

FYS 2150. ØVELSE 8

ELEKTRISKE OG MAGNETISKE FELTER I VÅRE OMGIVELSER

Fysisk institutt, UiO

Mål

Etter å ha vært gjennom denne øvelsen, skal du kunne oppgi enkelte betingelser for å få betydelige elektriske eller magnetiske vekselfelter omkring nettleddninger. Du skal kjenne til hvor raskt slike felter avtar med avstanden, og hvordan vi kan redusere slike felter. Du skal også kjenne litt til vekselfeltene vi har rundt en TV skjerm (eller dataterminal). Øvelsen bør også ha økt din ferdighet i å designe og beskrive eksperimenter selv (uten kokebok).

Innledning

I denne øvelsen skal vi studere magnetiske og elektriske vekselfelter. Dette er felter som i en gitt posisjon varierer som funksjon av tiden.

De vekselfeltene som er av størst praktisk betydning i våre omgivelser skyldes menneskelig aktivitet i en eller annen form. Vekselfeltene opptrer som elektromagnetiske bølger som kan forplante seg over store avstander (fjernfelter) eller som nærfelter rundt elektrisk apparatur og ledningsføring.

Fjernfeltene er elektromagnetiske bølger (kan også kalles stråling) som har forlatt kilden for alltid. For fjernfeltene er det nøye sammenheng mellom elektrisk og magnetisk vektor, og det er et kjent forholdstall mellom styrken av disse.

For nærfeltene er forholdene anderledes. For det første domineres nærfeltene av energi som pendler fram og tilbake mellom kilden og omgivelsene. En elektrisk nettleddning bygger i en del av periodetiden opp energi i omgivelsene i form av elektriske felter, men trekker tilbake den samme energien i en senere del av perioden.

Det er derfor vanskelig å snakke om “stråling” i denne sammenheng. For det andre kan de elektriske feltene være store selv om den magnetiske komponenten er liten, og vice versa. I denne øvelsen skal du se eksempler på dette. Vi vil da vise at du kan ha et betydelig elektrisk felt uten særlig magnetisk felt omkring en nettleidning, og motsatt.

Naturen selv genererer vekselfelter i mange ulike situasjoner. Som eksempler kan nevnes: I jordas magnetiske felt opptrer variasjoner med periode fra 0.2s til mer enn 10 minutter, og disse variasjonene (som ofte forstyrrer radiokommunikasjon) forsterkes i samband med nordlys. Ved lynnedslag genereres elektromagnetisk stråling med frekvens opp til 100kHz. Noen av disse elektromagnetiske bølgene danner stående bølger rundt jorda. Slike stående bølger rundt jorda får vi f.eks. når bølgelengden er lik jordas omkrets. Dette tilsvarer en frekvens på ca. 8 Hz. Stående bølger av denne typen kalles Schumann- resonanser, og det drives forskning på slike bølger også her ved instituttet.

Selv om naturen genererer vekselfelter av elektrisk og magnetisk art, så er disse vanligvis små i forhold til de feltene menneskene produserer. Dette gjelder i det minste frekvenser fra 50 Hz oppover til flere GHz. I denne øvelsen vil vi kun studere menneskeproduserte felter.

Vi vil faktisk begrense oss til å måle nesten bare feltene omkring nettleidninger under forskjellige forhold. Dette kan virke tilsynelatende trivielt og kjedelig, men kanskje du likevel vil bli overrasket midt i dette enkle!

Det er flere grunner til at vi har valgt å ta med en øvelse om elektriske og magnetiske vekselfelter omkring elektriske installasjoner. For det første har vi her en fin anledning til å la deg selv oppdage lovmessigheter som du møtte i elektromagnetisme-kurset.

For det andre kan emnet vi tar opp være temmelig matnyttig dersom du skal jobbe videre innen elektronikk (eller innstallere et stereoanlegg eller hustelefon). Det er nemlig ofte et stort problem innen elektronikk at vi plukker opp 50 Hz i nær sagt enhver forsterker. Nettstøyen kan være meget plagsom, og av og til spolere enkelte oppsett. Det er vårt håp at det du lærer i denne øvelsen skal kunne hjelpe deg til systematisk å redusere problemer av denne art.

For det tredje kan denne øvelsen gi deg kunnskap som kan være nyttig i “elektro-smog” debatten. Som du kjenner til er det idag en livlig diskusjon om hvorvidt elektriske eller magnetiske vekselfelter omkring vanlige elektriske forbruksvarer, kraftledninger, og ikke minst dataskjermer, har noen effekt på vår helse. En spekulerer på om slike felter kan gi økt risiko for kreft eller abort. Øvelsen gir riktignok ingen antydning om eventuelle helseskader, men den skulle gi deg en del

hint om hvordan *du* kan redusere elektriske og magnetiske vekselfelter i *din* hverdag, dersom du skulle ønske noe slikt.

Sist, men ikke minst, håper vi at øvelsen vil gi deg enda en viss trening i å planlegge et eksperiment selv. Vi vil *ikke* gi noe detaljert kokebok for hva som skal gjøres, men stort sett bare gi problemstillinger (oppdrag som skal gjennomføres). Det blir da opp til deg å bestemme hvordan du vil legge opp eksperimentene for å oppnå de lovmessighetene vi ønsker. For at du skal slippe å gjøre for mange tabber, vil vi likevel gi *noen* advarsler og hint.

I øvelsen skal det brukes noen enkle måleinstrument (“prober”) for å måle elektriske og magnetiske vekselfelt. Disse møter du for første gang i denne øvelsen. Vi vil derfor bruke litt tid på å beskrive disse før problemstillingene (oppgavene) blir presentert.

Måleprober for magnetiske vekselfelt

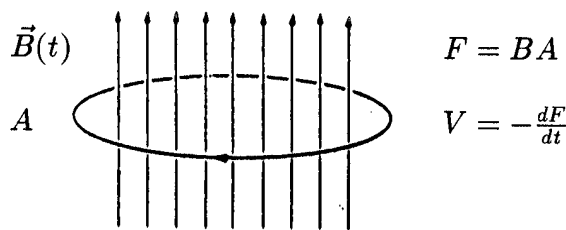
(“*B*-felt”)

Ved måling av magnet-veksselfelt benyttes ofte et fenomen kalt induksjon. Det er egentlig samme prinsipp som brukes i en dynamo der en “omdanner” energi i et variabelt magnetfelt til elektrisk energi. I teorien beskrives effekten i Faraday-Henrys lov:

Når et magnetfelt B varierer i tid, vil det induseres (settes opp) et elektrisk felt i den delen av rommet der magnetfeltvariasjonen foregår. Plasserer vi en lukket strømsløyfe i dette området, vil det oppstå en spenning V i sløyfen, der:

$$V = -dF/dt \tag{1}$$

hvor den magnetiske fluks F er et mål for hvor mange magnetfeltlinjer som går gjennom strømsløyfa (se figur 1). (Dersom magnetfeltet B er homogent innenfor en strømsløyfe med areal A , og feltet står normalt på sløyfas plan, er $F = B \cdot A$.)



Figur 1: Dersom den magnetiske fluks endrer seg gjennom en lukket strømsløyfe, vil det induseres en spenning i sløyfen som er proporsjonal med fluksendringen pr. tid.

♠ For de mest interesserte:

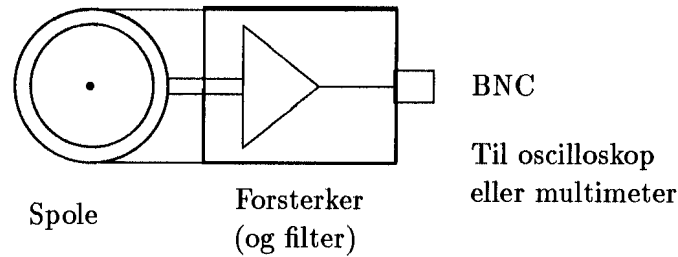
Faraday-Henrys lov inneholder et vesentlig moment som ofte blir glemt. Dette fører til at massemedia og andre som diskuterer styrken på elektriske og magnetiske felter, ofte gjør dette på en svært misvisende måte. Ofte sier en f.eks. at magnetfeltet under en kraftledning *bare* er $1 \mu\text{T}$, mens det jordmagnetiske feltet er ca. $50 \mu\text{T}$. Tilsvarende sier en gjerne at det elektriske feltet nær en vannseng er omtrent like stort som det luftelektriske feltet (ca. 100 V/m).

En slik sammenlikning vitner om manglende forståelse for fysikk. Det jordmagnetiske feltet er tilnærmet statisk, og det vil ifølge Faraday-Henrys lov ikke kunne indusere noe som helst spenninger i en ledningsløyfe (når denne ligger i ro). Tilsvarende vil et variabelt elektrisk felt ha helt andre virkninger enn et statisk felt. Det gjelder derfor å ikke blande kortene her!

Vi har forsøkt å bruke uttrykket “vekselfelt” i denne øvelsesteksten for å poengtere at feltene vi ser på varierer i tid. Dette er et litt tung uttrykk, så vi er ikke helt konsekvente ...

Faraday-Henrys lov sier altså at dersom vi plasserer en strømsløyfe (“spole”) normalt på et magnetfelt som endrer seg i tid, vil vi kunne måle en spenning over spolen. Varierer magnetfeltet harmonisk, vil også spenningen variere harmonisk (men tidsforskjøvet $1/4$ periode) siden $d \sin(\omega t)/dt = \omega \cos(\omega t)$.

Det vesentlige element i våre B -felt prober er derfor en spole av lakkisolert kobbertråd. Induseres spenning i spolen, blir signalet forsterket av en forsterkerkrets, og signalet kan så betraktes med oscilloskop eller multimeter (se figur 2).



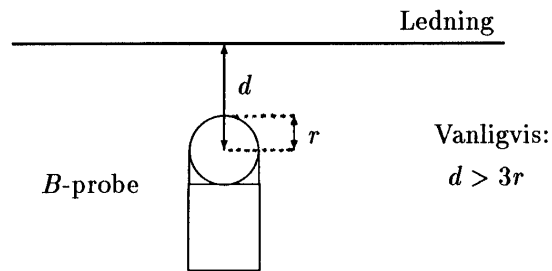
Figur 2: B -felt probe for måling av magnetvekselfelt består av en pick-up spole og forsterker (eventuelt med innebygget lavpassfilter). Proben gir fra seg et vekselspenningssignal som kan bestemmes med et oscilloskop eller multimeter.

Vi har to forskjellige B -felt prober, en rød merket ELF (Extreme Low Frequency) og en blå merket VLF (Very Low Frequency). ELF proben (rød) egner seg best for måling av magnetiske vekselfelter med frekvens < 500 Hz. Denne brukes i nesten hele øvelsen for måling av 50 Hz felter. VLF proben (blå) kan også brukes for høyere frekvenser enn 1 kHz. Denne proben skal kun benyttes i øvelsens siste oppgave (måling av vekselfelter omkring et TV apparat).

Forsterkerkretsene i probene består av to (VLF) eller tre (ELF) operasjonsforsterkere. Den første av disse virker som impedanstilpassing til spolen. I ELF proben brukes den andre operasjonsforsterkeren i et aktivt lavpassfilter (finnes ikke i VLF proben). Den siste operasjonsforsterkeren brukes som en ren spenningsforsterker i begge probene. Signalet føres deretter via en coax til et multimeter eller et oscilloskop. All elektronikk i proben er batteridrevet for å unngå selvprodusert nettstøy. For å spare på batteriutgifter, ber vi deg om å slå av proben snarest mulig etter hver måleserie.

Vi har to spolestørrelser til probene. Spolen med minst diameter gir minst signal ut for et gitt magnetvekselfelt (den er minst følsom). Likevel kan denne spolen være fin å bruke nær inntil f.eks. ledninger. Vi ønsker nemlig helst å unngå å måle felter når avstanden mellom nærmeste ledning og spolens periferi er mindre enn diameteren til spolen (se figur 3). Du står fritt til å skifte spole på ELF-proben alt etter ønsker og behov.

På probene er det oppgitt en kalibreringskonstant, f.eks. $0.76 \mu\text{T}/\text{V}$. Dette gjelder kun for 50 Hz magnetfelter målt med ELF proben. Magnetvekselfelt oppgis som effektiv-verdier. Det betyr at dersom du kobler B -felt proben til et multimeter (som selvfølgelig måler effektiv-verdier i V-AC funksjon), og måler 2.4 V, vil det si at magnetvekselfeltet *normalt på spolen* er $0.76 \mu\text{T}/\text{V} \cdot 2.4\text{V} = 1.8 \mu\text{T}$ (effektiv-verdi direkte). Kobles proben til et oscilloskop og vi måler 4.7 V peak-to-peak, er



Figur 3: *B*-felt probe for måling av magnetveksselfelt bør helst ikke brukes nærmere kilden enn en spolediameter. Normalt angis avstand mellom kilde og probe som avstanden til senter i spolen (som gitt ved d).

magnetveksselfeltet derimot $0.76 \cdot 4.7 / 2\sqrt{2} = 1.3 \mu\text{T}$. (Forskjell på effektiv-verdi og amplitudeverdi ble beskrevet i vårsemesteret, se øvelse 4.)

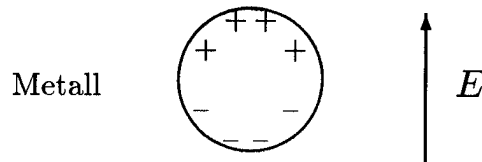
Amplituden til signalet fra proben kan aldri bli større enn ca. 9 V (siden forsterkeren drives av 9 V batterier). Er magnetveksselfeltet for sterkt for proben, vil du se at sinuskurven “klippes”, forutsatt at du bruker oscilloskop. Vi sier da at proben *overstyres*. Pass på at du aldri får så kraftig signal når du foretar målinger som du vil bruke. *Unngå derfor i praksis peak-to-peak amplituder større enn 17 V (målt med oscilloskop) og spenninger større enn 6 V (målt med multimeter).*

Vi har ikke kalibrert VLF proben. I siste oppgave får du derfor ikke ut noe måltall for magnetveksselfeltet. Frekvensen til magnetveksselfeltet kan likevel leses ut fra oscilloskopskjermen.

B-felt probene vi har laget perturberer (forstyrrer) magnetveksselfeltet svært lite. Gjenstander av jern (og visse typer stål) vil kunne forstyrre feltet betydelig. Hold disse borte fra måleområdet når målinger foretas.

Måleprobe for elektrisk vekselfelt (E -felt probe)

Måleproben for elektrisk vekselfelt er vanskeligere å forklare (og vanskeligere å bruke) enn proben for magnetveksselfelt. Prinsippet som brukes er at en leder i et elektrisk felt vil “polariseres”. Med det mener vi at et elektrisk felt fører til at ladninger søker ut mot (eller vekk fra) overflaten på lederen. Ladninger forskyves til overflaten helt til det elektriske feltet inne i lederen blir lik null (se figur 4). Graden av ladninger som trekkes ut mot overflaten er proporsjonal med styrken på det elektriske feltet.



Figur 4: Når en leder kommer inn i et elektrisk felt, vil ladning forskyve seg til overflaten inntil feltet inne i lederen er lik null.

Måleproben vår benytter dette fenomenet idet den måler selve *ladningsforskyvningen* i et elektrisk vekselfelt. Når det elektriske feltet varierer harmonisk, vil også ladningsforskyvningen variere harmonisk (men også her forskjøvet i tid). Måleproben vil derfor gi fra seg en 50 Hz spenning (AC) når det elektriske feltet har en frekvens på 50 Hz.

Måleproben består av en forholdsvis stor sirkulær flate av kobberbelagt glassfiber (se figur 5). Oversiden er delt i en sentral skive omgitt av en ringformet ytre flate. Den indre skiven er det aktive måleområdet. Den ytre del (samt baksiden av skiven) skal kobles til jord, og denne danner da en slags referanse (“en vet hvor jord er”). På baksiden av skiven er det festet en boks som inneholder en (ladnings-)forsterker med batterier. Fra en BNC-utgang kan det tilkobles et multimeter eller et oscilloskop.

Husk altså at den ytre skiven må tilkobles jord for å oppnå reproducerbare målinger. (Bruk krokodilleklemme.)

Vi nevnte ovenfor at B -felt proben perturberer et 50 Hz magnetisk felt svært lite. Proben kan derfor lett brukes for å bestemme retningen til et magnetveksselfelt.

E -felt proben på den annen side, perturberer et 50 Hz elektrisk felt svært mye, nettopp fordi hele skiven effektivt legges til jordpotensial. Det betyr at det er

vanskelig å bestemme retning til et elektrisk vekselfelt (retningen på feltet *før* proben ble satt inn) med dette instrumentet.

Når en skal måle elektrisk vekselfelt fra en gjenstand (eller ledning) med vår probe, bør gjenstanden plasseres mest mulig symmetrisk foran proben (symmetrisk omkring normalen ut fra probeskiivens midtpunkt). Ledningen(e) legges da på bordplaten, og proben holdes vannrett (med den blå boksen opp) retttest mulig over ledningen(e). Multimenteret kan gjerne ligge oppå skiven, ved siden av den blå boksen, men ikke la ledninger mellom probe og multimeter falle ned langs kanten. Området mellom proben og ledningen(e) du måler på, bør være så fritt som overhode mulig. Holdes proben oppe ved hjelp av treklosser, bør disse dras så langt ut til siden som det går an.

Avstanden mellom probe og ledning bør ikke være mindre enn radien i den indre skiven (den aktive delen) av proben.

♠ For de mest interesserte:

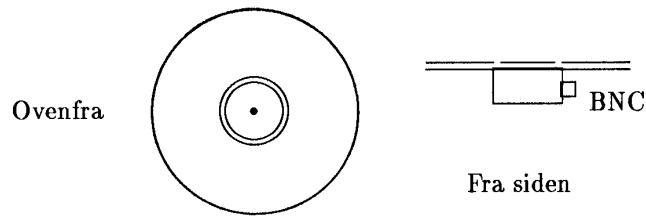
Det er ofte svært vanskelig i praksis å måle elektriske felt, i alle fall dersom en er interessert i høy presisjon. For det første er det et stort problem at selve måleproben ofte perturberer feltet. For det andre er det ofte store problemer med å finne “god jord”.

“Sant jord” som vi finner i jordete stikkontakter på labben er oftest fullt ut tilstrekkelige for å fjerne *like*-spenninger. Jordledningen fra stikkontakt til jordingsplaten ned i “Moder Jord” er likevel lang, og denne ledningen vil ofte plukke opp en god del *veksel*-spenninger. Jordledningen er blitt som en antenne.

“Sann jord”, slik vi finner den på labben, er derfor ikke noe perfekt jord, og dette vil påvirke presisjonen i våre målinger.

På proben for måling av elektriske vekselfelt er det gitt en kalibreringskonstant, f.eks. 700 m^{-1} . Det betyr at dersom proben sluttes til et multimeter i AC volt-meter funksjon, og du leser av 3.1 V (effektiv-verdi), så er det elektriske vekselfeltet vinkelrett på probens skive lik $700 \cdot 3.1 = 2.2 \text{ kV/m}$.

Bruker du oscilloskop for å avlese signalet fra proben, må du dividere peak-to-peak amplituden med $2\sqrt{2}$ før du multipliserer med kalibreringskonstanten. Elektriske vekselfelt oppgis nemlig også vanligvis som effektiv- verdier.



Figur 5: *Fysisk utforming av vår E-felt probe.*

Forsterkeren i E -felt proben drives av samme type batterier som B -felt proben. Det betyr igjen at du bør slå av proben når den ikke brukes. Videre betyr det at du også her må unngå overstyring av forsterkeren. (Se detaljer om dette under beskrivelsen av B -felt proben.)

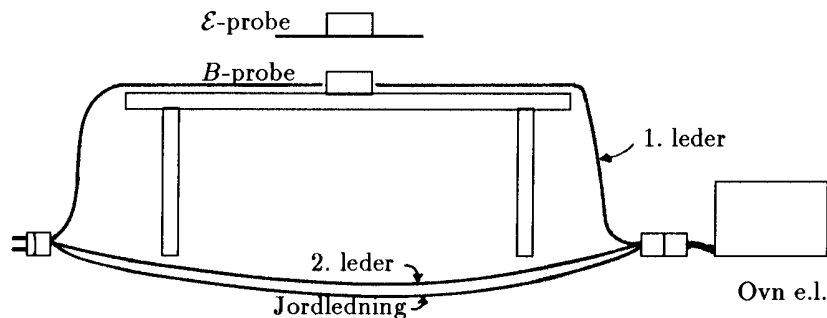
Omgivelsene ved måling av vekselfelter

For å få minst mulig perturbasjon av feltene som skal måles, legges ledningene på en bordplate av tre, satt opp mellom to andre bord. Ledningene bør ligge *i bordplatenes lengderetning*. Ledningene bør ligge rettst mulig, og du har tape som kan brukes for å holde alt på plass.

Hold alle ledninger som du ikke skal måle på, lengst mulig vekk fra måleprobene. Skal du f.eks. måle vekselfeltet fra den éne lederen i en nettledning, må du få den andre lederen (og jord) lengst mulig vekk fra den første. Dette kan f.eks. gjøres som vist på figur 6.

Ledningene som skal benyttes i denne øvelsen er spesiallaget for å få fram de effekter vi ønsker klarest mulig. Av og til skal ledningene være knyttet til nettet uten at det går strøm, og av og til når det går strøm. Ledningene skal derfor kobles mellom en stikkontakt og en belastning (som kan slås av og på). Som belastning har vi en varmeplate og en varmeovn. Bruker du platen, må du huske på å plassere en vannfylt gryte på platen for å unngå overoppheting.

Det er bare to sett bord og ledninger. Det betyr at mange av dere må jobbe sammen med en medstudent i løpet av denne øvelsen. Dette kan være fint på mange måter, men pass på at dere sørger for at begge fullt ut forstår det motparten gjør (ellers kan en part lett bli “overkjørt”).



Figur 6: Oppstilling for måling av vekselfelter nær én leder i en nettleddning. Både E - og B -proben er inntegnet, men kun én av disse må brukes om gangen.

Det er nå straks på tide å starte opp med det praktiske arbeidet. Som nevnt innledningsvis, vil vi i denne øvelsen kun gi noen arbeidsoppdrag, og du må selv finne ut hvordan du skal løse disse. Det betyr at du i labjournalen må skrive litt mer utførlig hvordan du går fram enn det du var vant med i vår. Pass likevel på å ikke lage norsk stil utav det hele. Vi trenger opplysninger som gjør det mulig å gjenta dine målinger, men disse kan gis temmelig konsist dersom du går inn for det. Husk i hele øvelsen at lab'en er utstyrt med det internasjonale fireleder spenningsforsyningssystemet (se øvelse 4). Dette betyr at en av de to strømførende ledere ligger til jord. Dersom du kopler deg til stikkontaktene oppå bordet og tar hensyn til de markerte symboler (sirkel mot sirkel og strek mot strek), er det den svarte lederen som ligger til jord men er strømførende. Den gule er en ren jordforbindelse (normalt ikke strømførende). Ved E -felt målinger på énleder må du derfor bruke den røde ledningen. Du bør sjekke at forholdene er som beskrevet her før du starter målingene. Lykke til!

Oppgave 1 : Retning på magnetvekseltet omkring en strømførende elektrisk leder

Arbeidsoppdrag: Bestem *retningen* på magnetvekseltet rundt en strømførende ledning.

Tips m.m.: Koble B -felt proben til et oscilloskop i denne oppgaven.

På grunn av symmetri er det bare tre mulige retninger magnetvekseltet kan ha i et punkt utenfor lederen. Det kan være rettet radielt ut fra ledningen, det kan være rettet sirkulært omkring ledningen, eller det kan være rettet parallellt med ledningen. Du skal avgjøre hvilken retning feltet *virkelig* har.

Angi i journalen hvordan du går fram, og angi hvilket resultat du kommer fram til. Angi spesielt hvilken avstand du valgte mellom probe og ledning, og hvordan du da definerer “avstand”.

♠ For de mest interesserte:

Vi gjør oppmerksom på at beskrivelsen ovenfor av mulige retninger for magnetveksselfeltet kun passer for lineært polarisert vekselfelt, det vil si at feltet lokalt bare svinger i én retning. Felter kan også være elliptisk polarisert. I så fall vil feltet variere i to ortogonalt uavhengige retninger.

Med et lineært polarisert vekselfelt vil en kunne finne *to* ortogonale retninger som gir null indusert spenning. For et elliptisk polarisert vekselfelt kan en maksimum finne én slik retning. I denne øvelsen kan du gå ut fra at feltene er tilnærmet lineært polarisert. (Dette er imidlertid ikke tilfelle under en trefase kraftledning!)

Oppgave 2 : Hvordan E - og B -feltet varierer med avstanden fra en enleder og en toleder strømførende kabel

Arbeidsoppdrag: Bestem *avstandsavhengigheten* til såvel E - som B -feltet rundt en enleder *strømførende* kabel. For B -feltet skal også avstandsavhengigheten rundt en toleder bestemmes. Bestem den enkleste funksjonssammenheng for avstandsavhengighetene som er i overensstemmelse med måledataene.

Tips m.m.: Med enleder kabel mener vi en oppstilling slik du hadde den i forrige oppgave. Den ene lederen i en ledning skilles fra den andre lederen (som leder strøm motsatt vei av den første). En toleder kabel karakteriseres med at den inneholder to ledere som til ethvert tidspunkt leder like stor strøm, men i motsatt retning av hverandre (“fram”- og “tilbake”- strøm). En vanlig skjøteledning er en toleder. Vi bruker her *spesielle* ledninger, og ønsker at du lar de to lederne ligge *parallellt med ca. 1 cm avstand fra hverandre* på bordet når målingene foretas. Jordledningen plasseres på golvet.

Avstandsregulering for E -feltmåling: bygg i høyden ved hjelp av treklosser.

Avstandsregulering for B -feltmåling: la spolen ligge på bordet og flytt den vekk fra ledningen(e).

Bruk nest høyeste (evt. høyeste) effekt på ovn eller plate, men skru ned effekten dersom det blir lange pauser i målingene.

Spenningen fra proben kan leses av med et multimeter. Du vil imidlertid kunne få bedre resultater ved å bruke coax kabel og lese av på oscilloskopet, fordi du da er godt skjermet mot støy. Bruk gjerne vedlagte registreringsskjema.

Ikke bruk for mange målepunkter! Det skulle holde med 4–5 for hver serie dersom du velger dem klokt. Dette avhenger litt av hvordan du velger din grafiske fremstilling. Vi ønsker ikke pinlig nøyaktige funksjonssammenhenger, men de litt grovere trekk må komme fram.

Tilleggs-spørsmål: Vi ønsker at du, enten ut fra målingene direkte eller ved ekstrapolasjon i dine grafiske fremstillinger, anslår feltstyrkene 10 cm fra ledningene. (Med både E - og B -felt for enlederkonfigurasjonen og B -felt for toledertilfellet, skulle dette føre til tre forskjellige verdier.)

Magnetvekseltet *rett under* vanlige høyspentledninger er gjerne i størrelsesorden $1 \mu\text{T}$. De tilsvarende elektriske vekselfeltene er i størrelsesorden 10^4 V/m . Hvor store er vekselfeltene nær din ledning sammenliknet med dette?

Når elektriske varmekabler skal legges i f.eks. badegolv, kan en ofte velge mellom enleder og toleder varmekabler. Hvilken type ville *du* valgt dersom du ønsket å holde magnetvekseltene over golvet på et minimum?

Oppgave 3 : Hvordan forskjellig ledningsføring og skjerming innvirker på de elektriske og magnetiske vekselfelter omkring en elektrisk leder tilknyttet el-nettet

a. Elektrisk vekselfelt

Arbeidsoppgave: Bestem det elektriske vekselfeltet i V/m , i en fast avstand fra ledningene, for hvert av de følgende tilfellene:

1. Énleder (de to enkeltlederne er godt adskilt) *ikke* tilkoblet nettet.
2. Énleder tilkoblet nettet, men det går ingen strøm (ovn eller plate avskrudd).
3. Énleder tilkoblet nettet, og det *går* strøm (ovn eller plate på).
4. Som i 3, men med en skjerm (ikke jordet) rundt lederen.
5. Som i 4, men med skjermen jordet. Du må selv sørge for at skjermen jordes, for eksempel til en jordingsbøyle i en stikkontakt.

Sett opp målingene i en oversiktlig tabell og kommenter hva du kan lære av resultatene.

Tips m.m.: Alle varianter av skjøteledninger som skal brukes, finnes tilgjengelig. I denne oppgaven ønsker vi at kun selve ledningsføringen varieres, og at probens avstand og retning til ledningen er konstant. Pass videre på at du bruker den strømførende lederen som ikke ligger fast til jord, se kommentar og forklaring på side 10.

Bruk multimeter for å lese av spenning fra proben. Velg avstand til proben ut fra det du lærte i oppgave 2.

b. Magnetisk vekselfelt

Arbeidsoppdrag: Bestem det magnetiske vekselfeltet i μT (eller nT), i en fast avstand fra ledningene, for hvert av de følgende tilfellene:

1. Énleder (de to enkeltlederne er godt adskilt) *ikke* tilkoblet nettet.
2. Énleder tilkoblet nettet, men det går ingen strøm (ovn eller plate avskrudd).
3. Énleder tilkoblet nettet, og det *går* strøm (ovn eller plate på).
4. Som i 3, men med en jordet skjerm omkring den *enkeltlederen* du måler på.
5. Toleder (de to strømførende lederne tvunnet sammen) tilkoblet nettet, og det *går* strøm (ovn eller plate på).
6. Som i 5, men med jordet skjerm rundt lederne.

Sett opp målingene i en oversiktlig tabell og kommenter hva du kan lære av resultatene.

Merk: Det er et annet utvalg av ledningsføringer her i oppgave 3b enn i 3a. Dette er gjort med hensikt. Utvalget er gjort for at du forholdsvis lett skal kunne få øye på noe av det som er spesielt med elektriske og det som er spesielt med magnetiske felt.

Tips m.m.: Pass på at probens avstand og retning til ledningene er konstant. Velg retning og avstand på proben ut fra det du har lært i oppgave 1 og 2. Bruk multimeter for å lese av spenning fra proben.

Tilleggs-spørsmål: Som en test på om du har fått med deg de viktigste poengene her, ber vi deg fortelle hvordan du ville lage et varmeelement til en vannseng slik at både elektrisk og magnetisk vekselfelt blir minst mulig for den som skal sove i senga. Spesielt ønsker vi å få vite hvordan du ville legge varmetråden i elementet.

Uheldig ledningsføring av varmeelementer i varmekabler, panelovner m.m. gir ofte *langt* høyere magnetvekslefelter i våre omgivelser enn en ville fått dersom prinsippene *du* nå forhåpentligvis har lært, var bedre kjent.

Oppgave 4 : Vekslefelter som ikke kommer fra lysnettet

Arbeidsoppgave: Bestem typiske frekvenser for elektriske og magnetiske vekselfelter rundt et TV apparat.

Tips m.m.: Hittil i øvelsen har vi sett på vekselfelter som skyldes lysnettet, og frekvensen har vært 50 Hz. Elektrisk utstyr genererer imidlertid ofte også vekselfelter med andre og ofte langt høyere frekvenser. Som et eksempel skal du undersøke elektriske og magnetiske vekselfelter omkring et TV apparat. Det kan da være på sin plass og fortelle hvordan bildet på en TV- skjerm blir bygget opp.

Et TV-bilde dannes ved at en elektronstråle sveiper (farer over) skjermen omtrent som når vi skriver en side med tekst. Den farer over en "linje", hopper raskt tilbake til begynnelsen på neste linje, og farer også over denne. (Egentlig skrives bare annenhver linje, hele siden ned, og dernest fylles de manglende linjene inn.) I alt er det 625 linjer i et norsk TV-bilde. For at øyet ikke skal oppfatte når et bilde skiftes ut med det neste, må vi veksle bilder minst 25 ganger i sekundet. Den tiden elektronstrålen bruker på å skrive ut én linje i TV-bildet blir da: $1.0/(25 \cdot 625)$ sekunder,

og styrekretsen for elektronstrålen må da ha en frekvens på:

$$\text{linjefrekvens} = 25 \cdot 625 \text{ Hz} \approx 15.6 \text{ kHz}$$

Elektronstrålen i billedrøret styres ofte av magnetfelter generert av spesielle avbøyningsspoler. Det må to sett spoler til, ett for den horisontale avbøyningen (en gang pr. linje) og ett for den vertikale avbøyningen (en gang pr. bilde/halvbilde). Det er ikke urimelig å tro at vi kan plukke opp felter utenfor TV-en som gjenspeiler de avbøyningene som skjer inne i røret.

Du må nå skifte B -felt probe fordi den du har brukt hittil bare var følsom for frekvenser under noen hundre Hz. Gå nå over til å bruke proben merket med blå tape (VLF), men pass først på at den røde ELF proben er skrudd av.

Signalet du får fra TV-en er såpass komplekst, at vi vil miste mye informasjon dersom vi bare bestemte spenningen med et voltmeter. I denne oppgaven bør du derfor betrakte signalet fra probene ved hjelp av et oscilloskop.

VLF proben for måling av magnetvekselfelt er ikke kalibrert, så du kan ikke bestemme vekselfeltet i μT . E -felt proben er imidlertid like følsom for alle frekvenser innenfor det aktuelle frekvensintervallet. Du kan derfor finne styrken på det elektriske vekselfeltet dersom du skulle ønske det (kreves ikke).

E -felt proben (må jordes) kan f.eks. plasseres ca. 15 cm foran TV skjermen. Det er vanskelig å finne en triggerinnstilling på oscilloskopet som gir et pent bilde, men gjør det beste du kan. Skisser to forskjellige bilder du kan få fram på oscilloskop-skjermen ved å variere tidsbasen (tid pr. delstrek). Velg bilder som kan brukes for å bestemme typiske frekvenser for svingningene. Bruk rutenettene bak.

B -felt proben kan f.eks. plasseres i en avstand ca. 15 cm rett på venstre siden av skjermen. Variér retningen til proben til du får et størst mulig signal. Skissér også her ett eller to bilder du kan få fra oscilloskopet.

Bruk gjerne skissene for å dokumentere hvilke(n) frekvens(er) som dominerer vekselfeltene i nærheten av TV- skjermen.

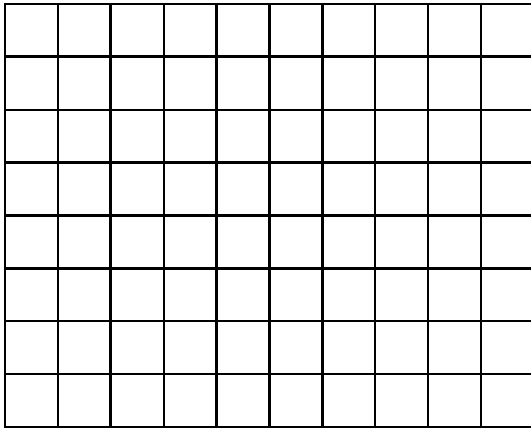
Andre kommentarer: Vi håper du har merket deg at katodestrålerør, så som i en TV eller en dataskjerm, produserer flere forskjellige typer felter. De gir statisk elektrisitet (vi har ikke gått inn på dette) og 50 Hz og flere kHz magnetiske og elektriske vekselfelter. Men fordelingen av felter rundt apparatet er svært kompleks. Det vil du oppdage dersom du f.eks. plasserer B -proben på forskjellige posisjoner rundt TV-en, og du dreier proben i hver posisjon for å finne både maksimal styrke og retning. Du vil da fort forstå at det er meningsløst å operere med *ett* tall for

vekselfelter rundt en TV (eller en dataskjerm), med mindre en har spesifisert en måleprosedyre i detalj.

I denne øvelsen har vi ikke hatt tid til å se på elektriske og magnetiske *fjernfelter* i våre omgivelser. Disse omfatter først og fremst alle elektromagnetiske bølger brukt i radiokommunikasjon. De omfatter også radar brukt ved navigering. Vi har heller ikke kommet inn på lekkasje av mikrobølger fra mikrobølgeovner. Hvor store er slike felter, hvordan er feltfordelingen i rommet? Og sist, men ikke minst: Har disse feltene noen biologisk effekt? Det er spørsmål som opptar mange idag, men uten at vi kan gi gode svar foreløpig. Det foregår forskning på dette området også ved vårt institutt.

Utstysrliste:

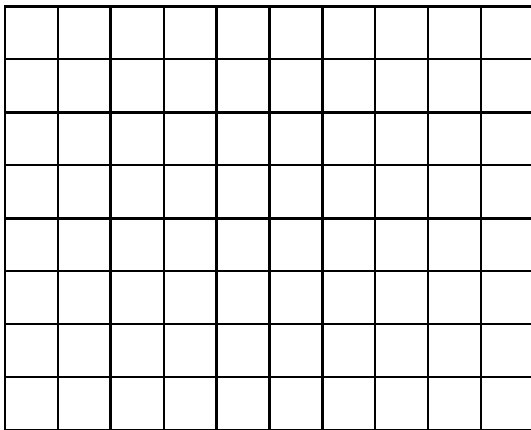
Oscilloskop (digitalt)
Multimeter (Fluke 75)
E-felt probe
B-felt probe (ELF m. lavpassfilter)
B-felt probe (VLF u. lavpassfilter)
Ekstra spole til *B*-felt probene
Bordplate av tre
Div. spesial skjøteledninger
Elektrisk ovn, eller kokeplate m. kjele
Coax-ledninger
BNC-bananplugg overgang
TV eller en vanlig dataskjerm (CRT)
Dobbelt-logaritmisk papir



Signal:

V/div:

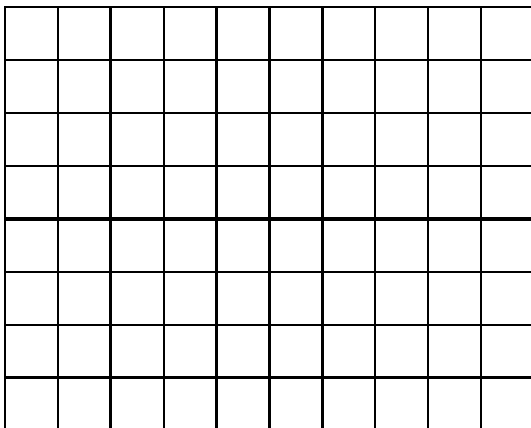
sec/div:



Signal:

V/div:

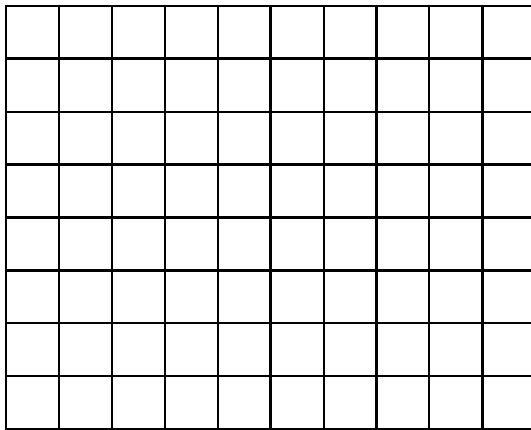
sec/div:



Signal:

V/div:

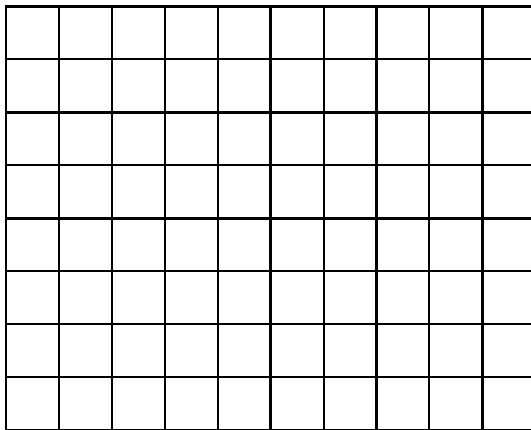
sec/div:



Signal:

V/div:

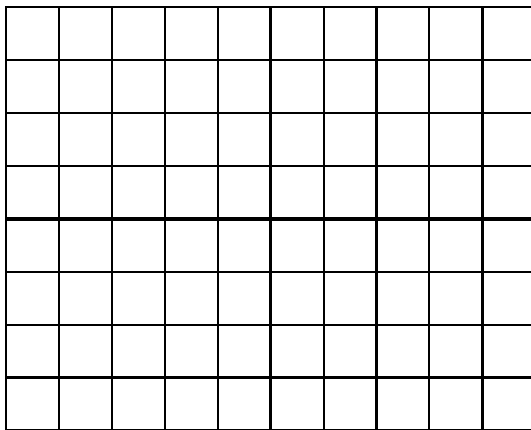
sec/div:



Signal:

V/div:

sec/div:



Signal:

V/div:

sec/div: