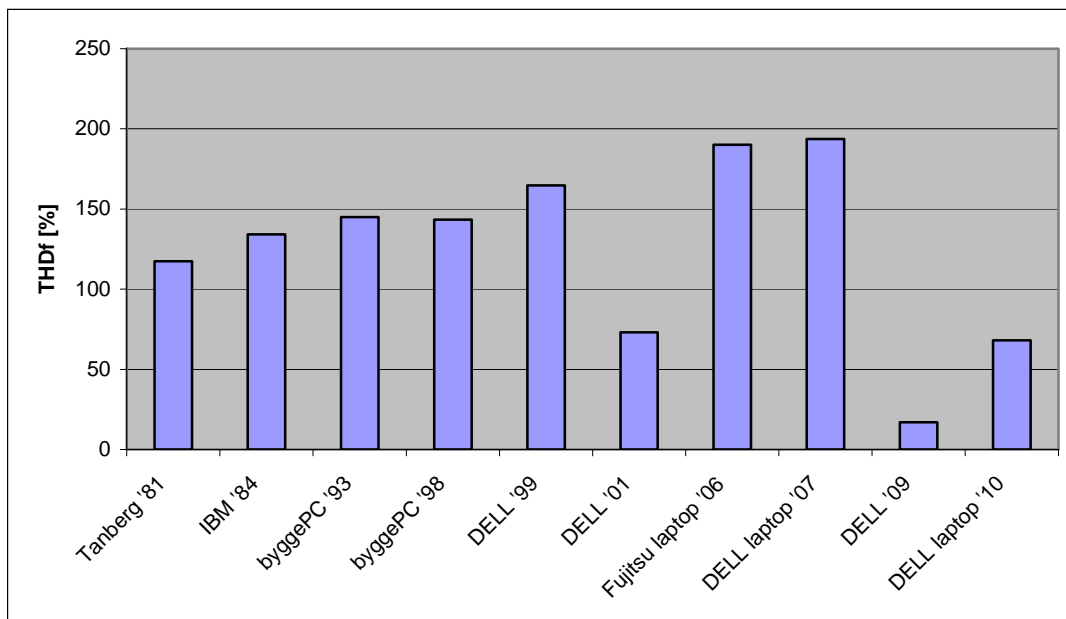
5 Analyse/Diskusjon

I dette kapittelet vil resultatene fra forrige kapittel bli sett på. De er analysert og det blir gjort en diskusjon rundt dem.

5.1 Utstyr

5.1.1 Datamaskiner

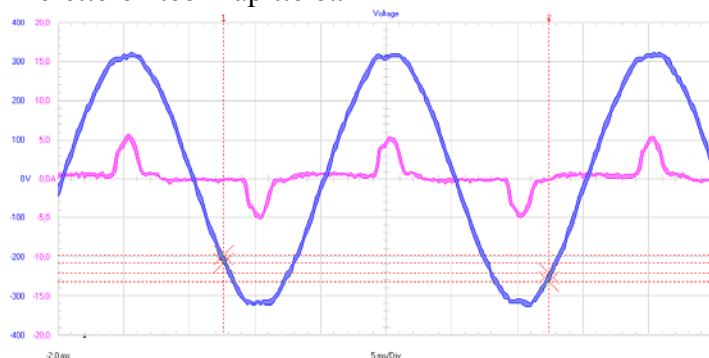
Når man måler på datamaskiner, er det i all hovedsak strømforsyningen som vil påvirke hvordan spekteret av harmoniske bidrag vil se ut. Det er antatt at strømforsyningene er fra ca samme årstall som de aktuelle datamaskinene.



Figur 5-1 Målt THD_f [%] på datamaskinene sortert i kronologisk rekkefølge

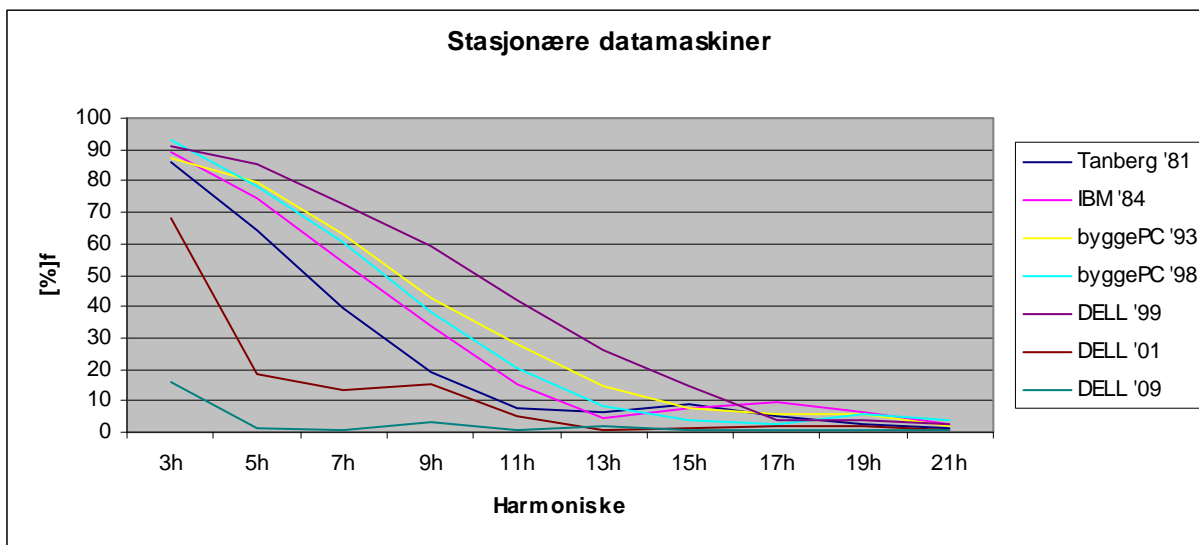
Vi ser her at datamaskiner i stor grad er en stor synder i installasjoner med tanke på harmoniske bidrag. Bærbare datamaskiner er helt tydelig den verste synderen, med THD_f helt opp mot 200%. Det er derimot veldig tydelig at det har vært en stor endring de siste årene, både for stasjonære og bærbare datamaskiner.

Figur 5-2 er tatt med for å vise at den målte strømmen samsvarer med det som er presentert for likerettere i teorikapittelet.

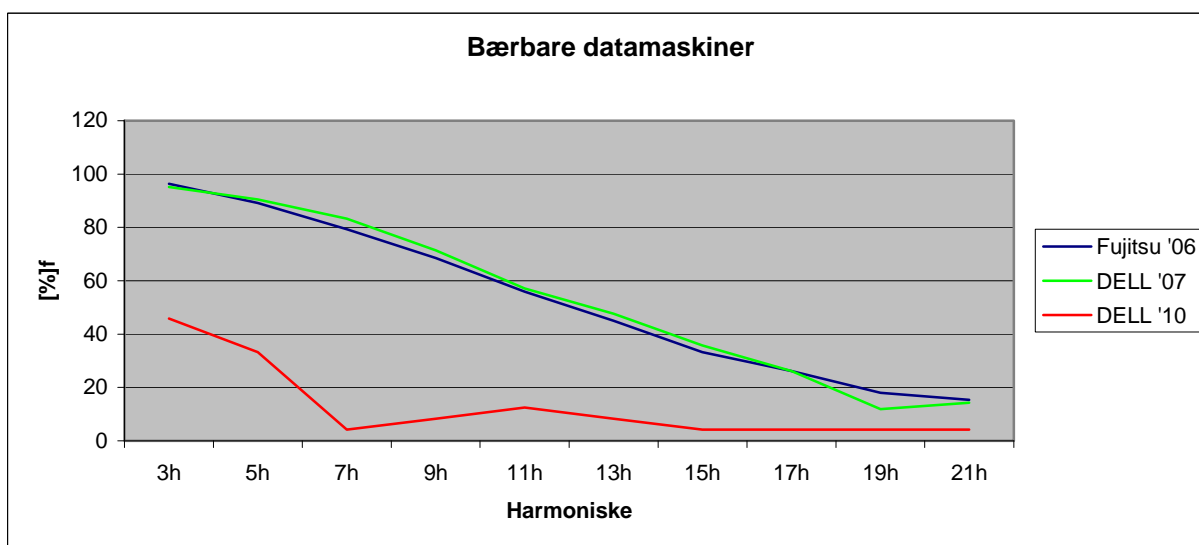


Figur 5-2 Eksempel på strøm- og spenningskurve fra måling av datamaskiner

Det ble sett på hele det harmoniske spekteret til de målte maskinene, og tallene som ble presentert i ”Resultater”-kapittelet er her presentert i to grafer, delt opp i stasjonære og bærbare datamaskiner.



Figur 5-3 Grafisk fremstilling av det harmoniske spekteret for stasjonære datamaskiner



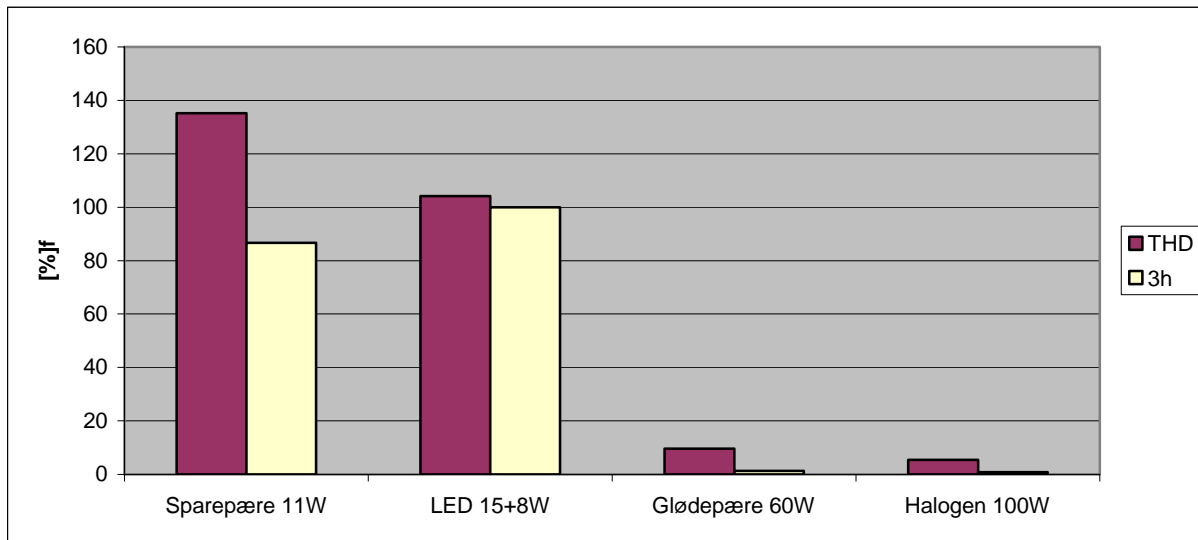
Figur 5-4 Grafisk fremstilling av det harmoniske spekteret for bærbare datamaskiner

Vi ser her at de eldre maskinene hadde mye harmoniske bidrag langt utover spekteret, og det 3.harmoniske bidraget ligger helt oppe i 90% av den grunnharmoniske. Det er derimot tydelig at det har vært store forandringer innen stasjonære datamaskiner det siste tiåret, og innen bærbare maskiner de siste årene. Nå er det 3.harmoniske bidraget henholdsvis kommet under 20 og 50%. Det harmoniske bidraget ser også ut til å hovedsakelig ligge innen 3. og 5.harmoniske, i stedet for å være spredd langt utover spekteret. Man kan ut i fra dette konkludere med at selv om datamaskiner fortsatt er en av ”verstingene”, så er problemet blitt kratig redusert.

Det bør tas et lite forbehold om denne konklusjonen med tanke på at det kun er gjort målinger på et lite utvalg maskiner, men tendensen er tydelig.

5.1.2 Belysningsutstyr

Lyskilder for hjembelysning



Figur 5-5 Oversikt over total THD og 3h hos dagligdagse lyskilder

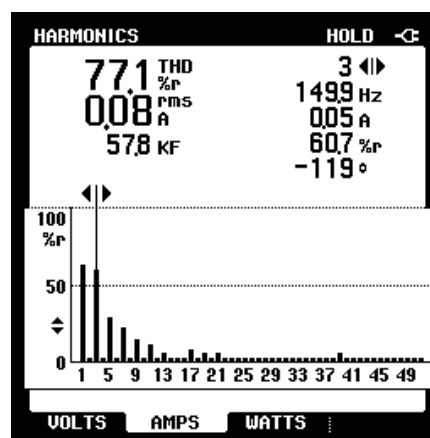
Den mest brukte lyskilden har alltid vært glødepæren. Som vi ser genererer den minimalt med harmoniske strømmer, noe som kommer av at den er en tilnærmet lineær last. Ut i fra skjermbildet fra måleinstrumentet (vedlegg 2), ser vi at det harmoniske bidraget ligger spredt med lav amplitude over hele skalaen. Det samme ser vi også med halogenlampen. Høsten 2009 ble det bestemt av regjeringen at det skulle stilles strengere energikrav til valg av belysningskilder, og 1. september 2009 ble første forbud satt i kraft. Det gjaldt alle matte glødepærer og klare glødepærer over 100W. Flere forbud vil komme i årene fremover, og fra 1. september 2012 vil det være totalforbud mot alle glødepærer [11]. Dette vil medføre at lyskilder som sparepærer og LED vil bli mest brukt i fremtiden.

Som man ser ut i fra Figur 5-5 er det harmoniske bidraget i disse lyskildene vesentlig større. Det 3. harmoniske bidraget vil tidvis kunne være like stort som det grunnharmoniske. Grunnen til dette kommer av innholdet av elektronikk, noe man ikke finner i glødepærer og halogenpærer.

Det er ingen tvil om at man i bygninger med TN-nett i fremtiden må være mer observant på det bidraget harmoniske strømmer disse lyskildene vil gi i N-leder. Under er et eksempel basert ut i fra en måling av en LEDpære (målt med THD_r).

Eksempel: Som vi ser av Figur 5-6 er det 3. harmoniske bidrag 60,7% av total strøm. I en lysinstallasjon med LEDpærer tilsvarende 10A, vil det 3. harmoniske bidraget vært hele 6,07 A, som videre vil gå i N-leder. Det er derfor tydelig at hvis LED (og sparepærer) blir dominerende på markedet, vil også problemet med strømmer i N-leder bli enda mer økende i forbindelse med lyskurser.

Når det gjelder den overnevnte problemstillingen er det likevel viktig å huske fordelene man får ved å gå over til lyskilder som LED og sparepærer.

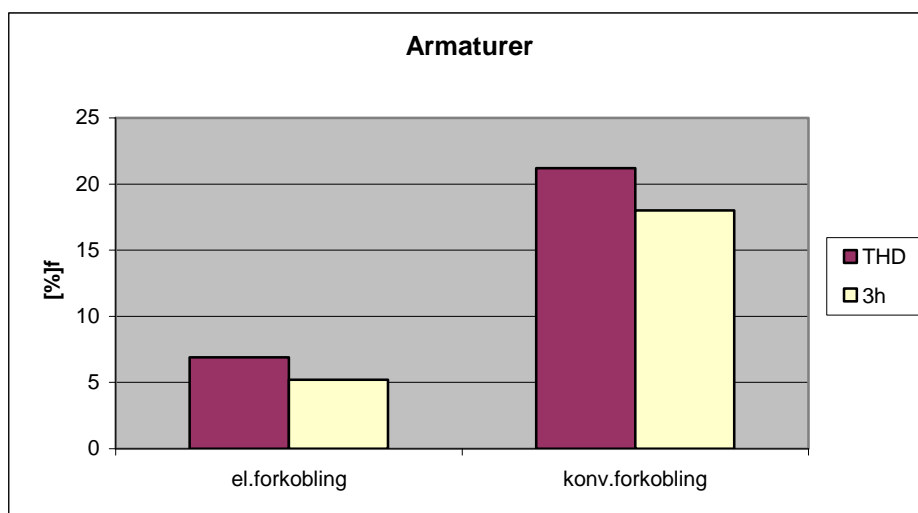


Figur 5-6 LEDpære målt med THD_r

Ved LED oppnår man en mye bedre effektivitet, lm/W (mengde lys pr brukt effekt), enn ved bruk av glødepærer. Dette vil medføre at for å oppnå samme mengde lys, vil det gå mindre strøm. Nettopp dette gjør det usikkert hvor stor vekt det vil bli lagt på problemet med harmoniske strømmer, selv ved større forbruk av lyskilder med utstrakt bruk av elektronikk. LED er dessuten fortsatt i utviklingsfasen, og mye kan enda skje der.

Lysrør

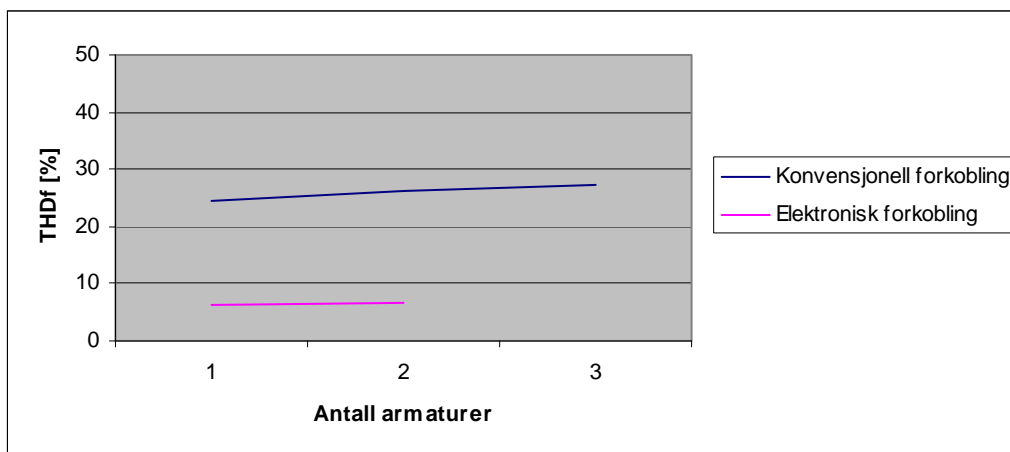
I større forsamlingslokaler og i industrien er lysrør den mest utbredte belysningskilden. Det finnes i hovedsak to forkoblingsmetoder som brukes, konvensjonell forkobling og elektronisk forkobling. Det har i lang tid vært konvensjonell forkobling som har vært i bruk, men i senere tid har elektronisk forkobling tatt mer og mer over. Dette på grunn av blant annet økt levetid, bedre energieffektivitet og mindre flimring [14].



Figur 5-7 Målte lysrør med forskjellige forkobling

Det som er interessant å se på her, er hvordan de forskjellige forkoblingstypene er med tanke på harmonisk bidrag. Som vi ser ut i fra grafen over gir elektronisk forkoblingsutstyr merkbart mindre harmoniske bidrag enn for konvensjonell forkobling. Det er derfor naturlig å tro at problemet med 3.harmoniske strømmer er mindre for nye installasjoner hvor det vil være naturlig å velge elektronisk forkobling. Derfor vil også begrensningen av THD kunne anses som en positiv konsekvens av å velge bort konvensjonell forkobling.

Målingene ble hovedsakelig gjort på en og en kilde, og det var derfor også interessant å se om resultatene ville endre seg merkbart hvis man øker antallet målte kilder. Som grafen på neste side viser, gjorde det ingen stor forskjell på mengden THD%. Resultatene for målingene vil derfor anses å være aktuelle for større installasjoner også.



Figur 5-8 Måling av et økende antall lysrørarmaturer med forskjellig forkobling

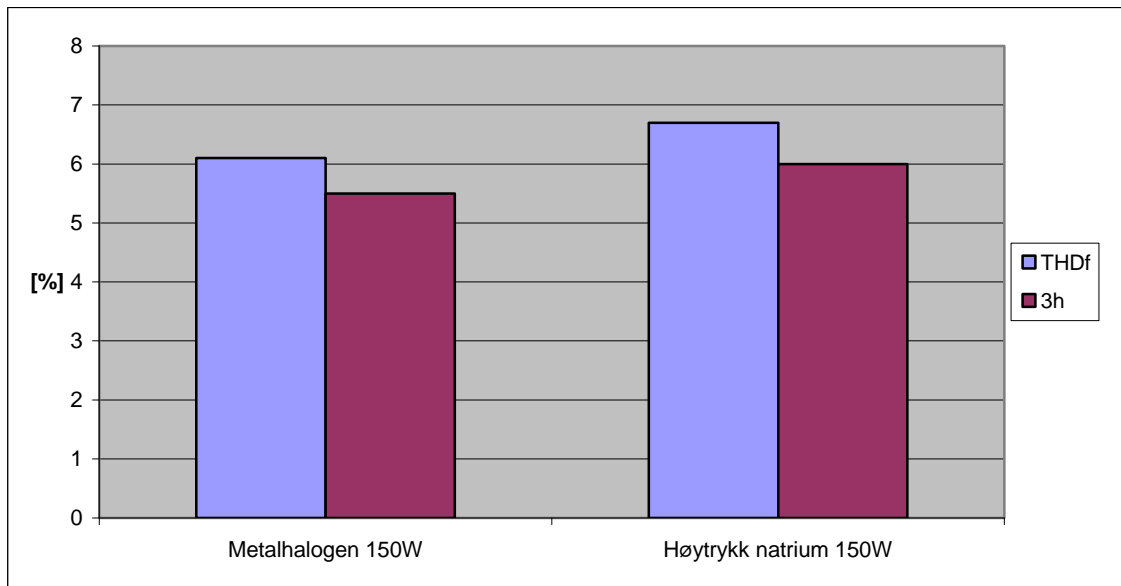
Damplamper

Når det gjelder damplamper til veilys er det hovedsakelig to lyskilder som er mest i bruk, og det er metallhalogen og høytrykk natriumlampe. Det var derfor interessant å se om valget mellom de to ville påvirke de harmoniske bidragene. I tillegg kan det være interessant å se om man vil oppleve noen stor forskjell hvis man velger forskjellige forkoblingsprodusenter. Tilgjengelig for målinger var to veilysarmaturer med forkoblinger fra henholdsvis Philips og Selc.

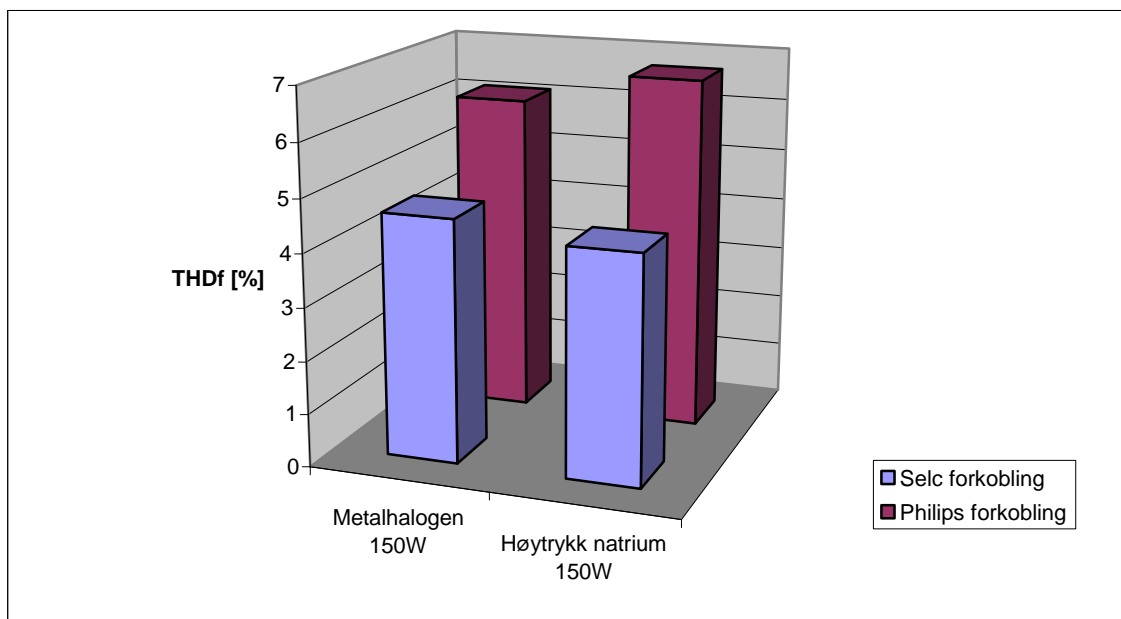


Figur 5-9 Veilysarmatur fra Philips

Resultatene som er presentert på neste side viser at forskjellen mellom metallhalogen og høytrykk natriumlampe er minimale. For øvrig er forvrengningen i strømmen også forholdsvis liten, og det er det 3.harmoniske bidraget som hovedsakelig gir utslag. Da er det større utslag å se på resultatene fra de forskjellige forkoblingene, men som sagt fortsatt relativt liten forvrengning. Det ble ikke gjort målinger på større installasjoner, og det er derfor vanskelig å forutsi om hvor stor forvrengning strømmen vil ha i en installasjon med flere hundre veilys spredt utover flere mil.



Figur 5-10 Harmoniske bidrag i strømmen på forskjellige damplamper



Figur 5-11 Harmonisk bidrag i strømmen på forskjellige damplamper med forskjellige forkoblinger

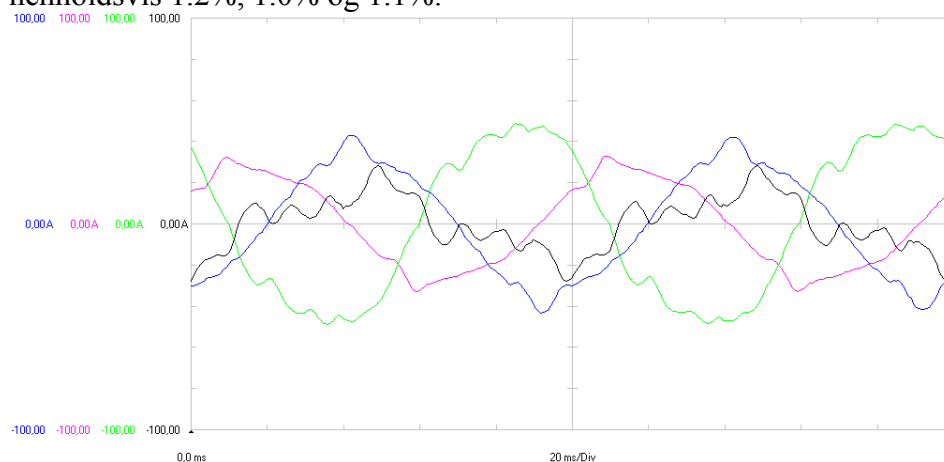
5.2 Anlegg

Et forbehold som må tas i forbindelse med diskusjonen og resultatene rundt målingene på anlegg er at det kun ble gjort målinger av ett bygg per bygningstype, noe som gjør at målingene nødvendigvis ikke kan sees på som generelle.

5.2.1 Undervisningsbygg

EL-bygget ved NTNU Gløshaugen er et undervisningsbygg som inneholder både kontorer, lesesaler, datasaler og større auditorium. Der ble det gjort målinger av stige-kabel og kurskabler i en underfordeling i 3. etasje. Denne fordelingen dekker kontorer, korridorer, verksted og lyslab.

De harmoniske bidragene i spenningen på de 3 fasene i stige-kabelen ble målt, og resultatene viste at disse lå på et tilfredsstillende nivå ut i fra kravene til EN 50160, med en THD-verdi på henholdsvis 1.2%, 1.0% og 1.1%.



Figur 5-12 Målt strøm i 4 ledere i stige-kabel på EL-bygget

Målingene på stige-kabelen viser at det 3.harmoniske bidraget ligger rundt 6-11%. Disse målingene ble gjort med THD-found, og siden kravene i NEK 400 gjelder 3.harmonisk innhold i forhold til total effektverdi (THD-rms), kan ikke disse tallene brukes direkte. THD_r-verdien vil bli litt lavere. Det 3.harmoniske bidraget i denne stige-kabelen ligger derfor godt under grensen, og trenger derfor ingen reduksjonsfaktor.

Når man ser på resultatene fra kurskablene ser man større utslag av de 3.harmoniske bidragene. Lyskursene ga resultater mellom 9% og 21%. Kursen som dekker lysrekken i korridoren er oppe i 20,4%, mens kursen til lyset på lys-laben er bare 9,5%. Denne forskjellen kommer av alderen på armaturene og forkoblingen. I korridoren er det gamle armaturer med konvensjonell forkobling, mens i laben er det flere relativt nye armaturer med elektronisk forkobling. At resultatet ble slik samsvarer godt med konklusjonene fra kapittel 5.1.2 om belysningsutstyr, hvor det ble avdekket store forskjeller mellom de to forkoblingstypene. Det vil for slike kurser ikke være nødvendig med noen reduksjonsfaktor da disse i all hovedsak ligger like på grensa eller under kravet for reduksjonsfaktor. I tillegg er belastningsgraden såpass lav, at man i tvilstilfeller kan velge å ikke benytte seg av reduksjonsfaktoren.

Ser man på resultatene fra målingene av kurskablene til stikk på kontorer og lyslab, ser man en betydelig mengde av 3.harmoniske bidrag. Disse kommer av elektronisk utstyr som datamaskiner og lignende som vil være tilkoblet. Bidragene ligger mellom 20% og 50%. Det vil være her være aktuelt å benytte seg av en reduksjonsfaktor på 0,86 ut i fra nøytrallederstrømmen.

5.2.2 Helsehus

Målingene på Øya Helsehus ble gjort for å se på hvordan strømmen ble påvirket av kombinasjonen av vanlig kontoraktivitet og behandlingsrom. Installasjonen var forholdsvis ny, og tilgangen til å få gjort målinger uten å gjøre større tiltak var heller dårlig. Kablene inne i tavlene var godt samlet noe som gjorde det vanskelig å komme til med strømtangen for målinger. I tillegg ble målingene gjennomført på en tid av året hvor forbruket var forholdsvis lavt. Dette var dagene rett før jul, hvor mange hadde tatt ferie og mange av kontorene sto tomme.

De harmoniske bidragene i spenningen ble målt på både ved hovedfordelingen og i underfordelingen. Resultatene viste at disse lå på et tilfredsstillende nivå ut i fra kravene til EN 50160, med en THDverdi på henholdsvis 3,3% og 3,4%.

Ser man på de forskjellige kurskablene som ble målt, kan man oppsummere det ved:

Tabell 16 Oppsummering av måledataene fra underfordelingen

| | Strøm THD[%F] | Strøm 3h [%RMS] |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|
| Kurskabler til lys | 8-11 | 2-3 |
| Kurskabler til stikk på kontor (data) | 80-100 | 40-50 |

Vi kan se ut i fra resultatene at når det gjelder lyskursene vil det ikke være behov for noen reduksjonsfaktor på grunn av 3.harmonisk. Kravet fra NEK400 sier at ved et 3.harmonisk bidrag over 15%, så bør ledertverrsnittet økes. Her ligger bidraget helt nede i 2-3% og vil derfor ikke falle innenfor dette kravet. Selv om belyningsutstyr er kjent som en større bidragsyter til harmoniske strømmer, så ser vi også i målingene av armaturer at dette bidraget er blitt kraftig redusert etter at man gikk over til elektrisk forkobling. Dette er sannsynligvis det vi ser resultatet av her.

Ikke veldig overraskende ble det målt særs høye harmoniske bidrag på kurskablene som gikk til stikk på kontor. Disse er med høy sannsynlighet brukt til forskjellig datautstyr, og vi måler derfor en ganske stor mengde 3.harmonisk. Dette ligger såpass høyt at ledertverrsnittet på 4- og 5-lederkabler må dimensjoneres på basis av nøytrallederstrømmen med en reduksjonsfaktor mellom 0,86 og 1,00. Ved en nøytrallederstrøm på mer enn 135% av fasestrøm (altså en 3.harmonisk på over 45% på alle fasene), og kabelens ledertverrsnitt valgt på basis av nøytrallederstrømmen, vil ikke de tre faselederne være fullt belastet. Reduksjonen i varmeutviklingen i faselederne vil derfor motvirke den ekstra varmeutviklingen vi får i nøytrallederen, og det vil dermed ikke være nødvendig å anvende en reduksjonsfaktor (altså benytte 1,0) for de tre belastede lederne [5]. Det holder med andre ord å dimensjonere kablene for nøytrallederstrømmen ved så høye 3.harmoniske bidrag.

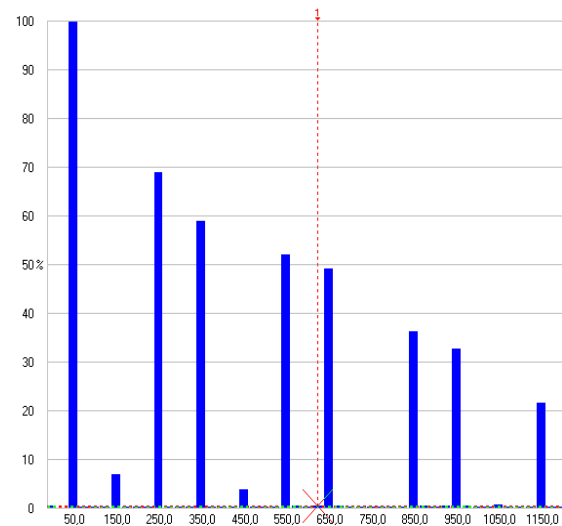
Selv om forbruket på bygget sannsynligvis var et stykke unna maks mens målingene ble utført, kom det likevel tydelig frem at anlegget er kraftig overdimensjonert, da det både i hovedfordeling og på underfordeling kun ble målt belastninger fra 25% og nedover. På grunn av dette vil det selv med store mengder 3.harmoniske strømmer være liten fare for overbelastning i dette bygget.

5.2.3 Kulturhus

Målingene på Studentersamfundet i Trondhjem ble gjort under en konsert i storsalen. Det ble valgt å hovedsakelig se på tilførselskabelen til dimmerskapene som styrer mye av lysene under konserten. Dimmerskapene på Studentersamfundet er av typen ADB Eurorack 60, med tyristorbasert teknologi. Hvert enkelt skap har en trefase kabel inn, og fordeles deretter ut i enfasedimmere. Bevegelig lys, strober og røyk ble ikke fanget opp av målingene siden disse er tilkoblet faststrøm og tilhører en annen underfordeling.

Målingene viser, som forventet, stor endring i forbruk underveis i konserten. Vi ser en THD_f som til tider ligger godt over 120%. Det er derfor ingen tvil om at man under dimensjonering av elektriske anlegg til slike kulturhus med TN-nett i stor grad må ta hensyn til harmoniske strømmer. Det som er spesielt med akkurat disse målingene er at de ble utført på et IT-anlegg. Derfor vil ikke underdimensjonering av N-leder være en problemstilling for akkurat dette bygget.

En oppdagelse jeg gjorde under målingene var at alle odde trippelharmoniske strømmer var mye mindre enn de andre, og til tider nesten helt kansellert. Dette vakte en viss nysgjerrighet ettersom man i alle fall forventer et relativt stort 3.harmonisk bidrag. Ut i fra den harmoniske fordelingen vi ser på en av de belastede lederne på Figur 5-13, skulle man ut i fra størrelsen på de andre harmoniske bidragene forvente en 3.harmonisk opp mot 70-80% THD_f . Verdien for den 3.harmoniske komponenten målt med THD_f ville blitt mindre, men antas å fortsatt være i størrelseorden over 45%.



Figur 5-13 Harmonisk fordeling i målinger fra Studentersamfundet

Dette betyr at for et kulturhus med TN-nett, vil det være betydelige harmoniske bidrag i N-leder, og dimensjoneringskriterer gitt i NEK400 vil derfor være nødvendig å benytte. Og med 3.harmoniske bidrag i fasestrømmen over 45%, anbefales en reduksjonsfaktor på 1,0 valgt på basis av nøytrallederstrøm.

Etter å ha sett resultatene fra målingene på Studentersamfundet satte jeg, i samarbeid med veileder, opp hypotesen; Odde trippelharmoniske strømmer blir kansellert i et symmetrisk lastet IT-nett. Dette ble videre undersøkt i et labforsøk som blir diskutert i neste delkapittel.

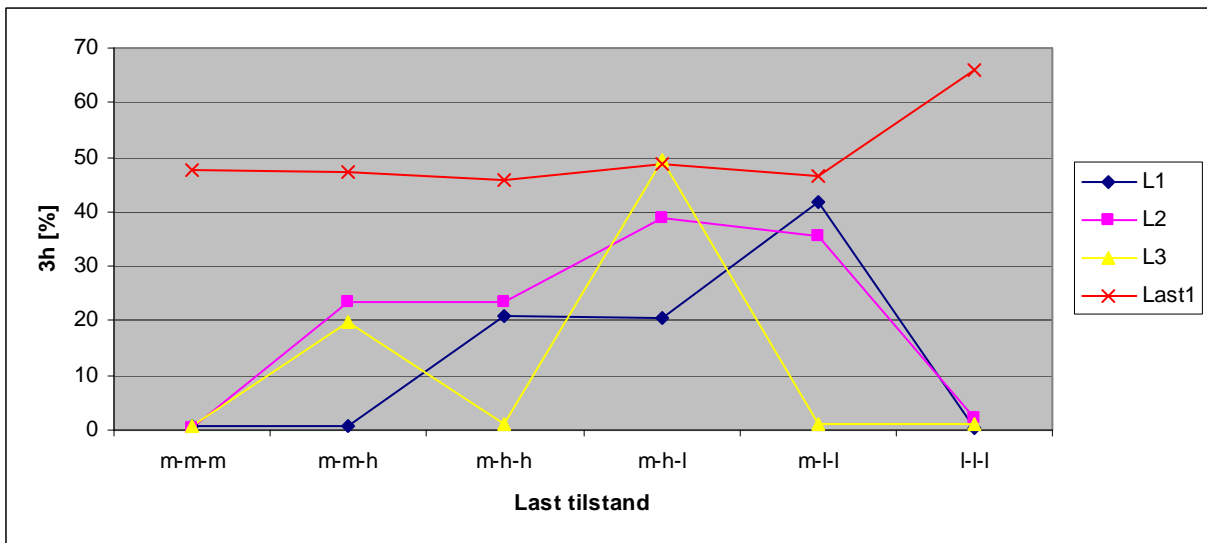
5.3 Harmoniske strømmer i IT-nett

Under målingene på Studentersamfundet ble det observert en overraskende liten mengde av 3., 9., 15., og 21.harmoniske bidrag i strømmen som ble målt på hovedkabelen opp til lysdimmerskapene. Siden det i alle fall var forventet at dimmerne ville produsere en større mengde 3.harmoniske strømmer, ble dette undersøkt nærmere.

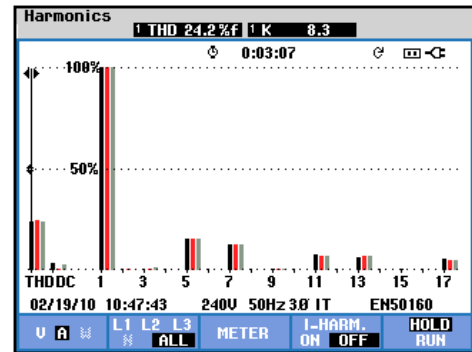
Ut i fra resultatene fra målingene på IT-nettet til Studentersamfundet ble det antatt at; i IT-nett vil de odde trippelharmoniske kansellere hverandre ved en symmetrisk belastet installasjon. For å få svar på dette ble lastene i laboppsettet først innstilt slik at alle tre belastningene var like. Svaret man da fikk samsvarte godt med antagelsen. Som man ser på Figur 5-14 er det ingen bidrag av 3., 9., og 15. harmonisk. For å finne ut om disse var kansellert i hele installasjonen ble det derfor også gjort målinger på den enkelte lasten. Der ble det derimot vist at hver enkelt av de målte lastene inneholdt store mengder av 3.harmoniske, noe man i utgangspunktet forventet.

Videre ble det gjort målinger av installasjonen med ulik usymmetri i lastene. Dette ble gjort for å se om dette ville påvirke strømkurven til en enkelt av lastene. Tallene fra målingene er presentert i Tabell 15, og vises her i form av en graf i Figur 5-16.

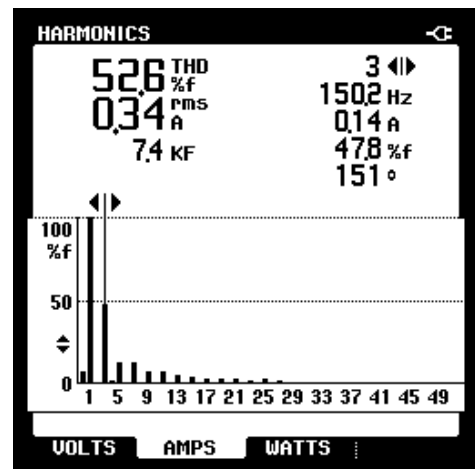
Bokstavene på x-aksen forklarer hvordan de 3 lastene er innstilt.
h: høy m: middel l: lav



Figur 5-16 Endring av 3.harmonisk bidrag i de 3 fasene, samt for last 1



Figur 5-14 Harmonisk fordeling i lineært belastet installasjon



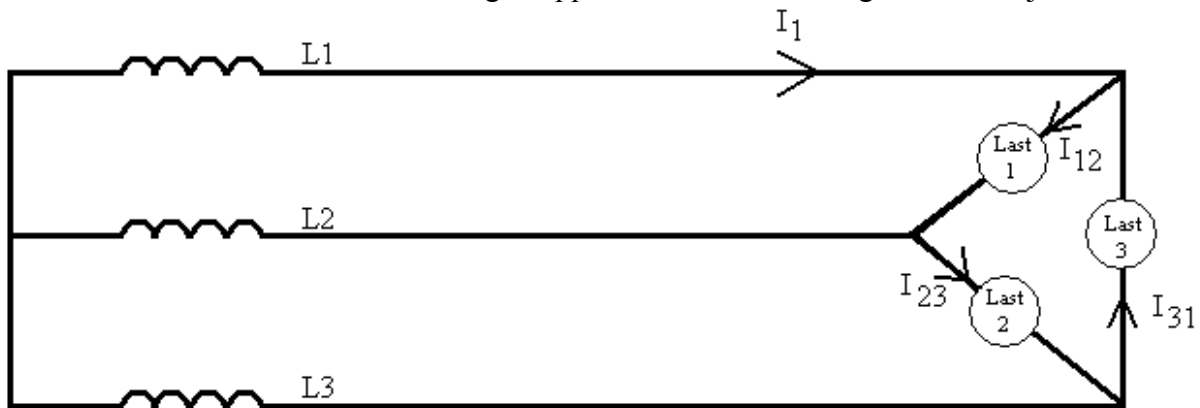
Figur 5-15 Harmonisk fordeling i last 1

Som man ser på starten har alle fasene ingen 3.harmonisk bidrag ved symmetrisk last. Målingen på selve lasten viser derimot at det er et betydelig bidrag av 3.harmoniske i de enkelte lastene. Etter hvert som lastene endres og skaper usymmetri i installasjonen, blir det i forskjellig grad innslag av 3.harmoniske i fasene. Målingene på selve lasten viser at selv om det er store endringer på de harmoniske bidragene på alle fasene, vil det ikke påvirke hver enkelt last. Når effekten på den målte lasten ble endret, ble det som forventet også endring på de harmoniske bidragene i denne lasten.

Under målingene ble det også oppdaget at hvis kun én last ble endret ville den fasen som ikke var koblet til denne lasten fortsatt ha et 3.harmonisk bidrag tilnærmet lik null (se måling m-m-h på Figur 5-16). Med andre ord holder det at det er symmetrisk last *mot* de to andre fasene (L2 og L3) for at en fase (L1) skal ha kansellerte odde tredjeharmoniske strømmer.

Et spørsmål man da kan stille seg er; hvordan kan noen harmoniske strømmer være kansellert i inntakskabelen, men likevel være tilstede ved selve lasten?

For å forstå dette kan det være lurt å tegne opp hvordan strømmene går i installasjonen.



Figur 5-17 Strømforklaringer til symmetrisk lastet IT-nett

Det 3.harmoniske bidraget i laststrømmene vil matematisk bli skrevet på samme måte som forklart i kapittel 2.3.2:

$$i_{3h,12}(t) = I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

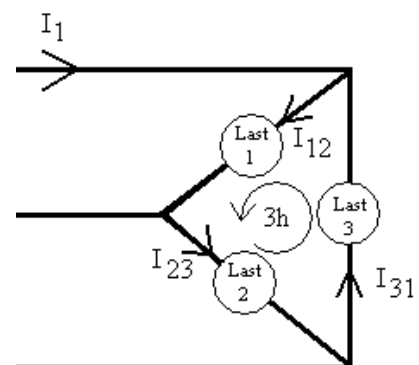
$$i_{3h,23}(t) = I \cdot \sin(3 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 120^\circ)) = I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 360^\circ) = I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

$$i_{3h,31}(t) = I \cdot \sin(3 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 240^\circ)) = I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - 760^\circ) = I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

Bidraget i I_1 vil derfor bli:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_{3h,12} - I_{3h,31} \\ &= I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) - I \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \\ &= \underline{\underline{0}} \end{aligned}$$

Vi vil ut i fra dette kunne si at ved symmetrisk last i IT-nett vil de odde trippelharmoniske strømmene sirkulere innad i de stjerne-koblede lastene, mens i tilførselskablene vil disse kansellere hverandre [12]. Samme effekten av sirkulerende harmoniske strømmer ser man også i deltaviklingen i en transformator, som ble omtalt i kapittel 2.5.



Figur 5-18 Sirkulerende 3.harmoniske i symmetrisk lastet IT-nett

6 Konklusjon

UTSTYR:

- Datamaskiner er en stor bidragsyter til harmoniske strømmer. Bærbare maskiner er verre enn stasjonære maskiner.
- Både bærbare og stasjonære datamaskiner har hatt en kraftig forbedring, spesielt de siste årene. Det ble målt THD_f helt nede i henholdsvis 68,1 og 17,0% på de nyeste bærbare og stasjonære maskinene (i motsetning til eldre maskiner med THD_f helt oppe mot 200%).
- De lyskildene som sannsynligvis vil bli mest brukt i fremtiden, sparepærer og LED, inneholder mye mer harmoniske strømmer enn glødepærer og halogenpærer, som er mest brukt frem til i dag.
- Overgangen fra konvensjonell til elektronisk forkobling på lysrørarmaturer har medført en merkbar nedgang i de harmoniske bidragene.
- Når det gjelder damplamper til veilys er det ingen stor forskjell på om man velger høytrykk natrium eller metallhalogenpærer, med tanke på harmoniske strømmer. Da er det større mulighet for å finne forskjeller i de forskjellige forkoblingene.

ANLEGG:

- Både undervisningsbygg og helsehus viste som forventet at yrkesbygg i disse kategoriene inneholdt lyskurser med harmoniske bidrag som var helt i grenseland for behov for reduksjonsfaktor ved dimensjonering. Og stikkontaktkurser til datautstyr med høye harmoniske strømmer viste et gjennomgående behov for bruk av reduksjonsfaktor ved dimensjonering.
- I kulturhus er det spesielt lys- og lyd-kursene som skiller seg ut fra andre typer bygg. Målingene fra scenelyskursen viste at det vil være store forvrengninger i strømmen, og at man i høyeste grad på ta hensyn til dette ved dimensjonering.

IT-NETT

- Odde trippelharmoniske strømmer i et IT-nett vil kansellere hverandre i tilførselskabelen i et symmetrisk belastet anlegg.
- Disse harmoniske strømmene vil likevel være å måle i selve lastene, og vil forbli uforandret selv om det oppstår usymmetri i anlegget.
- Det holder at det er symmetrisk last *mot* de to andre fasene for at en fase skal ha kansellert odde tredjeharmoniske strømmer. (Altså; så lenge $Last_{12}$ og $Last_{13}$ er symmetrisk, vil det være ingen odde tredjeharmoniske strøm i L_1 , uansett hvordan $Last_{23}$ er belastet i forhold).

7 Referanseliste

- [1] Jorde A. ”*Elektrisk støy i yrkesbygg*”, ICG, 2001
- [2] Croft A, Davison R, Hargreaves M, ”*Engineering Mathematics*”, Pearson, 2001
- [3] Grady M. ”*Understanding Power System Harmonics*”, University of Texas at Austin, 2006
- [4] Hansen E., ”*Elektroinstallasjoner*”, Classica forlag AS, 2003
- [5] NEK 400, ”*Norsk elektronisk norm. Elektrisk lavspenningsinstallasjoner*”, 2006
- [6] FLUKE informationstore,
<http://fluke.informationstore.net/efulfillment.asp?publication=10603-dan>, Januar 2009
- [7] Arne Jorde, personlig korrespondanse (mail og telefon)
- [8] Bilde: Hentet fra www.ntnu.no
- [9] Bilde: Hentet fra www.trondheim.kommune.no/oya Copyright: Carl-Erik Eriksson
- [10] Bilde: Hentet fra www.regjeringen.no Foto: Kari Frøseth
- [11] Olje- og energidepartementet,
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/aktuelt/nyheter/2009/tradisjonelle-glodeparer-fases-ut-.html?id=574759>, Nyhet fra 28.08.09
- [12] Diskusjoner med veileder, Eilif Hugo Hansen
- [13] NEK, Europanorm EN50160: ”*Spenningskarakteristikker for elektrisitet levert fra offentlige distribusjonsnett*”
- [14] Elektroforeningen, ”Informasjon om elektronisk forkobling i lysarmaturer”,
<http://www.glamox.no/glx/ArticleAdmin/ShowImage.aspx?tblType=Article&Type=Images&ImageId=120867> , lastet ned Mars 2010
- [15] Pacific Gas and Electric Company, ”*Power system harmonics*”, Januar 1993

8 Vedlegg

VEDLEGG 1

Resultater datamaskiner

VEDLEGG 2

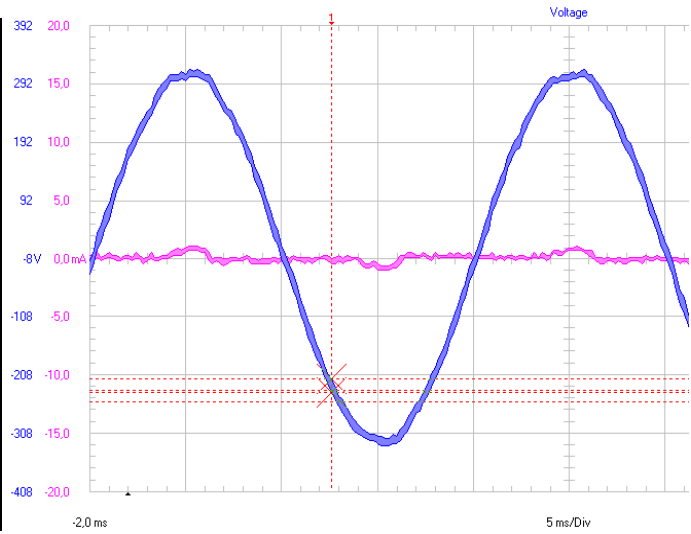
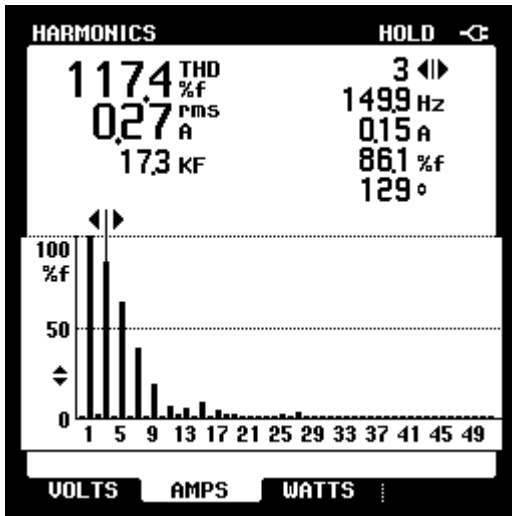
Resultater Belysningsutstyr

VEDLEGG 3

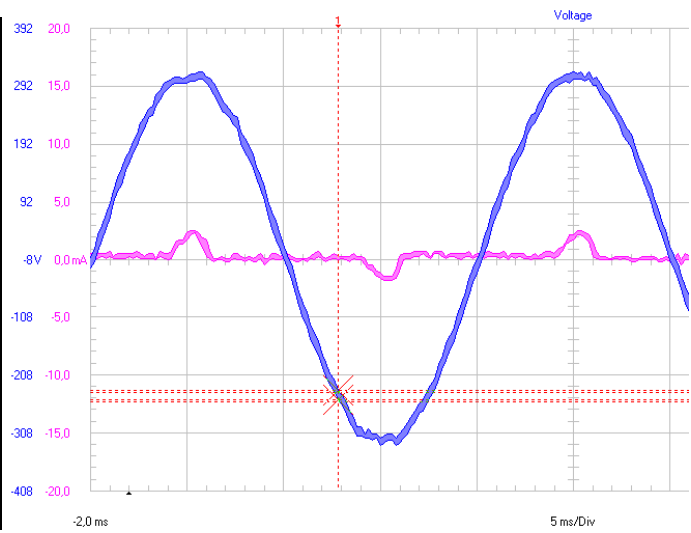
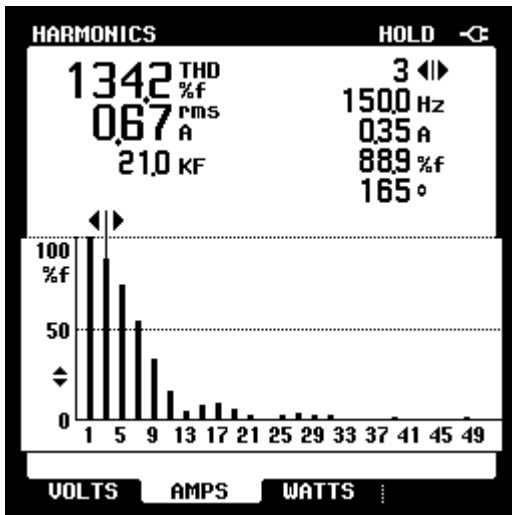
Resultater IT-lab

Vedlegg 1 Målinger av datamaskiner

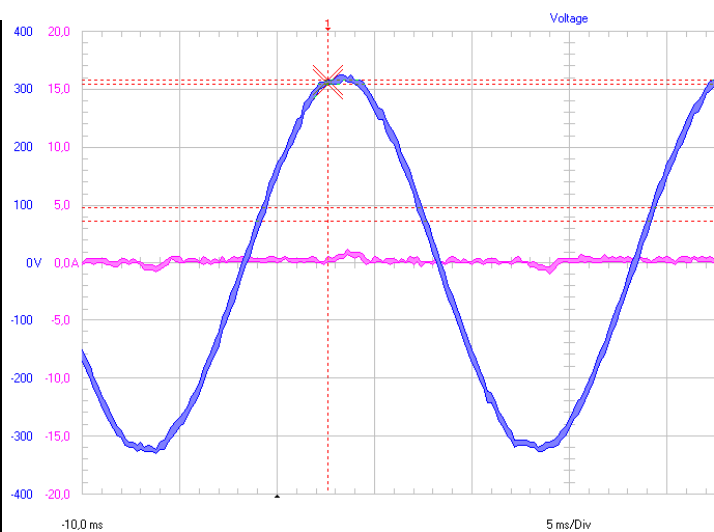
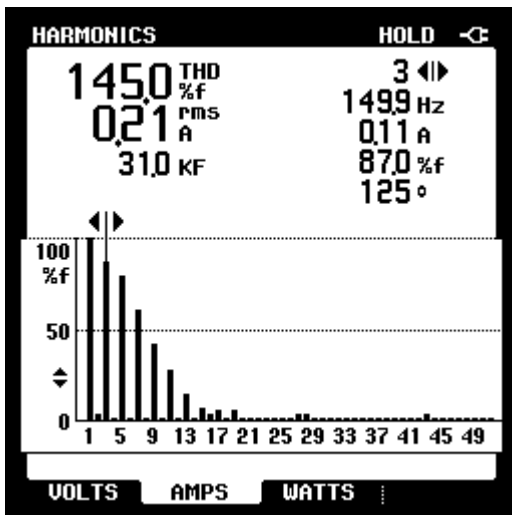
Tandberg '81



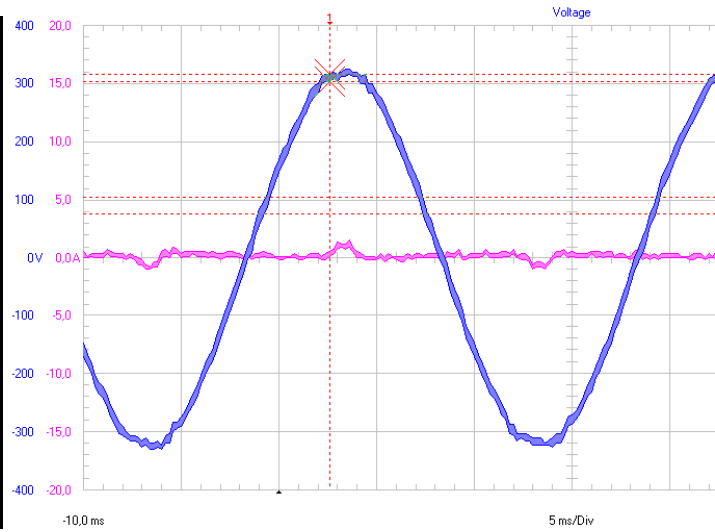
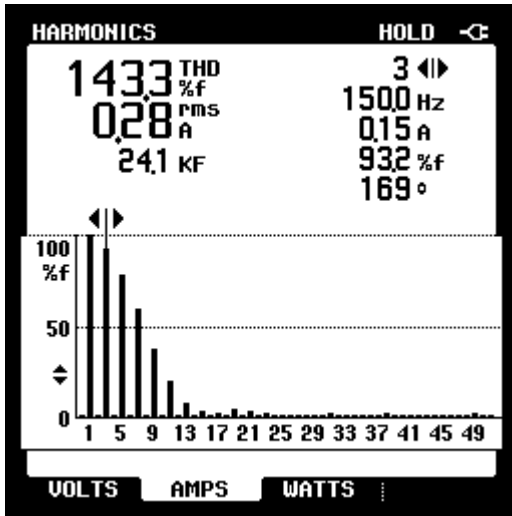
IBM '84



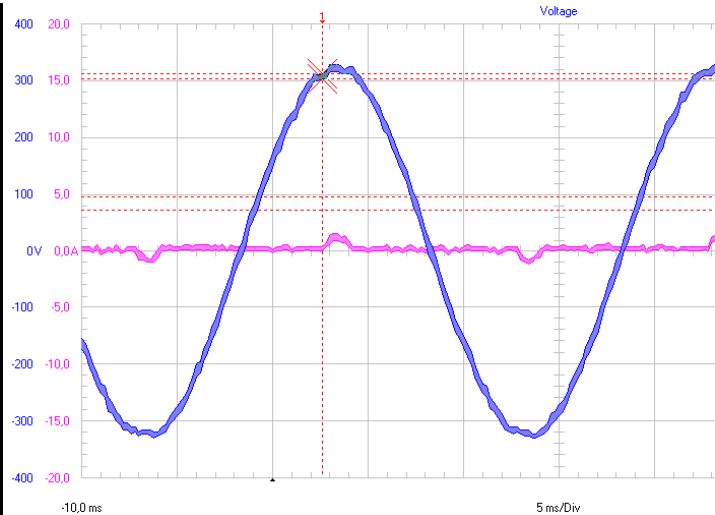
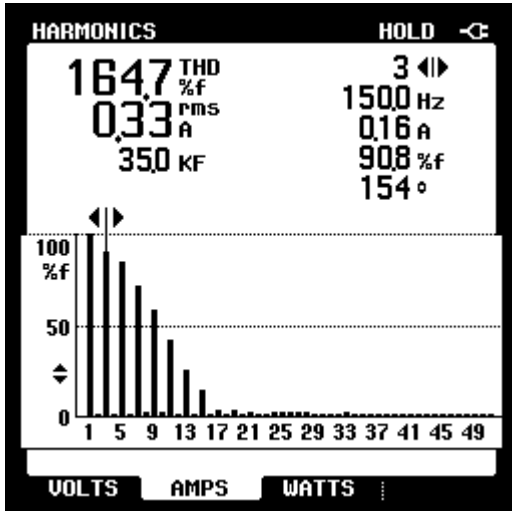
PC '93



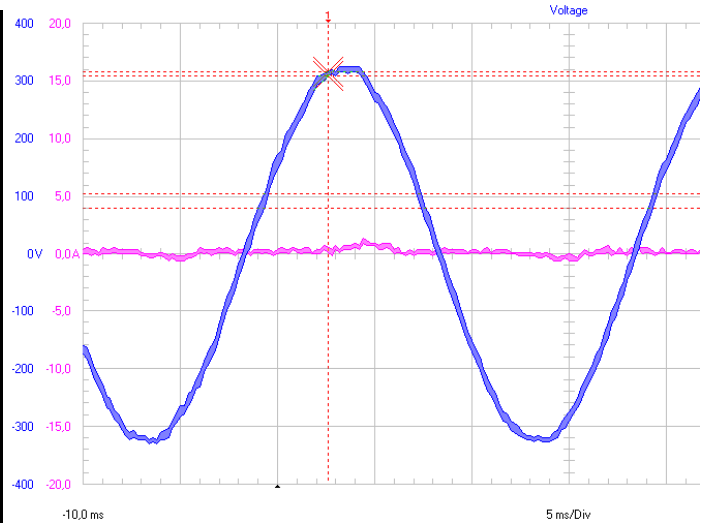
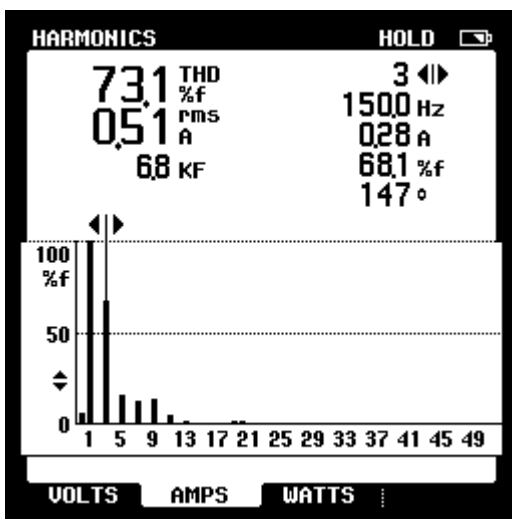
PC '98



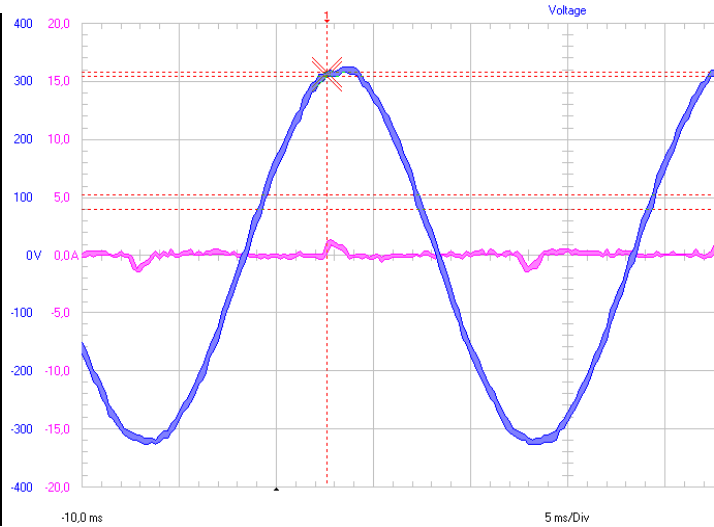
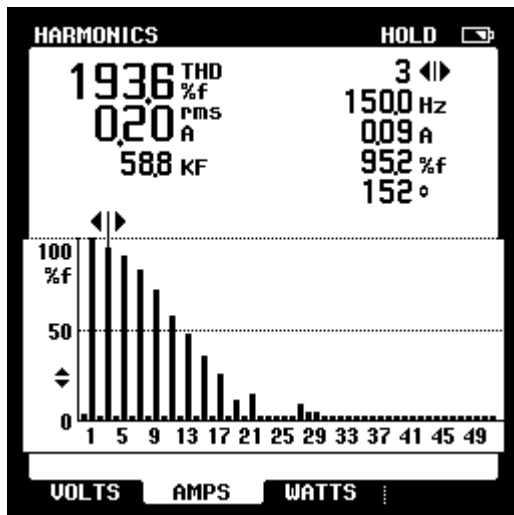
DELL '99



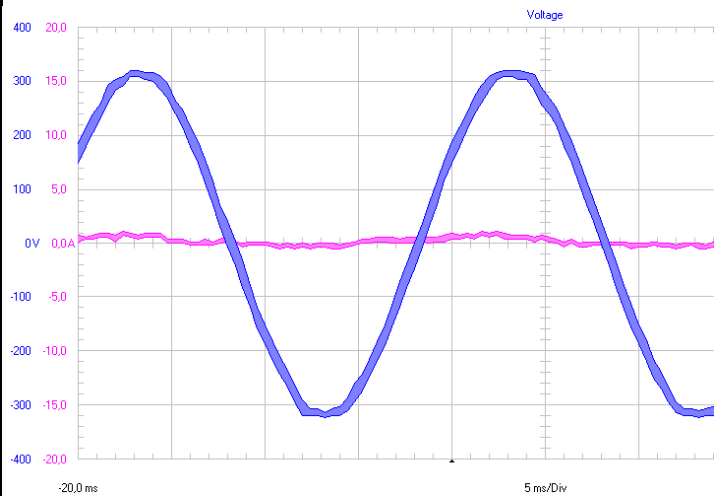
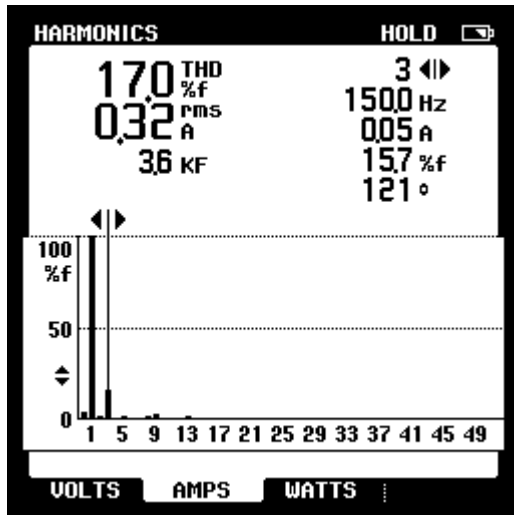
DELL '01



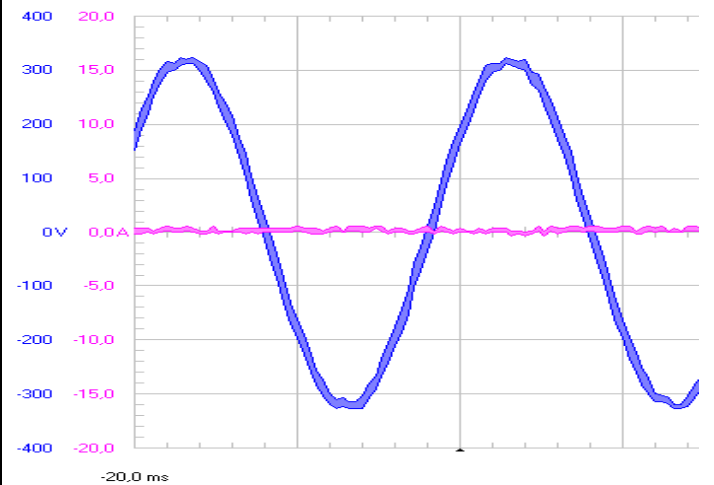
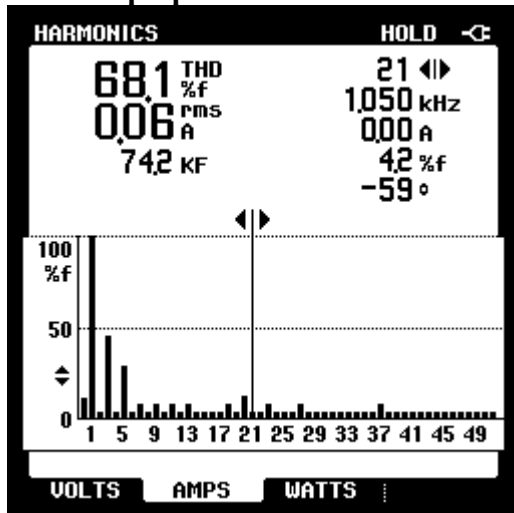
DELL laptop '07



DELL '09

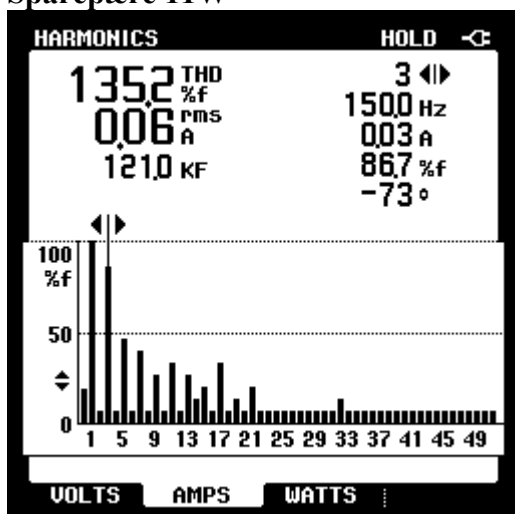


DELL laptop '10

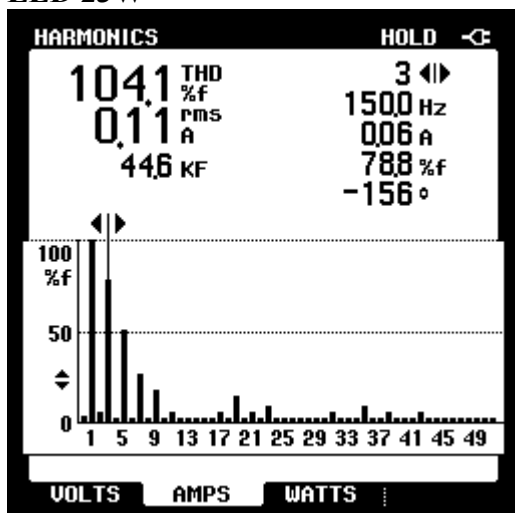


Vedlegg 2 Målinger av belysningskilder

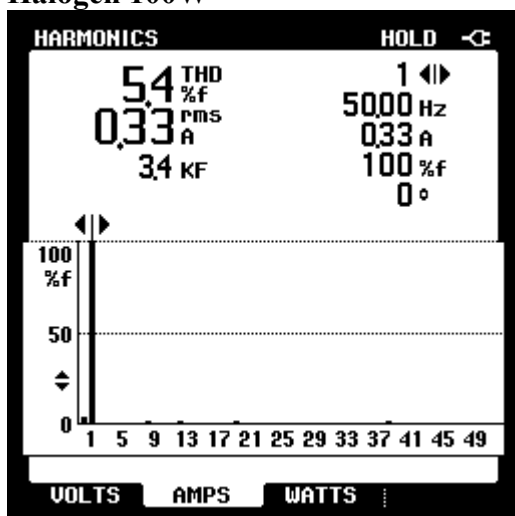
Sparepære 11W



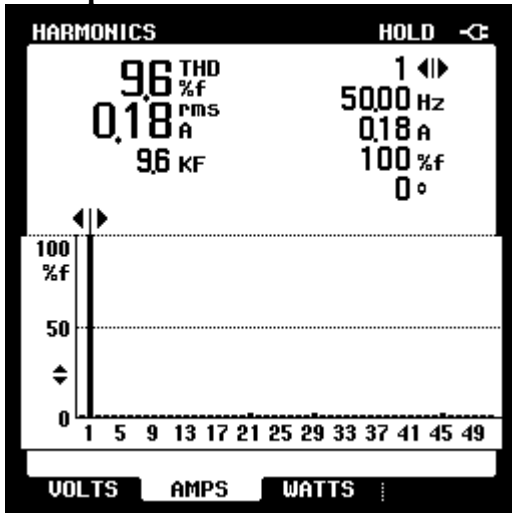
LED 23W



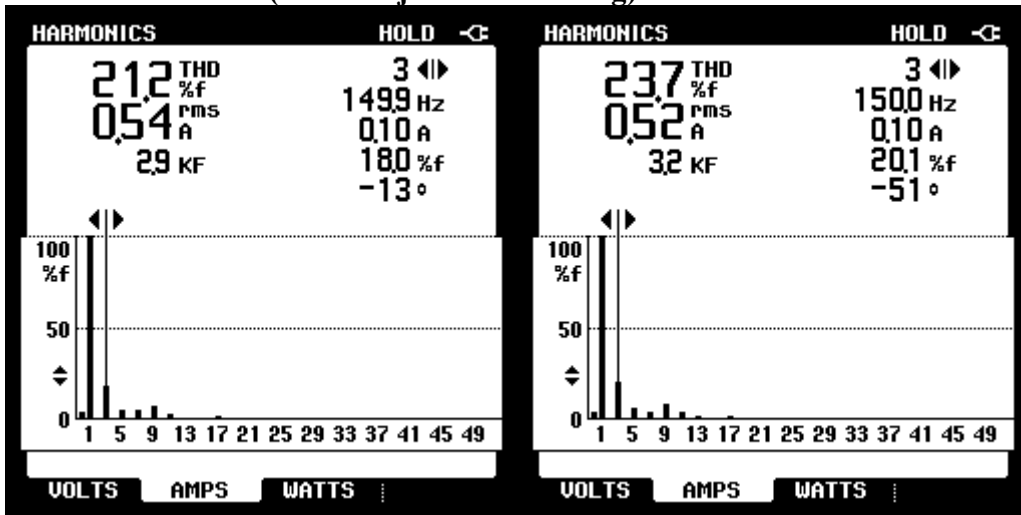
Halogen 100W



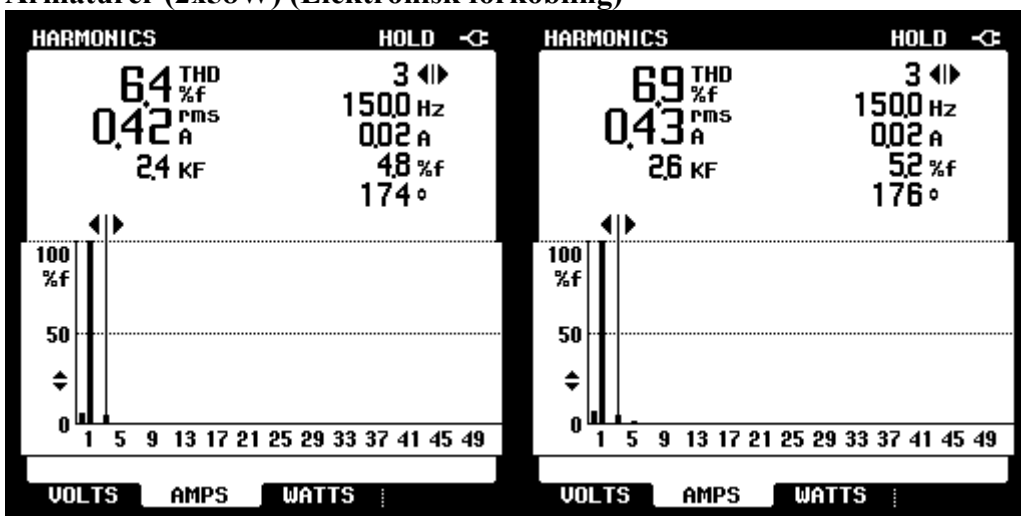
Glødepære 60W



Armaturer 2x58W (Konvensjonell forkobling)

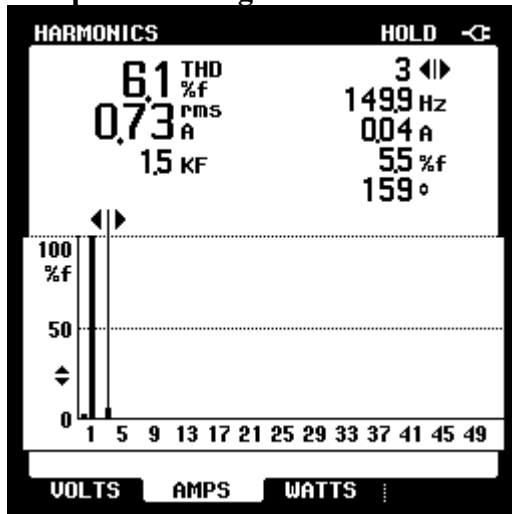


Armaturer (2x58W) (Elektronisk forkobling)

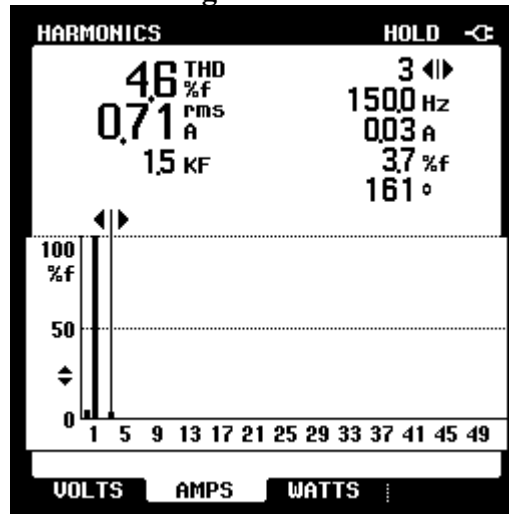


Metallhalogen 150W

Philips forkobling

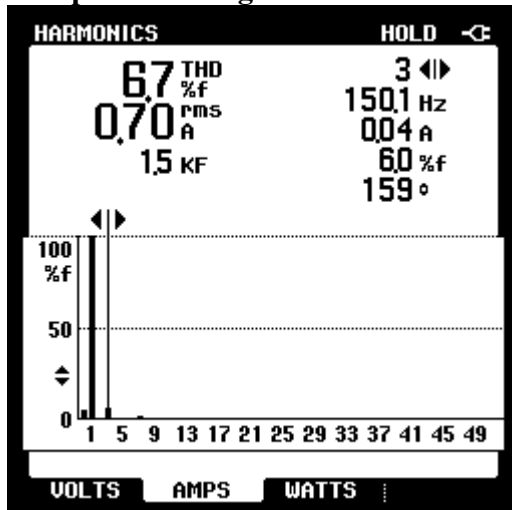


Selc forkobling

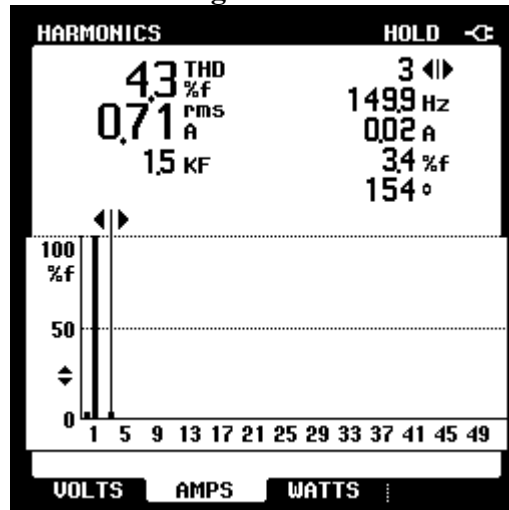


Natriumlampe 150W

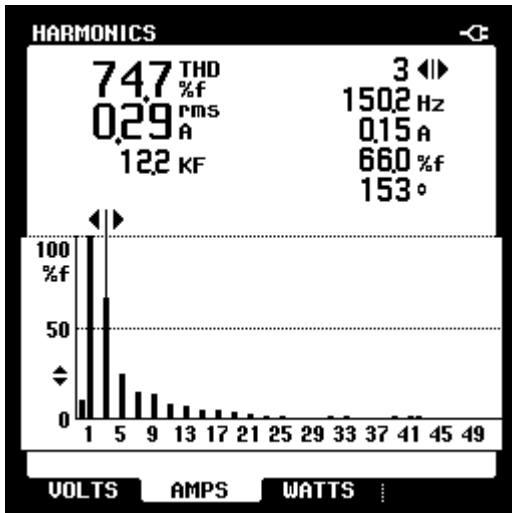
Philips forkobling



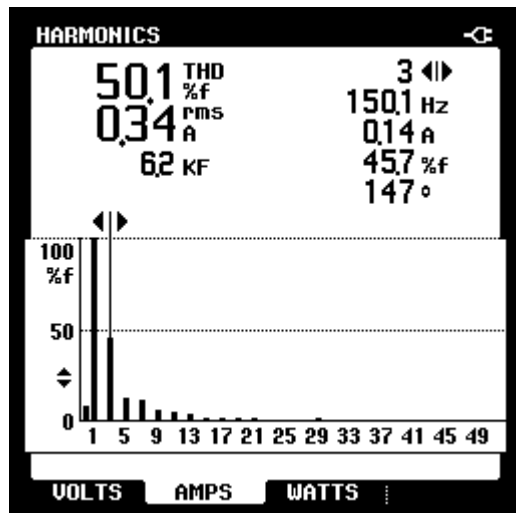
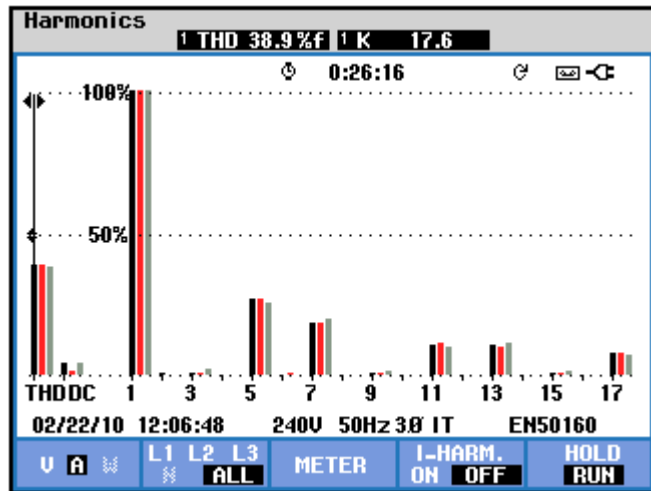
Selc Forkobling



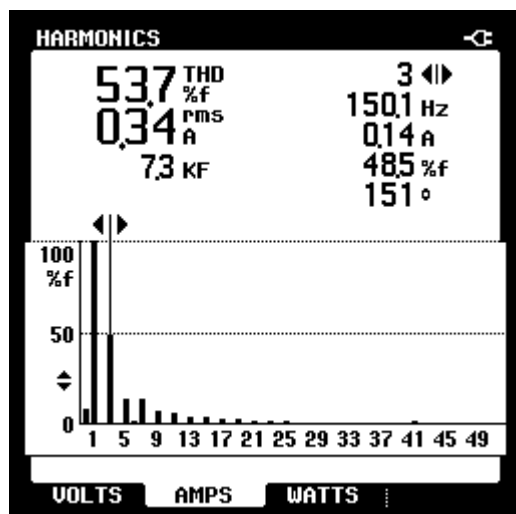
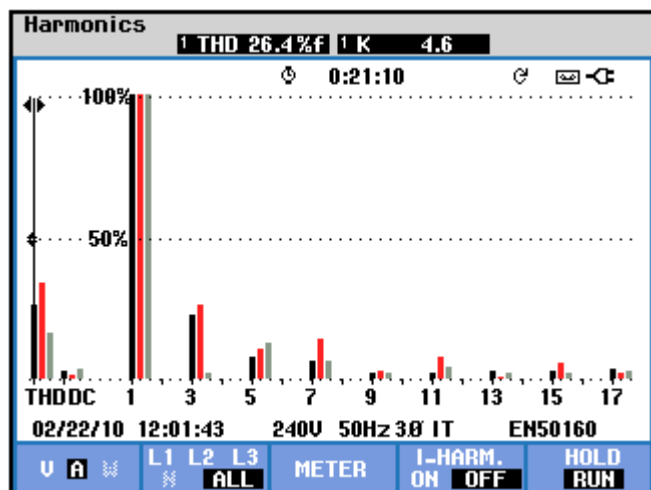
Vedlegg 3 Målinger på IT-lab



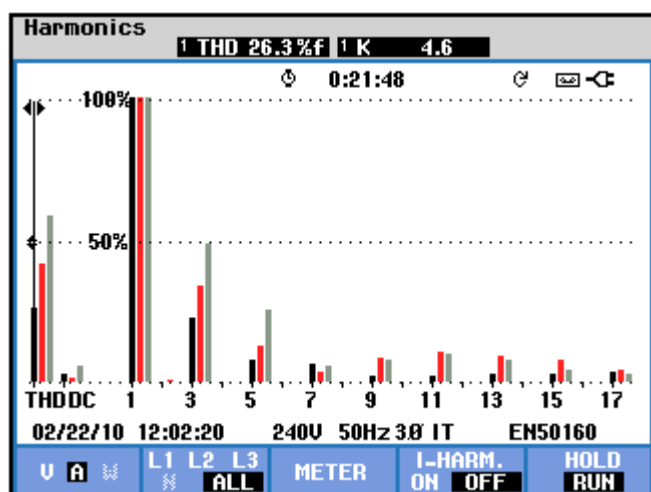
m-m-m

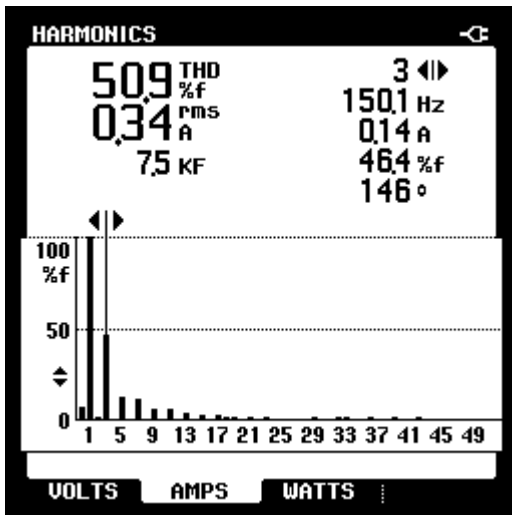


m-m-h

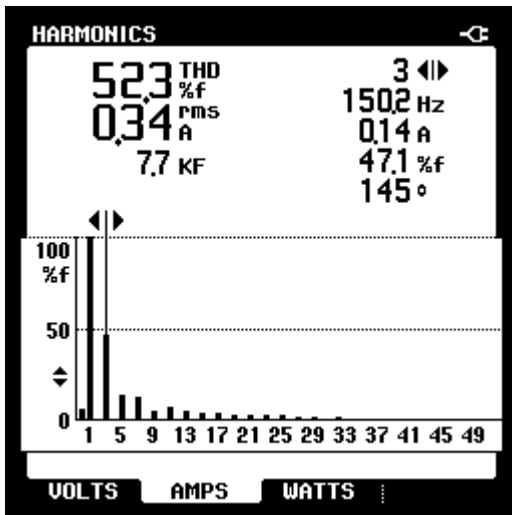
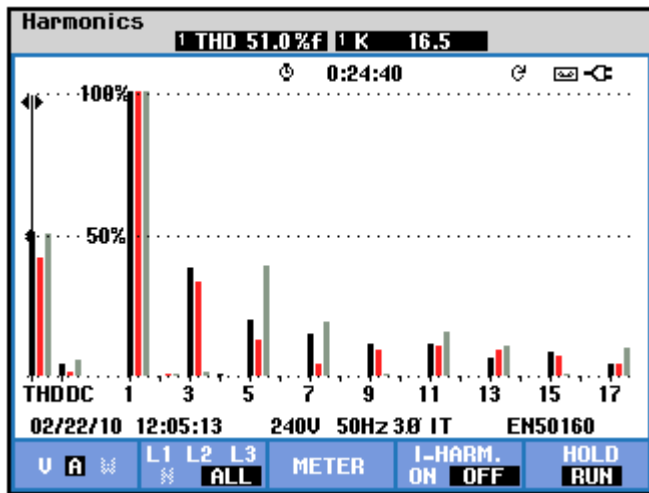


m-h-h

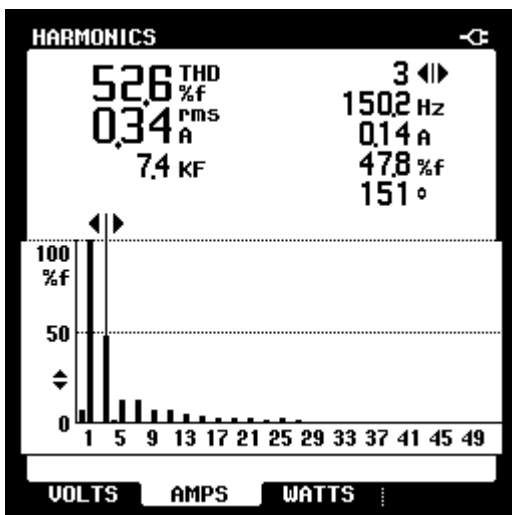
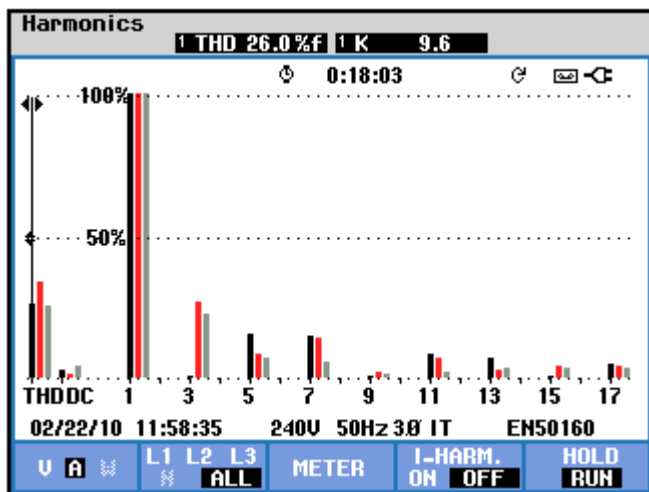




m-h-l



m-l-l



l-l-l

