

FYS 2150 ØVELSE 8

ELEKTRISKE OG MAGNETISKE FELTER

I VÅRE OMGIVELSER

Fysisk institutt, UiO

Mål.

I denne øvelsen skal du lære litt om elektriske og magnetiske felter rundt nettleidninger. Du skal se hvor raskt slike felt avtar med avstanden fra ledningen, og du skal se forskjellige måter vi kan benytte for å redusere feltene. Du skal også se litt på vekselfelter rundt elektriske apparater.

Innledning

I denne øvelsen skal vi studere magnetiske og elektriske vekselfelter, det vil si felter som varierer som funksjon av tiden.

De vekselfeltene som har størst betydning i våre omgivelser skyldes menneskelig aktivitet i en eller annen form. Vekselfeltene opptrer både som elektromagnetiske bølger (stråling) som kan forplante seg over store avstander, *fjernfelter*, eller som *nærfelter* rundt elektrisk ledningsføring og apparatur. I elektromagnetiske bølger er det nøye sammenheng mellom elektrisk og magnetisk feltvektor, og det er et kjent forholdstall mellom styrken på disse. I denne øvelsen er det nærfeltene som vi skal studere.

Nærfeltene domineres av energi som pendler frem og tilbake mellom kilden og omgivelsene. Strømmen i en elektrisk ledning 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. I nærfeltene dreier det seg derfor ikke om stråling i vanlig betydning av ordet. Vi kan også ha store elektriske felter selv om den magnetiske komponenten er liten (faktisk null) og omvendt. Vi skal se eksempler på dette.

Naturen selv genererer vekselfelter i mange situasjoner. I Jordas magnetfelt opptrer for eksempel variasjoner med perioder fra ca. 0,1 s til mer enn 10 minutter. Disse variasjoner skyldes strømmen i 100-150 km høyde. Strømmene er spesielt sterke i forbindelse med nordlys. Strømmene i den øvre atmosfæren inducerer også tilsvarende elektriske felt og strømmen i jordskorpen. Ved lynutladninger genereres det elektromagnetiske bølger over et bredt spektrum med frekvenser opp til 100kHz. Feltene i disse bølgene kan lokalt være meget sterke. Utvalgte frekvenser vil også danne stående bølger i bølgelederen som dannes av Jordas overflate og ionosfæren (den elektrisk ledende del av atmosfæren).

Øvelse 8 FYS2150: Elektriske og magnetiske felter i våre omgivelser

Bølgelengden vil være lik Jordas omkrets, noe som tilsvarer en frekvens på ca 8 Hz. Ute i verdensrommet genereres det også elektromagnetiske bølger i frekvensområdet 0,1 kHz til flere Mhz. Noen av disse bølgene utbrer seg ned til Jorden, mens bølger med høye frekvenser stråles ut i verdensrommet og gjør Jorden til en radiokilde.

Selv om naturen selv genererer elektriske vekselfelter, så er disse feltene vanligvis svært små i forhold til det som menneskene selv produserer. Dette gjelder i hvert fall for frekvenser fra 50 Hz og oppover til flere GHz.

Det vi skal se på i denne øvelsen er imidlertid felter fra elektriske installasjoner. Det kan være interessant av flere grunner, du vil kunne eksperimentelt kunne se på felt som funksjon av avstand og sammenligne dette med det du har lært i teorikurset. Du vil kunne lære hvordan du ved enkle metoder kan redusere feltet i nærheten av elektriske ledninger. Du vil også få litt bakgrunn for å vurdere det som vi kaller ”elektrosmog”, det vil si elektriske og magnetiske felter omkring vanlige elektriske forbruksvarer og kraftledninger.

Du vil bruke noen enkle måleinstrumenter (prober) for å måle elektriske og magnetiske vekselfelt. Vi vil gi en kort beskrivelse av disse før vi går over til selve måleoppgavene. Når vi skal måle elektromagnetiske felt, både statiske felt og vekselfelt, vil vi forsøke å innrette oss slik at vi forstyrrer det feltet som vi skal måle minst mulig. Vi skiller derfor ofte mellom ”antenner” og ”prober” for feltmålinger. Antenner er designet slik at de skal kunne trekke mest mulig effekt ut av feltet (for eks. et radiosignal). De vil derfor også gjerne forstyrre feltet lokalt. En probe, derimot, vil forsøke å måle feltet, uten å forstyrre. Et basiskrav er da at selve måleinstrumentet trekker liten strøm fra sensoren. Vi må derfor bruke forsterkere med meget høy inngangs impedans. Videre er det viktig at gjenstander av jern (og enkelte typer stål) holdes borte fra måleområdet.

Måleprober for magnetisk vekselfelt (B -felt)

Ved måling av magnetiske vekselfelt benytter man seg ofte av induksjonsprinsippet. Det er egentlig samme prinsipp som man bruker i en dynamo der man ”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 hvor magnetfeltvariasjonen foregår. Plasserer vi en lukket strømsløyfe i dette området, vil det oppstå en spenning, V , i sløyfen, der:

$$V = -dF/dt.$$

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

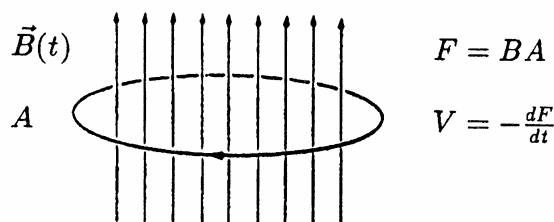
♠ For de mest interesserte:

Øvelse 8 FYS2150: Elektriske og magnetiske felter i våre omgivelser

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

Det som man glemmer i slike sammenligninger, og som skyldes mangel på forståelsen av fysikken, er at det jordmagnetiske feltet er tilnærmet statisk. I henhold til Faraday-Henrys lov vil det derfor ikke kunne induisere noen spenning i en elektrisk ledende sløyfe (så lenge denne ligger i ro). Et tilsvarende variabelt felt vil ha helt andre virkninger enn et statisk felt. Man sammenligner størrelser som ikke er sammenlignbare.

Vi forsøker derfor å bruke uttrykket "vekselfelt" i denne øvelsesteksten for å poengtere at feltene som vi ser på varierer i tid.



Figur 1: Magnetisk fluks gjennom en strømsløyfe. Dersom den magnetiske fluks gjennom en lukket strømsløyfe endrer seg, vil det induiseres en spenning i sløyfen som er proporsjonal med fluksendring per tidsenhet.

Dersom vi plasserer en strømsløyfe ("spole") normalt på et magnetfelt som endrer seg i tid, vil vi kunne måle en spenning over spolen. Dersom feltet varierer harmonisk vil også harmonisk (men tidsforskjøvet $\frac{1}{4}$ periode siden $d \sin(\omega t)/dt = \omega \cos(\omega t)$).

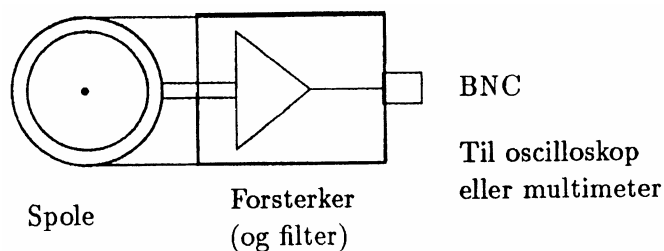
Vi vil bruke to forskjellige B -feltprober i denne øvelsen, men prinsippet er det samme for begge, en spole etterfulgt av en forsterkerkrets (pluss eventuell impedanstilpassing og filtre for å begrense frekvensområdet).

Den enkleste proben (figur 2) består av spole, forsterkerkrets og en utgang via en BNC kontakt som enten kan kobles til et multimeter eller et oscilloskop. Vi har to forskjellige spolestørrelser. Spolen med minst diameter er minst følsom (gir minst signal ut for et gitt vekselfelt). Denne spolen er den som er best egnet til å måle nær inntil for eks. ledninger. Du står fritt når det gjelder å skifte spole etter ønske.

På probene er det oppgitt en kalibreringskonstant, for eks. $0,76 \mu\text{T/V}$. Dette gjelder bare for vekselfelter med frekvens 50 Hz . Vekselfeltet oppgis som effektivverdier. Det betyr at

Øvelse 8 FYS2150: Elektriske og magnetiske felter i våre omgivelser

dersom du kobler B -feltproben til et multimeter (som selvfølgelig måler effektivverdier i V-AC posisjon), og leser av 2,4 V, så vil magnetveksselfeltet *normalt på spolen* være $0,76 \mu\text{T/V} \cdot 2,4 \text{ V} = 1,8 \mu\text{T}$ (effektivverdi direkte). Dersom du kobler proben til et oscilloskop hvor du måler 4,7 V peak-to-peak, er magnetveksselfeltet derimot $0,76 \cdot 4,7 / 2\sqrt{2} = 1,3 \mu\text{T}$ (effektivverdi). (Forskjell mellom effektivverdi, amplitudeverdi og peak-to-peak verdi er beskrevet i Øvelse 2.)

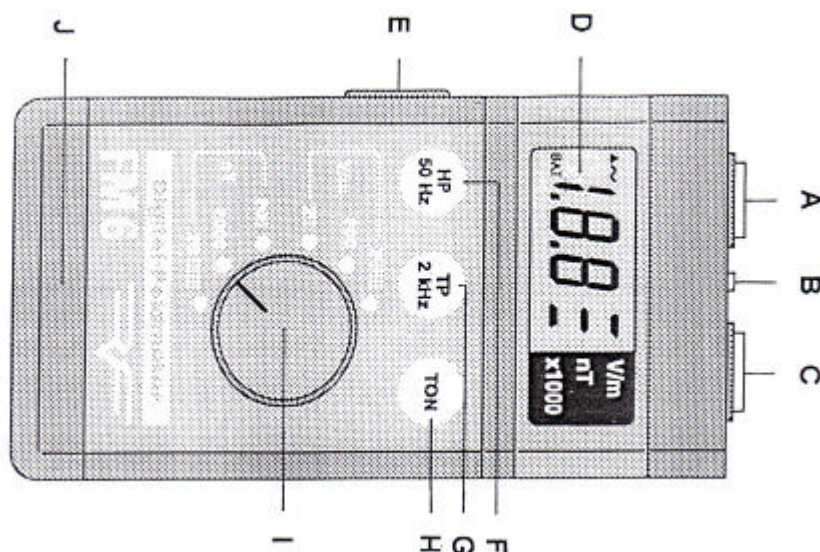


Figur 2: B -felt probe for måling av magnetiske vekselfelt. Proben består av spole og forsterker (med et innebygget lavpassfilter). Signalet ut fra proben er en vekselspanning som viser bølgeformen på det magnetiske vekselfeltet.

Spenningsforsyningen til forsterkeren som sitter i proben er to 9 V batterier ($\pm 9 \text{ V}$). Det betyr at amplituden ut fra proben aldri kan overstige $\sim 9 \text{ V}$. Dersom vekselfeltet som vi måler på er for sterkt, vil signalet ut "klippes", det vil si at toppene (+ og -) ikke kommer med. Vi sier at proben "overstyres". Dette vil du kunne se på et oscilloskop, men du vil ikke kunne se det direkte ved avlesning på et multimeter. Dersom du velger å bruke multimeter må spenningen ut fra proben holdes under 6 V (dvs. $17 \text{ V} / 2\sqrt{2}$).

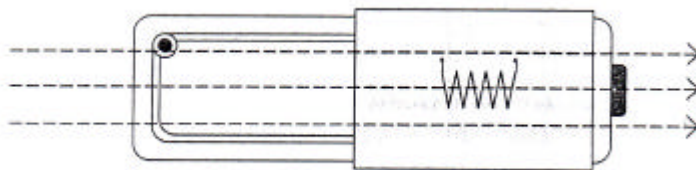
Vi kan også måle magnetiske vekselfelt med et annet instrument "Feldmeter FM6". Dette er et kombinasjonsinstrument for måling både av magnetiske og elektriske vekselfelt. Magnetfeltmålingene bygger på samme prinsipp som beskrevet ovenfor, det vil si en spole med etterfølgende forsterker. FM6 gir en direkte digital utlesning av (rms) feltverdi.

Figur 3 viser selve avlesningsenheten og figur 4 sensorhodet med plassering av spolen som brukes ved måling av magnetiske vekselfelt. Spolen ligger i den delen av sensorhodet som er beskyttet av et mykt gummilag. Dette er ment å være den delen som vi skal holde i når sensorhodet holdes i hånden. Spolens lengderetning er sammenfallende med sensorhodets lengderetning. (Spoleplanet er normalt på lengderetningen.) Det vil si at vi har størst følsomhet når magnetfeltlinjene sammenfaller med lengderetningen på sensoren og liten (teoretisk null) følsomhet når feltet står normalt på lengderetningen. Siden sensorspolen ikke er synlig er det meget viktig at vi har klart for oss retningen av spoleplanet.



Figur 3: Avlesningsenheten for feltmåler FM6.

A: Uttak for tilkobling av skriver og uttak av diverse spenninger. (Finnes ikke på den versjon som vi har.) **B:** Jordingspunkt (NB! VIKTIG) **C:** Tilkobling for kabel fra sensorhodet. **D:** Avlesningsdisplay: Strekene angir om instrumentet måler elektrisk felt (V/m) eller magnetisk felt (nT). Dersom det er en strek ved x1000 skal avlest verdi multipliseres med 1000. **E:** Av/På bryter. **F:** Trykkbryter for innkobling av høypassfilter. **G:** Trykkbryter for innkobling av lavpassfilter. **H:** Trykkbryter for innkobling av tonesignal. **I:** Vender for valg av målefunksjon og følsomhet. **J:** Angir hvor batteriet ligger (på baksiden).



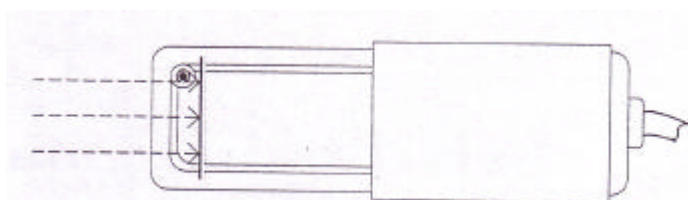
Figur 4: Sensorhodet for FM6 med beliggenhet og retning av spole for måling av magnetiske vekselfelt. De stiplede linjene viser retning på feltlinjer som gir størst følsomhet i målingene. (Feltlinjene normalt på spoleplanet.)

Måleprobe for elektriske vekselfelt (**E-feltprobe**)

Måling av elektriske vekselfelt er i prinsippet enkelt, men i praksis ikke fullt så lett. En tilsynelatende enkel måten å gjøre det på er å etablere to målepunkter i det mediet man skal måle feltet i, og så måle spenningen mellom disse. I mange tilfeller er koblingen til mediet et problem, og det er også vanskelig å gjøre nøyaktige målinger idet man lett

forstyrrer mediet. Et annet prinsipp som kan brukes er at en leder i et elektrisk felt vil "polariseres". Med det mener vi at et ytre elektrisk felt fører til en forskyvning av ladning i lederen helt til det oppstår et indre felt som opphever det ytre feltet. Det ytre feltet kan da bestemmes ved å måle ladningsforskyvningen. I et vekselfelt som varierer harmonisk, vil også ladningsforskyvningen variere harmonisk, men også her forskjøvet noe i tid i forhold til feltvariasjonene.

I våre målinger av elektriske vekselfelt vil vi benytte FM6 i E -feltmode. Plassering av selve sensoren i sensorhodet er vist i figur 5. Retningskarakteristikken for sensoren er slik at den er mest følsom for feltlinjer som treffer lobbrett på sensorplanet. Ved å dreie på sensorhodet kan man dermed få informasjon om hvor kilden til feltet befinner seg.



Figur 5: Plassering i sensorhodet av sensoren for måling av elektriske vekselfelter. De stiplede linjene angir feltretning hvor sensoren har størst følsomhet.

Omgivelsene ved måling av vekselfelter

For å få minst mulig perturbasjon av feltene som skal måles er det viktig at vi holder måleomgivelsene så "rene" som mulig. Dette innebærer bruk av bord uten jernunderstell. Når vi måler på ledninger skal disse ligge i bordets lengderetning, og så rett som mulig. (Fest ledningen(e) med tape på bordet.) Når du skal måle vekselfeltet rundt én av ledningene i en nettkabel, må du få den andre ledningen og jordledningen lengst mulig unna den første. **HUSK at strømforsyningen til labben bruker det internasjonale fireledersystemet. Det betyr at en av de strømførende ledningene ligger til jord. I det oppsettet som du har vil de elektriske kontaktene være merket med henholdsvis • og ? (sirkel og strek). Dersom du passer på å sette inn kontakten slik at det er overensstemmelse mellom disse symbolene i uttak og kontakt vil den røde lederen være strømførende uten jordforbindelse, den svarte er strømførende koblet til jord, og den gule ledningen er ren jordledning (normalt ikke strømførende). Ved måling på én-leder skal du altså bruke den røde ledningen.**

Det er ofte vanskelig å måle elektriske vekselfelter med stor presisjon. Ett problem er at selve måleproben ofte perturberer feltet. Et annet problem er at det er vanskelig å finne en pålitelig jordreferanse. "Sant jord" som vi finner i stikkkontakten i det elektriske opplegget er som regel fullgodt for å fjerne likespenninger, men ledningen fram til virkelig sann jord kan være lang, og det kan ofte ligge vekselspanninger på denne. Jordledningen er blitt til en antenne. "Sann jord" slik som vi finner den på labben er derfor ikke "perfekt jord".

Variierende forhold i omgivelsene kan også føre til at gjentatte målinger i samme måleoppstilling gir litt ulike resultater. Bare en slik ting at mennesker i rommet flytter på seg, kan påvirke feltet.

Ved måling av elektriske vekselfelter må avlesningsenheten på FM6 være jordet. Bruk medfølgende jordledning og koble denne til netjord. Dersom du holder i sensorenheten skal denne holdes i den gummibelagte delen.

Så til målingene:

Oppgave 1: Retningen av det magnetiske vekselfeltet omkring én strømførende elektrisk leder

Du kobler opp en måleoppstilling ved å bruke spesialledning med tre separate ledere. Ledningen kobles til en varmeovn. Reguler termostat og innstilling slik at ovnen er på og pass på at strømmen ikke er så stor at proben overstyres. Du skal først bruke proben som er vist i figur 2 (altså ikke FM6), og lese av utgangssignalet med et oscilloskop.

På grunn av symmetri er det bare tre mulige retninger som magnetveksselfeltet kan ha. Det kan være rettet radielt ut fra ledningen, det kan være rettet parallelt med ledningen eller det kan være sirkulært omkring ledningen. Du skal avgjøre hvilken av disse tre retningene feltet *virkelig* har.

Angi hvordan du vil holde proben (tre posisjoner) for å bestemme retningen på vekselfeltet, og oppgi peak-to-peak spenningene som du leser av på oscilloskopet i de tre posisjonene. (Du behøver ikke konvertere til magnetiske enheter.)

Forøk deretter å gjøre det samme med å bruke FM6. Trykk inn knappen med "TP 2 kHz". Det er lettest om du holder sensorenheten rett over ledningen. Bruk lengderetningen på sensorenheten for å beskrive retningen (slik som "parallelt med ledningen", "radielt ut fra ledningen" og ----). Oppgi feltverdiene som du leser av i de tre posisjonene og si hva du kan slutte om feltretningen ut fra dette.

Oppgave 2: Hvordan E - og B -feltet varierer som funksjon av avstanden fra en én-leder

Du bruker samme oppstilling som i oppgave 1 og måler vekselfeltverdier for noen forskjellige avstander fra ledningen. Magnetfeltet måler du med proben med åpen spole og det elektriske feltet med FM6. Når du skal måle magnetfeltet begynner du ikke nærmere ledningen enn én spolediameter, og avstand fra ledning til probe måles til sentrum av spolen. Fremstill måleresultatene i et dobbeltlogaritmisk aksekors og se om du kan finne en funksjonssammenheng (av type $B = d^x$) mellom felt og avstand. (Dersom

du ikke bruker vanlig logaritmepapir, dvs. om du lager plottet på PC eller på en logaritmisk skala på annet papir, må du sørge for at dekadene på x- og y-akse er like store (mm/dekade.)

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

I denne oppgaven er det bare ledningsføringen som skal varieres. Avstand mellom ledning og probe og retning til ledningen holdes fast. Pass også på at du bruker den strømførende ledningen som *ikke* er koblet til jord (se kommentar og forklaring på side 7).

A: Elektrisk vekselfelt

Bestem det elektriske vekselfeltet i en fast avstand fra ledningene for følgende tilfeller:

1. Énleder *ikke* tilkoblet nettet
2. Énleder tilkoblet nettet, men det går ingen strøm (varmeovn avskrudd)
3. Énleder tilkoblet nettet, og det *går* strøm i ledningen (varmeovn på)
4. Som i 3, men med skjerm (*ikke jordet*) rundt lederen
5. Som i 4, men med jordet skjerm. Bruk krokodilleklemmer for tilkobling til skjerm og jordingsbøyle i stikkontakt.)

B: Magnetiske vekselfelt

Bestem det magnetiske vekselfeltet i μT (eller nT) i en fast avstand fra ledningene for følgende tilfeller:

1. Énleder *ikke* tilkoblet nettet.
2. Énleder tilkoblet nettet, men det går ingen strøm (varmeovn avskrudd)
3. Énleder tilkoblet nettet, og det *går* strøm i ledningen (varmeovn på)
4. Som i 3, men med jordet skjerm rundt lederen
5. Toleder (de to strømførende lederne tvunnet sammen) tilkoblet nettet, og det *går* strøm i ledningen (varmeovn på).

Du kan selv avgjøre hvilken B -feltprobe du vil bruke. Pass bare på at sensoren orienteres slik at du får størst mulig magnetisk fluks gjennom spolen (spoleplanet normalt på

Øvelse 8 FYS2150: Elektriske og magnetiske felter i våre omgivelser

feltretningen). Dersom du bruker B -feltproben med åpen spole, er det en fordel å lese av spenningen fra proben med et multimeter. Da får du avlesningen direkte i rms verdier. Pass på at feltet ikke er så stort at det overstyrer proben.

Sett opp målingene og resultatene i en oversiktlig tabell og kommenter hvilke slutninger du kan trekke fra resultatene.

Dersom du skulle legge varmetråder igulvet for oppvarming, kan du ut fra det du nå har lært si noe om hvilken type ledningsføring du ville ha valgt for å få minst mulig stråling?

(Uheldig ledningsføring i elementene i varmekabler, panelovner, m.m. gir ofte langt høyere vekselfelter i våre omgivelser enn det man ville fått dersom prinsippene som du nå (forhåpentligvis) har lært, var bedre kjent.)

Oppgave 4: Vekselfelter rundt elektriske apparater

Til slutt skal du måle elektriske og magnetiske vekselfelter i nærheten av:

1. Varmeovn på full styrke
2. Foran en TV-skjerm (med katodestrålerør (billedrør))
3. Foran en dataskjerm (med katodestrålerør)
4. (og for sammenligning:) Foran skjermen på det digitale oscilloskopet.

I 1. og 2 skal du måle i tre avstander: 10 cm, 25 cm og 50 cm, ved måling 3. (dataskjermen) tar du bare én måling i 50 cm avstand (ca. "arbeidsavstand) og ved måling 4 (oscilloskopet) måler du feltene bare i 10 cm avstand

Viktig: Forsøk å holde oppstillingene så "rene" som mulig. Det betyr at du for eksempel slår av alt utstyr som ikke er i bruk. (For eks. tar ut støpslet til ledningen som går til varmeovnen når du måler på TV-skjermen og oscilloskopet.) Når du måler på varmeovnen skal du måle på motsatt side av der ledningene kommer inn slik at stråling fra tilførselsledningene forstyrrer i minst mulig grad.

Rommet som vi befinner oss i er også temmelig tettepakket av elektronisk utstyr. Alt dette stråler og gir bidrag til det elektromagnetiske vekselfeltet i rommet, "bakgrunnsfeltet" eller "elektrosmog". Det kan av og til gi litt "rare" resultater når vi ser på vekselfelt som funksjon av avstand fra et objekt. Stråling fra andre apparater kan komme inn og gjøre at feltet tilsynelatende begynner å øke med avstanden fra det objektet som vi egentlig forsøker å måle på når vi kommer over en viss avstand.

Bruk FM6 til alle målingene. Prøv deg fram når det gjelder retning på sensoren og posisjon i forhold til apparatet, og gjør målingene der hvor du får størst utslag.

Vurderinger:

Både DIN/VDE0848 (tysk standard) og International Radiation Protection Association oppgir som norm følgende grenseverdier for elektriske og magnetiske vekselfelter (50 Hz):

Elektrisk: 5000 V/m, magnetisk: 100 000 nT.

En norm for arbeidsplasser ved dataskjerm oppgir 25 V/m og 250 nT som grenseverdier for henholdsvis elektrisk og magnetisk (50 Hz) felt.

Hvordan er de verdiene som du målte i 10 cm avstand fra uskjermet énleder, 50 cm fra TV- og dataskjerm i forhold til disse normene?

Vekselfeltene rett under en vanlig høyspentledning (ikke de i fjernnettet) er gjerne i størrelsesorden 1 μ T for magnetfeltet og 10^4 V/m for det elektriske feltet. Hvordan er verdiene som du målte (bestemte) 10 cm fra en uskjermet énleder i forhold til dette?

I denne øvelsen har vi ikke sett på de elektriske og magnetiske *fjernfelter* som vi har i våre omgivelser. Dette omfatter først og fremst elektromagnetiske bølger brukt i radiokommunikasjon og i radarsystemer, og stråling (nærfelt) fra mobiltelefoner. En annen kilde til høyfrekvent stråling i nærmiljøet er lekkasje av bølger fra mikrobølgeovner. Hvor store er feltene? Hvordan er feltfordelingen i rommet? Og, sist, men ikke minst: Har disse feltene noen biologisk effekt, er de skadelige? Det er noe som opptar mange, men som vi i dag ikke kan gi gode og entydige svar på. Det foregår forskning på dette området, også ved vårt institutt.

Utsyrsliste:

Bordplate av tre (legges mellom to vanlige bord)
Oscilloskop (digitalt)
Feltmeter FM6
B-feltprobe (ELF m. lavpassfilter) med utskiftbar spole
Multimeter (Fluke 75)
Diverse spesialskjøteledninger for nettilkobling
Elektrisk ovn
TV
Dataskjerm (CRT)
Coax-ledning
BNC-bananplugg overgang
(Dobbelt-logaritmisk papir)

JAH, 30.01.2007