1.5 Utstråling av radiobølger

Vi har en krets som på *fig. 1.10.* Generatoren leverer en høyfrekvent spenning til svingekretsen via transformatoren. Rundt transformatorviklingene blir det da et varierende magnetisk felt, og mellom kondensatorplatene blir det et varierende elektrisk felt.

Kondensatorplatene blir så flyttet fra hverandre slik som vist på *fig. 1.11.* Det elektriske feltet krummer seg nå for å treffe kondensatorplatene vinkelrett. *Fig. 1.12* viser hvordan det elektriske feltet blir dersom vi lar kondensatorplatene danne en rett linje. (Feltet er bare vist på den ene siden. Det er et tilsvarende felt på undersiden av platene.) Dette kalles en *åpen svingekrets.*

På samme måte som i den lukkede svingekretsen er det en ladningstransport mellom de to kondensatorplatene. Det elektriske feltet mellom platene øker og minker etter som spenningen mellom dem varierer. I det øyeblikk kondensatoren er fullt oppladd, blir strømmen i kretsen 0. Det elektriske feltet er da maksimalt, mens magnetfeltet er 0. I neste øyeblikk blir imidlertid kondensatoren ladd ut, og det bygges igjen opp et magnetfelt. En slik åpen svingekrets utstråler et elektromagnetisk felt.

Dersom vi tenker oss at spolen er trukket ut til en rett tråd, er svingekretsens egenskaper fortsatt de samme. Kapasitansen C er nå summen av delkapasitansene mellom hvert punkt på tråden og jord. En antenne er en slik åpen svingekrets.

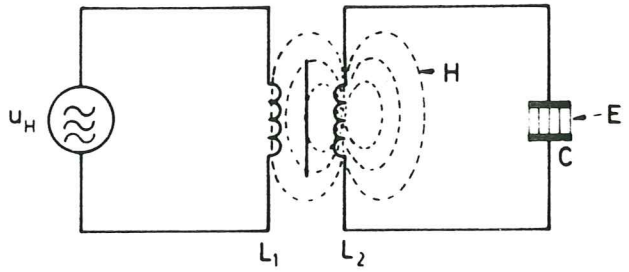

Fig. 1.10. Høyfrekvensgenerator som er induktivt koplet til en lukket svingekrets.

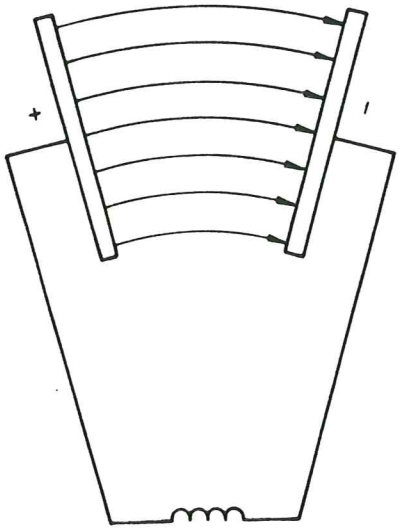

Fig. 1.11. Det elektriske feltet i en åpnet svingekrets når kondensatoren er fullt oppladd.

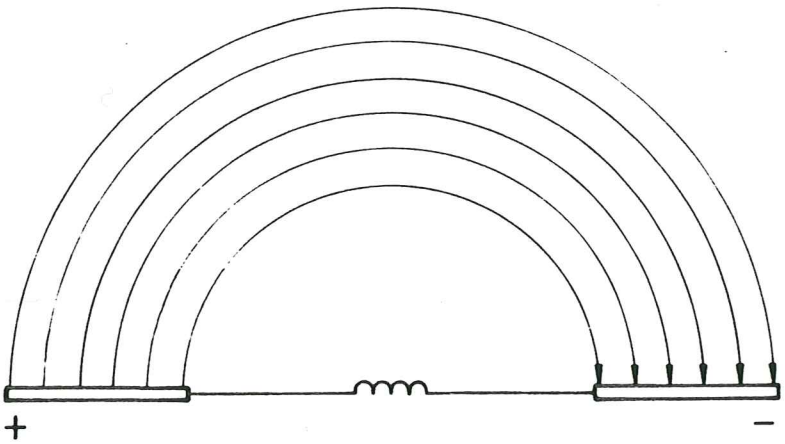

Fig. 1.12. Det elektriske feltet i en åpen svingekrets når kondensatoren er fullt oppladd.

For å illustrere utstrålingsprinsippet nytter vi en halvbølgeantenne. *En halvbølgeantenne er en antenne med lengde lik halve bølgelengden av den radiobølgen den arbeider med.* Bølgelengden er:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{1.1}$$

c: Bølgeutbredelseshastighet, $c = 300000$ km/s
f: Frekvensen

Talleksempel 1.1

En sender skal sende på frekvensen $f = 10$ MHz. Hvor lang må antennen være dersom den skal være $\frac{\lambda}{2}$?

Løsning:

$$\lambda = \frac{300000 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^6} = 30 \text{ m}$$

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ m}$$

Fig. 1.13a viser en leder på $\frac{\lambda}{2}$ som skal brukes som antenne. Vi tenker oss at antennen får tilført høyfrekvensenergi fra en sender. Rundt antennen blir det et elektrisk felt og et magnetisk felt. Når vi bruker en halvbølgeantenne, kan vi forutsi sammenhengen mellom ladning og strøm på grunn av at strømmen nemlig ligger 90° foran spenningen i fase. Det betyr at det magnetiske feltet ligger 90° foran det elektriske feltet i tid. Dersom det ikke er noe elektrisk felt, flyter strømmen uforstyrret i antennen, og det magnetiske feltet er maksimalt.

Strømmen i antennen illustrerer vi ved at positive og negative ladninger beveger seg fram og tilbake. På *fig. 1.13a* er både de positive og de negative ladningene midt på antennen. Ladningene nøytraliserer da hverandre, og det elektriske feltet er 0. Imidlertid er bevegelsen av ladningene maksimal på dette tidspunktet, og magnetfeltet rundt antennen er derfor maksimalt.

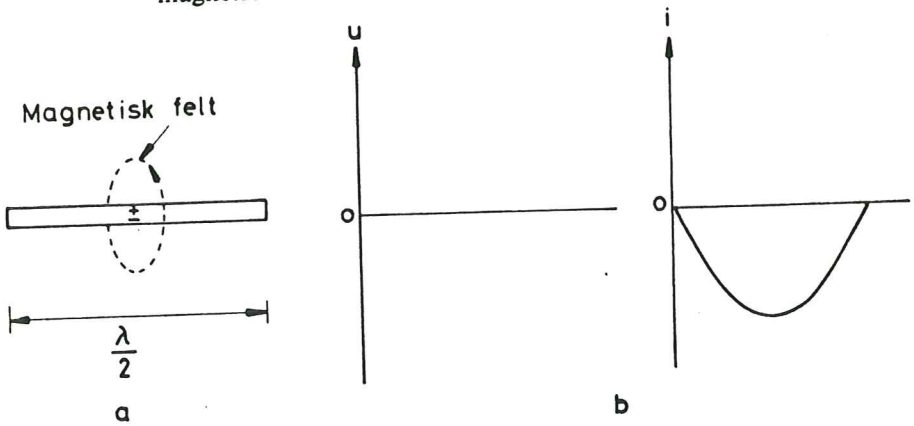

Fig. 1.13. a. Det magnetiske feltet når antennevekselstrømmen er maksimum.
b. Spennings- og strømfordeling i antennen.

Vi tenker oss at de positive ladningene beveger seg mot venstre, mens de negative ladningene beveger seg mot høyre. Retningen på magnetfeltet finner vi ved å bruke venstrehåndsregelen. Tommelen skal peke i den retning som de negative ladningene beveger seg i. Retningen av magnetfeltet blir da lik retningen fra håndroten mot fingertuppene. Se pilretningen på *fig. 1.13a.*

Fig. 1.13b viser spennings- og strømdiagram for antennen når ladningene er midt på antennen.

Når ladningene har beveget seg litt fra hverandre, blir det et elektrisk felt mellom de positive og de negative ladningene slik *fig. 1.14a* viser. For å forenkle bildet noe er det elektriske feltet bare vist på den ene siden av antennen. Spennings- og strømdiagrammene er nå som *fig. 1.14b* viser.

På *fig. 1.15* er forholdene vist når strømmen er 0 og spenningen maksimum. Det elektriske feltet har da sin høyeste verdi.

Strømmen skifter nå retning, og det blir et nytt magnetisk felt med motsatt retning rundt antennen. Endene på de elektriske feltlinjene nærmer seg hverandre etter hvert som de atskilte ladningene

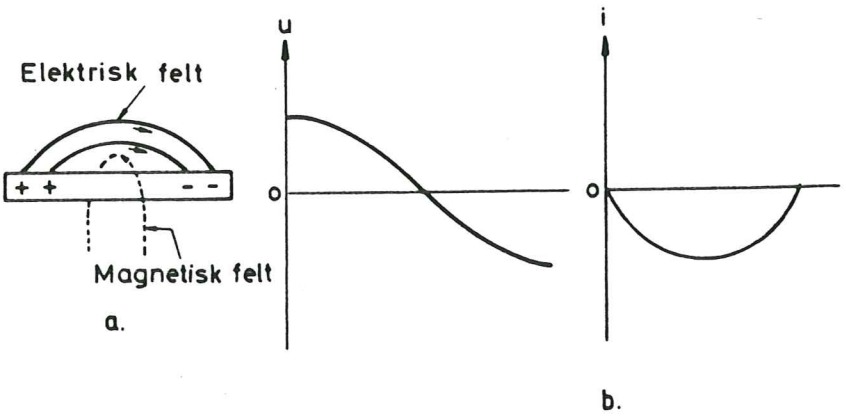

Fig. 1.14. a. Det elektriske og det magnetiske feltet etter 45° av omløpet.
b. Spennings-og strømfordeling i antennen.

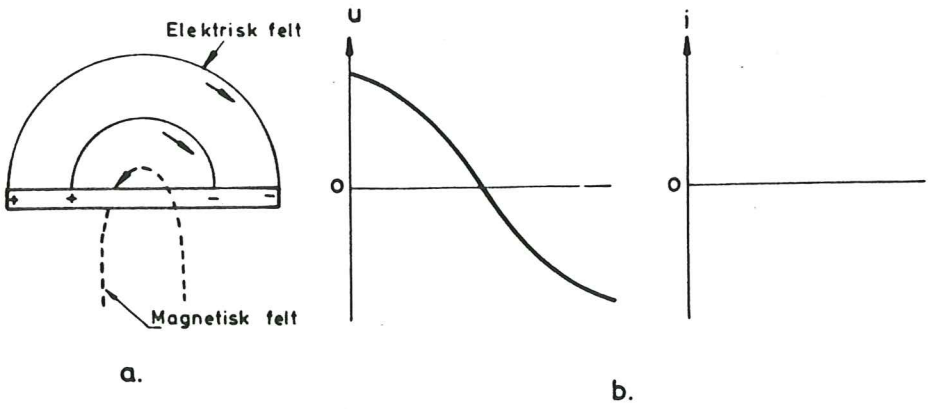

Fig. 1.15. a. Det elektriske og det magnetiske feltet etter 90° av omløpet.
b. Spennings- og strømfordeling i antennen.

nærmer seg hverandre. Se *fig. 1.16.* Når de ulike ladningene igjen møtes, slik *fig. 1.17a* viser, vil de tilsynelatende oppheve hverandre, og de tilhørende elektriske feltlinjene trekker seg sammen og forsvinner ut i rommet. Potensialforskjellen mellom antenneendene er nå 0, men strømmen har sin høyeste verdi, og dermed er også magnetfeltet maksimum. Potensialforskjellen mellom antenneendene øker igjen og det bygger seg opp et nytt elektrisk felt med feltlinjeretning motsatt av den vi hadde før. Se *fig. 1.17b.*

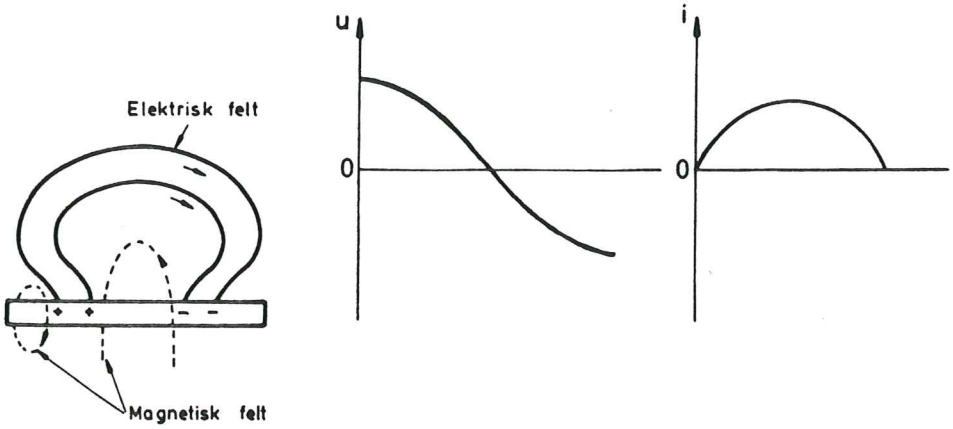

Fig. 1.16. a. Det elektriske og det magnetiske feltet etter 135° av omløpet.
b. Spennings- og strømfordeling i antennen.

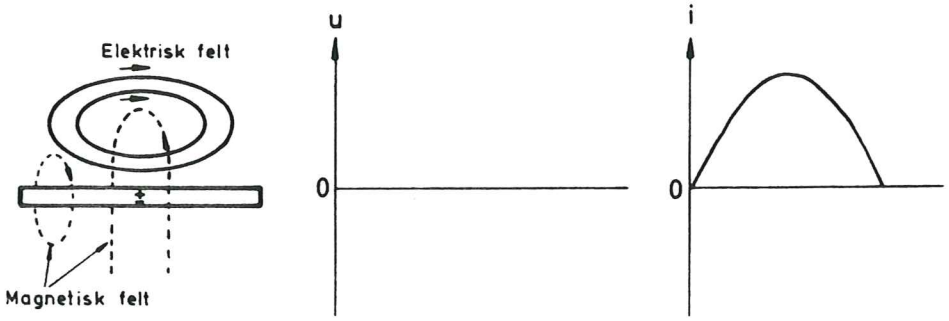

Fig. 1.17a. Elektromagnetisk felt og spennings- og strømfordeling i antennen etter 180 ° av omløpet.

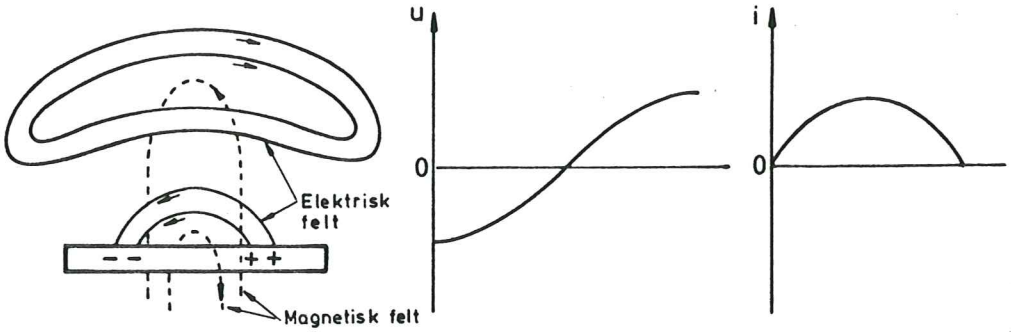

Fig. 1.17b. Elektromagnetisk felt og spennings- og strømfordeling i antennen etter 225 ° av omløpet.

Styrken av det elektriske feltet får sin høyeste verdi når strømmen igjen er blitt 0. Ladningene beveger seg deretter mot midten av antennen og det elektriske feltet trekker seg sammen og forsvinner ut i rommet.

Fig. 1.17c, d og *e* viser hvordan ladningene vil bevege seg langs antennen og hvordan spenning og strøm varierer i antennen. Vi ser også hvordan det elektromagnetiske feltet utbrer seg under denne prosessen.

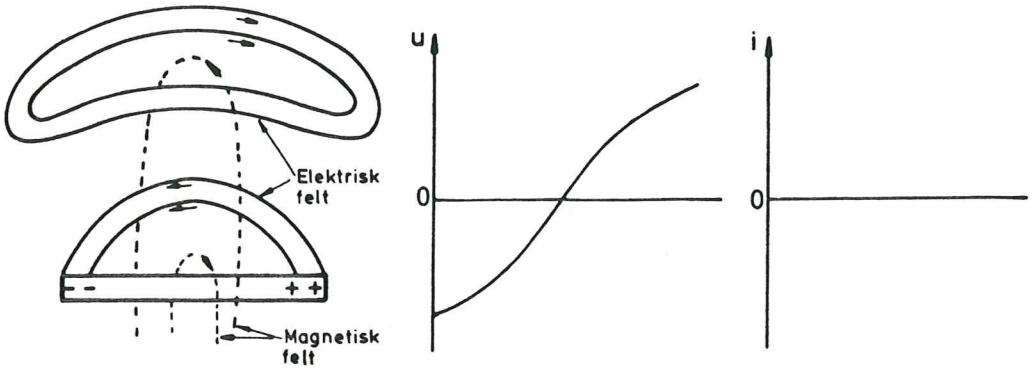

Fig. 1.17c. Elektromagnetisk felt og spennings- og strømfordeling i antennen etter 270 ° av omløpet.

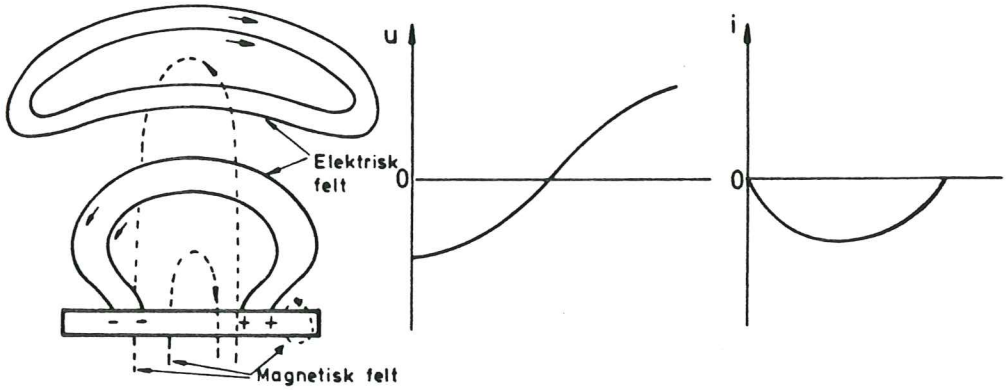

Fig. 1.17d. Elektromagnetisk felt og spennings- og strømfordeling i antennen etter 315 ° av omløpet.

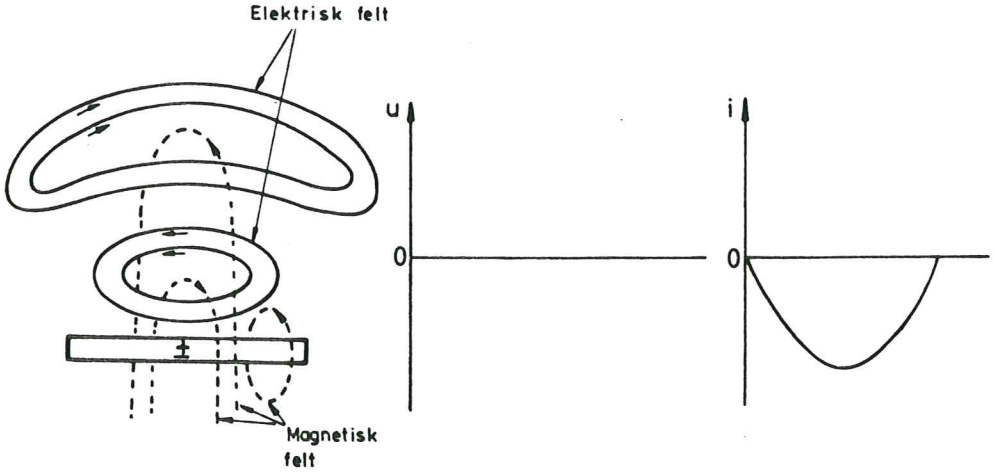

Fig. 1.17e. Elektromagnetisk felt og spennings- og strømfordeling i antennen etter 360 ° av omløpet.

Når ladningene igjen har nådd midten på antennen, har vi den tilstanden vi hadde til å begynne med. Den samme prosessen vil nå gjenta seg.

Fig. 1.18 viser hvordan strålingsfeltet beveger seg bort fra antennen. Vi ser at de magnetiske og de elektriske feltlinjene står 90° på hverandre i forhold til bevegelsesretningen. Magnetfeltet er merket med pilspisser der det kommer opp fra papirplanet og med pilfjærer (kryss) der det går inn mot papirplanet.

Fig. 1.19 viser at faseforskyvningen mellom det elektriske feltet og det magnetiske feltet er 90° både i tid og rom. Dette gjelder imidlertid bare i det vi kaller nærfeltet (det kvasistasjonære feltet).

Dersom vi undersøker det elektromagnetiske feltet noen få bølgelengder fra antennen, finner vi at det elektriske feltet og det magnetiske feltet er i fase i tid. Det vil si at de to feltene har minimum og maksimum samtidig, men de er fremdeles 90° faseforskjøvet i rommet. Se *fig. 1.20.*

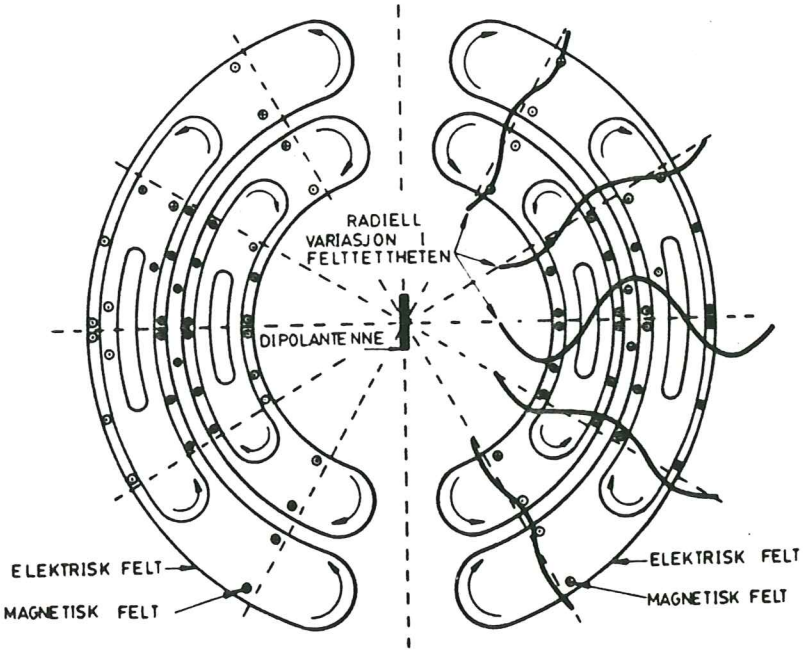

Fig. 1.18. Hvordan strålingsfeltet beveger seg bort fra antennen.

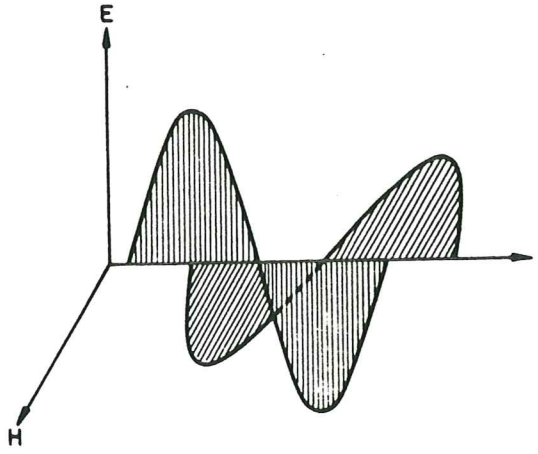

Fig. 1.19. Faseforholdet i nærfeltet.

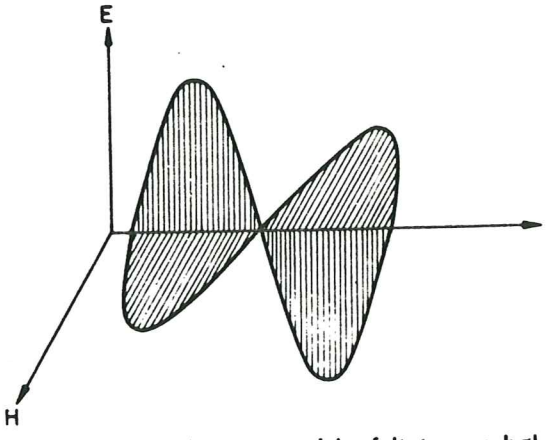

Fig. 1.20. Faseforholdet i det elektromagnetiske feltet noen bølgelengder fra antennen.

1.6 Polarisasjon

Polarisasjonen av de elektromagnetiske bølgene blir bestemt av retningen på den elektriske feltkomponenten.

Vertikalt polariserte radiobølger

Det elektriske feltet er vertikalt, og senderantennen står vertikalt. Dersom man skal motta maksimal feltstyrke fra senderen, må også mottakerantennen plasseres vertikalt. Se *fig. 1.21.*

Horisontalt polariserte radiobølger

Dette er det vanligste ved kringkasting. Det elektriske feltet er da horisontalt, slik at både sender- og mottakerantenne skal plasseres horisontalt. Se *fig. 1.22.*

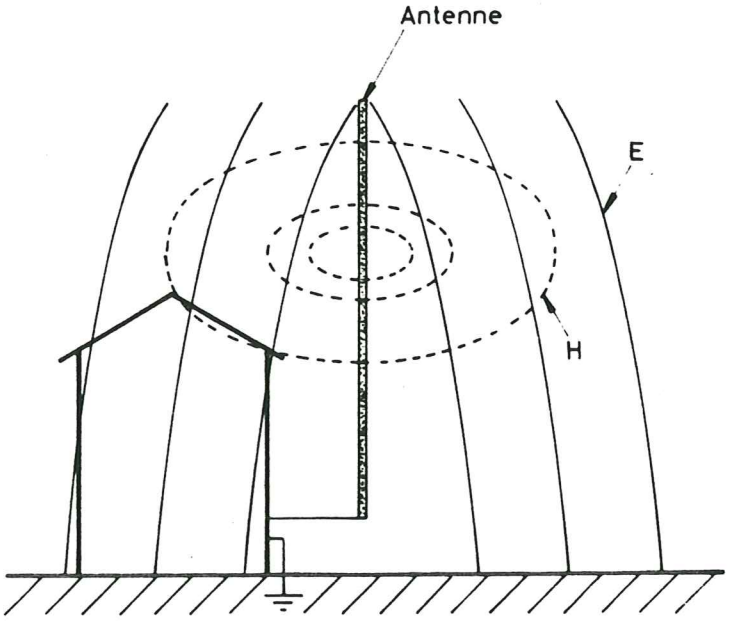

Fig. 1.21. Vertikalt polariserte radiobølger.

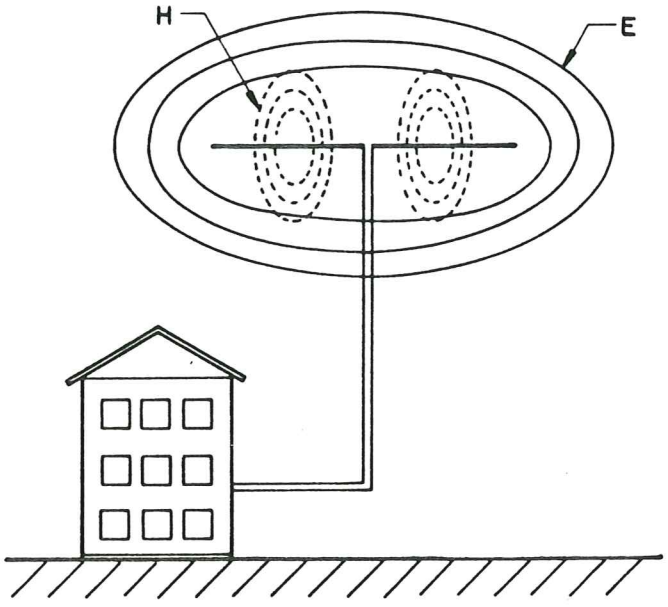

Fig. 1.22. Horisontalt polariserte radiobølger.

Vi skal imidlertid være klar over at det elektromagnetiske feltet dreier seg noe i rommet etter hvert som det fjerner seg fra senderen. Vi kan derfor få brukbar mottaking med en vertikal bilantenne selv om det elektriske feltet som har gått ut fra senderen, er horisontalt.

1.7 Feltstyrke

Feltstyrken av en utstrålt bølge er et mål for intensiteten i det elektriske feltet. Feltstyrken blir vanligvis målt i volt, millivolt eller mikrovolt pr. meter. I en rett leder som er 1 m lang, og som blir plassert i samme plan som det elektriske feltet og 90° på utbredelsesretningen, blir det indusert en spenning som er proporsjonal med feltstyrken. Feltstyrken avtar proporsjonalt med avstanden fra senderen. Dersom vi f.eks. tar imot et signal med feltstyrke på 10 mV/m i en avstand på 50 km fra senderen, er feltstyrken redusert til 5 mV/m i en avstand på 100 km fra senderen. Feltstyrken blir altså halvert når avstanden blir fordoblet.