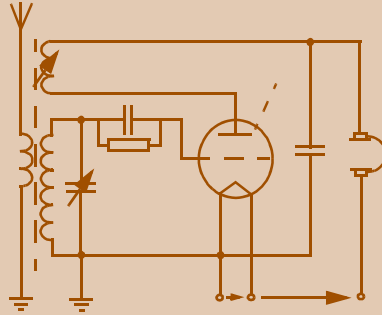




Vitensenteret
Trondheim



Slik virker radioen

En populær fremstilling
av
radioens historie og virkemåte

Nils Kr. Rossing



Midt Nordisk Vitensenteret 2001

Slik virker radioen -

En populær framstilling av radioens historie og virkemåte.

ISBN 82-92088-07-5

Henvendelser om dette hefte kan rettes til:

*Vitensenteret
Postboks 117
7400 Trondheim*

Omslag: *Nils Kr. Rossing*

Trykk: *NTNU-trykk*

2. utgave 03.10.01
2. opplag

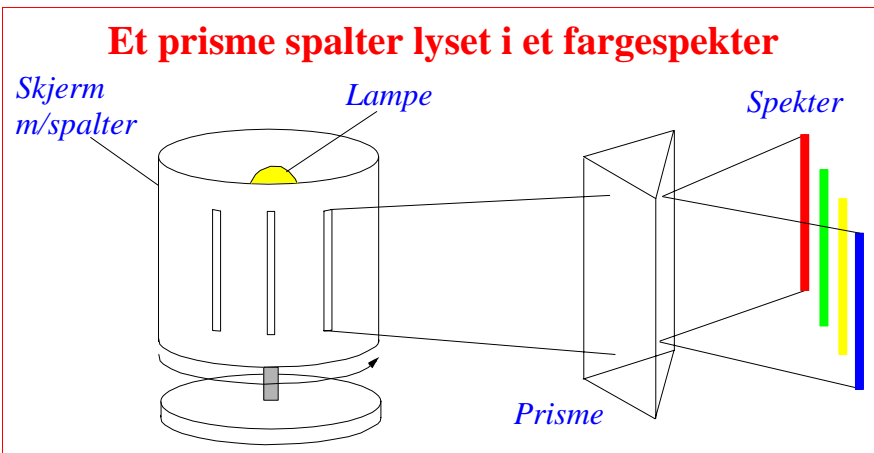


1 Litt historikk

1.1 Bølger eller partikler¹

Mennesket har fra de tidligste tider undret seg over lysets beskaffenhet. Det var tidlig kjent at lyset lot seg avbøye når det gikk gjennom glass, og lærde arabere som f.eks. **Alhazen** (ca 950 - 1038) visste nok til å lage de første brillene. Rundt 1670 framsatte datidens store vitenskapsmenn, **Isaac Newton** (1642 - 1727) og **Christian Huygens** (1629 - 1695) omtrent samtidig hver sin overbevisende teori:

Newton hevdet at lyset besto av *små partikler, korpuskler*, som beveget seg usedvanlig fort. Dette mente han forklarte hvorfor lyset beveger seg i rette linjer og dermed kaster skarpe skygger. Det forklarer også hvorfor lyset reflekteres fra et speil. Men det viktigste av alt var at det kunne forklare hvorfor lyset kunne bevege seg gjennom det tomme rom.



Huygens mente derimot at lyset var en *bølgebevegelse*, lik små krusninger i vann. Han kunne da lett forklare hvorfor hvitt lys ble spaltet opp til et fargespekter når det gikk gjennom et prisme. Det var fordi hver farge har forskjellig bølgelengde mente Huygen. Jo kortere bølgelengde dess større avbøyning. Han kunne imidlertid ikke forklare hvorfor lyset beveget seg i rette linjer og

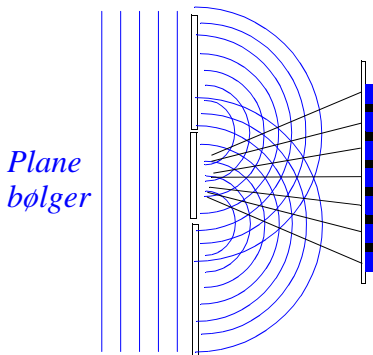
1. Se referanse [2].



laget skarpe skygger. (Lydbølger og havbølger bøyes jo lett av.)

I 1801 utførte den engelske fysikeren **Thomas Young** (1773-1829) sitt kjente *interferensforsøk*. Han sendte lys inn mot en flate med to små spalter i. Når lyset fra disse to spaltene traff en skjerm på baksiden oppsto et interferensmønster som bare kunne forklares når en oppfattet lyset som en bølgebevegelse.

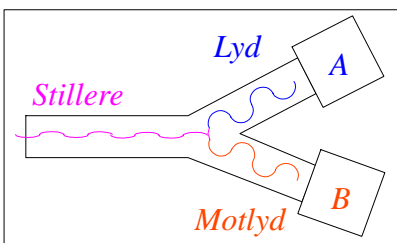
Youngs interferensforsøk



*Plane lysbølger sendes inn mot en vegg med to spalter. På baksiden av vegg oppstår to sirkulære bølgefronter. Når to bølgetopper møtes vil de forsterke hverandre. Når en bølgedal og en bølgetopp møtes vil de utelukke hverandre. På denne måten oppstår det vi kaller et **interferensmønster**.*

Det samme prinsippet kan demonstreres ved hjelp av lyd i utstillingen på Vitensentert i Trondheim.

Eksperiment



*Modell **Motlyd** i utstillingen demonstrerer på en måte hvordan bølgetopper og bølgedaler slukker ut hverandre. Høytaleren i A lager støy (lyd), mens høytaleren i B lageren støy som er akkurat omvendt (**motlyd**). Når lyden og motlyden møtes demper de hverandre og det blir **stillere**.*

Et stadig tilbakevendende problem med bølgemodellen var hvordan lys kunne nå oss fra fjerne stjerner gjennom milliarder av lysår med tomt rom. Svaret måtte være at det fantes et spesielt lysbærende stoff, som ble kalte **eter**.



Denne diskusjonen pågikk i mange år, og selv over to hundre år senere har en måtte erkjenne at *lyset både kan oppføre seg som lysbølger og som partikler*, som nå kalles *fotoner*. En sier at lyset har en *dualistisk (todelt) natur*.

1.2 Radiobølger

I 1860 oppdaget den skotske fysikeren **James Clerk Maxwell** (1831 - 79) den viktige sammenhengen mellom lys, elektrisitet og magnetisme. Han utviklet en genial teori om elektromagnetiske kraftfelt, og beviste at forandringer i disse feltene skjedde med lysets hastighet. Han hevdet at lys bare var en del av et bredt spekter av elektromagnetiske bølger. Dette ble bekreftet da **Heinrich Hertz** (1857 - 94) i 1888 oppdaget radiobølgene.

1.3 Radioens barndom

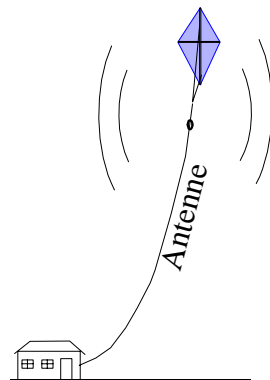
I 1884 klarte italieneren **Guglielmo Marconi** (1874 - 1937), som da bare var 20 år, å sende og motta trådløse morsesignaler¹ over en avstand av ca . 3km.

Marconi's vellykkede forsøk var et resultat av nitidie studier av hva andre forskere og vitenskapsmenn hadde funnet ut. For å kunne sende trådløse signaler løste han en del problemer i laboratoriet sitt, og klarte dermed å konstruere et praktisk kommunikasjonssystem.

Guiglielmo Marconi's forsøk

I 1901 ble signaler Marconi sendte fra Poldhu i Cornwall, mottatt på den andre siden av Atlanterhavet i St. John's på New Foundland.

Antennen var hengt opp i en drage slik at den kom høyt over bakken.



1. Hver bokstav i alfabetet representeres av et sett av korte og lange pulser. F.eks. A: ·-·, B: -···, C: -·-·,osv Dette kalles Morse.



Marconi fortsatte sine eksperimenter i England, og den første forbindelsen over den engelske kanal fant sted i 1899. I 1901 ble signaler som han sendte fra Pol-dhu i Cornwall, mottatt på den andre siden av Atlanterhavet i St. John's på New Foundland.

Nyheten om at signalene var hørt tvers over Atlanterhavet, ble kommentert vidt og bredt blant folk. Avisene skrev mye om det, og "wireless" (trådløs) og Marconi var på alles tunger.

I de første årene ble det stort sett sendt morsesignaler ved å slå radiobølger på og av i takt med morsesignalet. Etterhvert lærte en også hvordan en kunne sende ut signalene på spesielle bølgelengder.

Den canadiske fysikeren **Reginald Fessenden** (1866 - 1932) utviklet en metode som gjorde at talesignalet kunne "henges" på radiobølgene, slik at radiobølgene også kunne overføre lyder. Nå kunne stemmer og musikk sendes, ikke bare morsesignaler, og tusenvis av mennesker ble etterhvert istand til å høre på radiosendinger. Fessenden regnes også som oppfinneren av "heterodynmottakeren" som vil bli omtalt senere i dette heftet.

1.4 Radioamatørene¹

Tidlig i dette århundret var det mange i Europa som på ren hobbybasis drev med elektriske og tekniske eksperimenter, og i USA var interessen enda større. De konstruerte sine egne telegrafsystemer og eksperimenterte med våte battericeller og mye mer. Den trådløse telegrafen var noe nytt og spennende for disse menneskene, og det oppsto en lang rekke populærvitenskapelige tidsskifter som skrev om radio. Disse første "radioamatørene", som de vel må kalles, var for det meste opptatt av det tekniske og eksperimentelle ved radioen. På det tekniske området skjedde det mye etter at Marconi hadde fått til de første radiosendingene.

2 De elektroniske byggeklossene

Vi skal nå se på noen av de elektroniske komponentene som en radiomottaker før og nå er bygget opp av.

1. Se referanse [1].

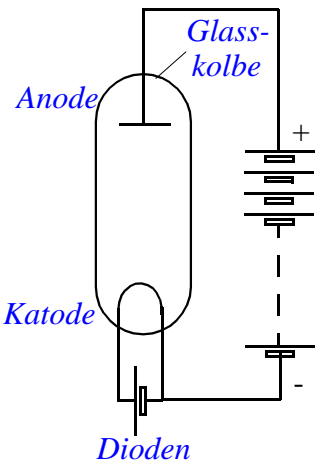


2.1 Radiorøret

Radiosignalene var i begynnelsen så svake, at det kun var de sterkeste signalene som kunne mottas. Skulle en være istand til å motta de svakeste signalene måtte de først forsterkes. En så seg derfor tidlig om etter måter å forsterke radiosignalene på.

Svaret fantes i et fenomen som ble oppdaget i 1883 av den amerikanske oppfinneren **Thomas Alva Edison** (1847 - 1931) da han forsøkte å lage en lyspære. I et av eksperimentene forseglet han en metalltråd sammen med glødetråden, og oppdaget til sine store forbauselse at det gikk en svak strøm fra glødetråden til metalltråden.

Diode-røret



Diode-røret består av en glasskolbe som er gjort lufttom. I den ene enden sitter en gjødetråd, katoden. Når det går strøm gjennom den sender den ut elektroner som danner en sky rundt katoden. I den andre enden av kolben, radiatorøret, finnes en plateelektrode, anoden. Dersom denne gjøres positiv vil den tiltrekke seg de frie elektronene rundt katoden, og det vil gå en strøm i dioden. Elektronstrømmen må gå fra katoden til anoden og kan ikke gå den andre veien. Dersom vi legger en vekselspanning mellom anode og katode vil det bare gå strøm når anoden er positiv. Vi sier at dioden likeretter strømmen.

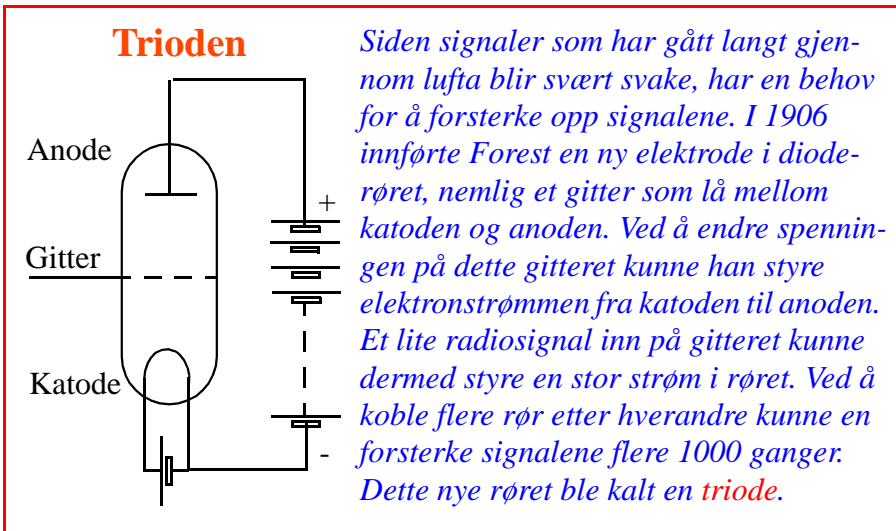
Engelskmannen **J. A. Fleming** (1849 -1945) introduserte toelektroderøret eller *dioden* i 1904. Det var et glassrør med to elektroder¹, en oppvarmet glødetråd (katode) og en metallplate (anode). Innretningen tillot bare at strømmen

1. En elektrode i denne sammenheng kan være en *glødende tråd* (katoden), en *plate* (anoden) eller et *gitter* inne i den lufttomme glasskolben.



gikk den ene veien, og den virket derfor som en *likeretter*, det vil si den gjorde vekselstrøm¹ om til likestrøm. Som vi senere skal se så er dioden en viktig komponent for å likerette radiosignaler.

I 1906 oppfant amerikaneren **Lee de Forest** (1873 - 1961) treelektroderøret, *trioden*. Han fant ut at strømme endret seg når han satte en tredje elektrode, *gitteret*, inn mellom de to andre (anoden og katoden). Han oppdaget også at han kunne styre strømmen mellom anoden og katoden ved å sette en svak spenning på gitteret. På denne måten laget han det første riktige forsterkerøret.



Lee de Forest's triode ble byggesteinen ikke bare i radioer, men i alle typer elektronikk. Fjernsynet ville ikke ha eksistert uten trioden. Også de første datamaskiner benyttet radorør. En enkelt datamaskin kunne i slutten av 40-årene inneholde opp til 20.000 rør og den var stor nok til å fylle et helt rom. I tillegg til at røret var stort og tok mye plass, var det også svært strømkrevende og utviklet mye varme. Det var også så som så med holdbarheten og flere teknikere måtte stadig skifte ødelagte rør i de største datamaskinene. På 1940-tallet startet imidlertid arbeidet med en mindre og mer pålitelig komponent nemlig **transistoren**.

1. Likestrømmen går hele tiden samme veien, mens vekselstrømmen går fram og tilbake. Hastigheten på vekslingen måles i Hertz etter fysikeren.



2.2 Halvledermaterialer

I 1948 laget tre forskere i laboratoriet til Bell - **William Shockley** (1910 - 89), **Walter Brattain** (1902 - 87) og **John Bardeen** (1908 - 91) - den første transistorlignende komponenten. Den besto av halvledende¹ materialer, og virket som en triode.

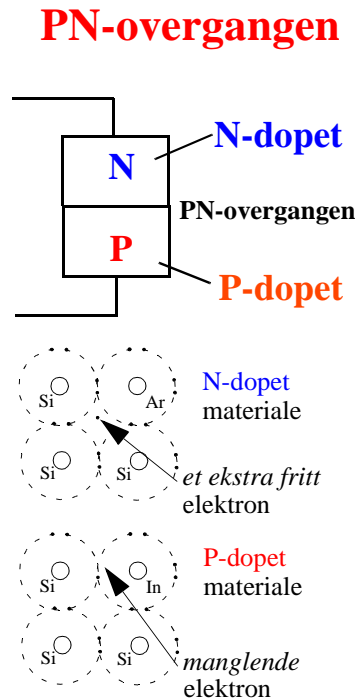
Før vi studerer virkemåten til transistoren la oss se på det som kalles en PN-overgang². Som vi skal se virker PN-overgangen som en *diode*. Siden denne dioden er laget av halvledermateriale kalles den også ofte for en halvlederdiode.

PN-overgangen er satt sammen av to tynne sjikt av et krystallinsk materiale som hovedsakelig består av silisium.

*Silisiumkrystallene er forurenset med noen atomer av et annet grunnstoff. Å blande inn forurensene stoffer kalles å **dope** krystallet.*

N-dopet materiale er forurenset av Arsen som har et ekstra elektron i ytterste skall. Dette elektronet finner ikke noen plass i gitteret og blir fritt.

P-dopet material er forurenset av Indium som har et elektron mindre enn silisium, det oppstår derfor et "elektronhull" i gitteret.



1. Vi kaller materialene halvledere fordi de ikke er ledere som metallene kobber eller aluminium, men heller ikke isolerende som plast eller glass. Se forøvrig faktaruta om PN-overgangen.
2. Faktaruta om PN-overgangen forklarer hva dette er.



Halvlederdioden

Halvlederdioden består altså av to tynne skiver (sjikt) av grunnstoffet silisium, som er et av de stoffene det finnes mest av på jorda. Dette rendyrkes, eller “groes” som store krystaller. Etter at det er rensset på alle mulige måter forurenses det på en kontrollert måte. Se faktaruta om *PN-overgangen*.

Halvlederdioden er satt sammen av et **N**-dopet og et **P**-dopet sjikt. **N**-sjiktet har frie elektroner som svever rundt i materialet, mens **P**-sjiktet har ledige elektronplasser i krystallgitteret. Disse kalles *hull*. Når de to materialene settes inntil hverandre blir elektronene nærmest **P**-sjiktet dratt over til den andre siden og fyller hullene. På denne måten blir **N**-siden litt positiv og **P**-siden litt negativ i et smalt område nær overgangen mellom de to sjiktene (*PN-overgangen*).

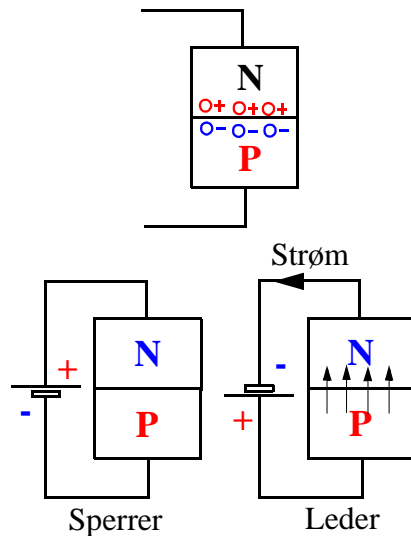
Når **plussen** på batteriet kobles til **N**-sjiktet, økes bredden av sjiktet, og dioden sperrer.

Når **plussen** på batteriet kobles til **P**-sjiktet, reduseres bredden på sjiktet. Når spenningen blir større enn ca 0.5V begynner det å gå strøm gjennom dioden.

Økes batterispenningen enda mer, øker strømmen kraftig, og dioden leder.

Som vi ser, så leder dioden strøm bare den ene veien. Akkurat som dioderøret som vi omtalte tidligere

Halvlederdioden



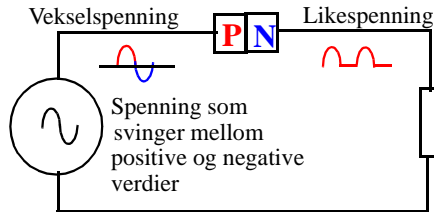
Ladningene rundt PN-overgangen vil danne et isolerende sjikt. Når vi setter en elektrisk spenning *over* dioden, vil det - avhengig av hvilken vei spenningen settes - forsterke det isolerende ladningssjiktet, eller bryte det ned. Når sjiktet er brutt ned, vil det begynne å gå strøm i dioden..

På denne måten kan en diode brukes som *likeretter*. Dvs. at en *vekselspenning*



Likeretting

Dersom en diode settes inn i en strømkrets med **vekselspenning**, som vist på tegningen, vil det bare gå strøm når spenningen er positiv på **P**-skiktet.



kan gjøres om til en likespenning

Transistoren

Dioden kan likerette vekselspanning, men kan normalt ikke forsterke et signal. Siden mottatte radiosignaler kan være svært svake, er det viktig at de forsterkes opp. *Transistoren* har bl.a. denne egenskapen at den kan forsterke en liten strøm til en større strøm.

Transistoren viste seg snart radorøret totalt overlegent på nesten alle områder. Dette skyldes at den var langt mer pålitelig. Dessuten trakk den mye mindre strøm og ble derfor ikke så varm som radorøret.

I dag erstatter transistorer rør på omtrent alle områder. Det er kun der hvor det er snakk om *store effekter* på *ekstremt høye frekvenser* at rør fremdeles brukes. Det er også noen som sverger til at de gamle rørforsterkerne i HiFi-anlegg var bedre enn dagens forsterkere med transistorer. Det bygges derfor noen få rørforsterkere for en utvalgt gruppe HiFi-entusiaster.

Transistoren er også blitt kjerneelementet innen all datateknologi. Her brukes transistoren som *bryter*. Ved hjelp av slike *transistorbrytere* bygges i dag kretser for lagring av data, addisjon, subtraksjon, multiplikasjon og divisjon av tall osv. Likeledes har datakommunikasjon og internett vært umulig uten transistoren. Transistoren brukes dermed innen all elektronikk og kan på mange måter kalles elektronikkens "*hjul*".

2.3 Passive komponenter

Vi har nå sett på to av grunnelementene i all elektronikk, *transistoren* og *dioden*. I tillegg brukes noen få tilleggs-elementer, nemlig motstanden, kondensatoren og



Transistoren

Transistoren virker på en helt annen måte en radorøret. Den har ikke vakum, men ligner på halvlederdioden. Den består imidlertid av tre sjikt lagt ved siden av hverandre. To N-sjikt med et tynt P-sjikt i midten.

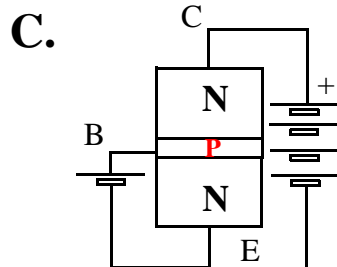
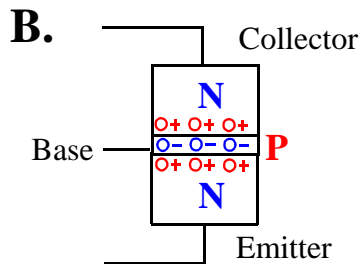
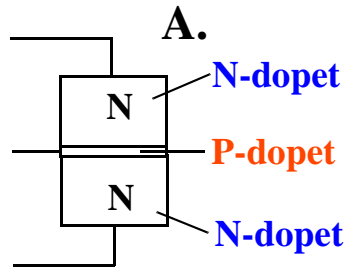
Også her vil de frie elektronene i N-sjiktet bli tiltrukket av hullene i P-sjiktet og danne områder med positiv og negativ ladning som vist på figur B.

Disse sjiktene sperrer for strøm mellom elektrodene, som kalles **collector** og **emitter**.

Dersom vi nå leder en liten strøm inn på det tynne sjiktet i midten, **basen**, kan vi overvinne de isolerende ladningssjiktene og åpne for en strøm mellom **collector** og **emitter**.

Ved hjelp av en liten strøm inn i basen kan vi da styre en stor strøm gjennom collector og emitter.

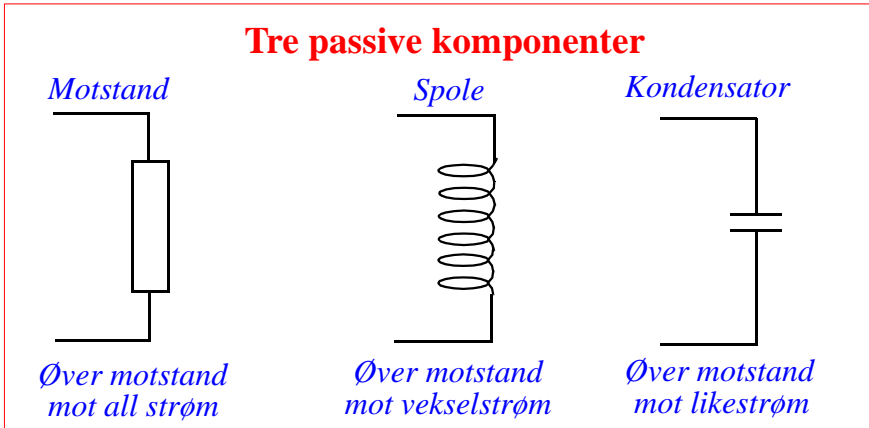
Vi har fått en "triode" laget av krystallinsk material. Denne kalles en transistor.



spolen. Disse byggestenene kalles passive, siden de ikke er i stand til å for-



sterke¹ signaler.



Motstanden er gjerne kullpulver som er pakket hardt sammen. Strøm som går gjennom en motstand vil møte motstand. Er strømmen stor nok blir motstanden varm. Størrelsen på motstanden måles i Ohm (Ω).

Spolen er en ledning som er viklet opp på en rørformet holder. En spole vil yte motstand mot vekselstrøm. Dessto raskere strømmen veksler, dessto større motstand vil spolen yte. Motstanden øker også når antall viklinger øker. Størrelsen på en spole måles i Henry (H).

Kondensatoren er to plater som ligger tett inntil hverandre uten å være i berøring. En kondensator vil sperre for likestrøm, men slippe gjennom vekselstrøm. Dessto raskere strømmen veksler, dessto mindre motstand vil kondensatoren yte, og dessto større platene er, dessto mindre motstand øver kondensatoren mot vekselstrømmen. Størrelsen på kondensatoren måles i Farad (F).

I tillegg trengs noen *omvandlerere*:

Mottakerantennen omvandler elektromagnetiske radiobølger til elektriske strømmer i en tråd. Antennetråden er koblet til forsterkeren på *inngangen* av radioen.

Senderantennen omvandler elektriske strømmer i en tråd til elektromagnetiske

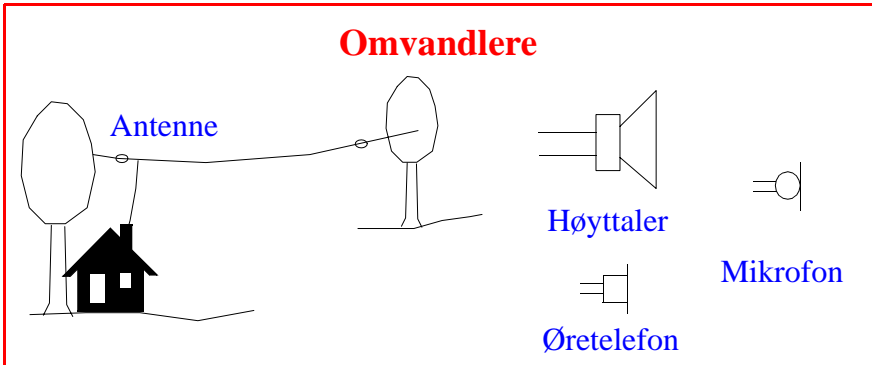
1. I denne forbindelse i betydningen effektforsterkning



radiobølger. Antennetråden er koblet til forsterkeren på *utgangen* av senderen. Det er viktig at lengden av antennen er avstemt til senderfrekvensen. Antennelengden er gjerne en kvart eller en halv bølgelengde.

Høytaleren er også en omvandler som gjør variasjoner i en elektrisk strøm om til lydbølger som øret kan høre.

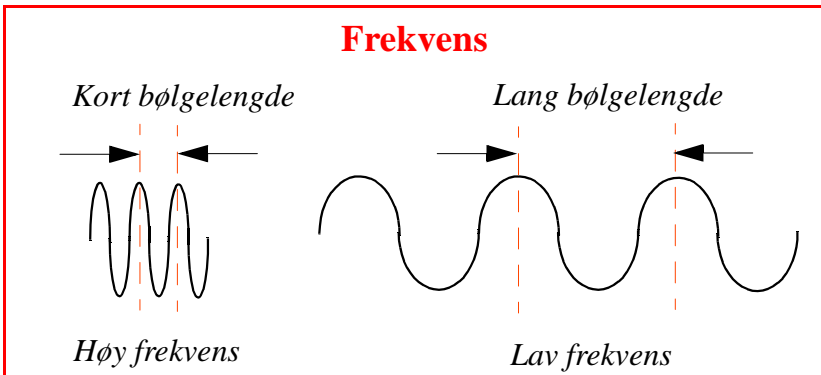
Mikrofonen er det omvendte av en høytaler og omvandler lydbølger til elektriske strømmer som varierer i takt med talesignalet.



Før vi ser på radioens virkemåte skal vi kort omtale begrepet *frekvens*.

Frekvens

Dersom vi tenker oss *radiosignaler* som bølger som brer seg utover, uttrykker *frekvens* hvor fort disse bølgebevegelsene går “opp” og “ned”. Frekvens måles derfor i *antall svingninger pr. sekund* og har fått betegnelsen *Hertz (H)*.





Siden radiobølger utbreder seg med en konstant hastighet lik lyshastigheten (ca. 300.000 km pr. sek), kan vi snakke om en *bølgelengde* i meter som er avstanden mellom to etterfølgende bølgetopper.

Mellombølgessendere sender på bølgelengder på noen hundre meter, mens FM-båndet har en bølgelengde på ca 3 meter, så den er mye kortere.

Siden Hertz er en svært liten måleenhet i denne sammenhengen, henger vi ofte på betegnelsene k(ilo), M(ega) og G(iga). Her betyr kilo at tallet skal ganges med tusen, Mega med en million og Giga med en milliard.

Mellombølge har frekvenser under 1MHz (Mega Hertz), TV- fra ca 50 - 860MHz, mobiltelefonen¹ ca 900MHz, mens satellitt-TV ca 10GHz. Som vi ser så brukes store deler av frekvensområdet.

For at ikke alle radiostasjoner skal forstyrre hverandre har de fått tildelt hver sin frekvens. I radioens barndom brukte de stort sett frekvenser under 1MHz, senere har en tatt i bruk frekvenser langt opp i GHz området.

3 Radio

3.1 Bruksområder

Radio brukes i mange sammenhenger.

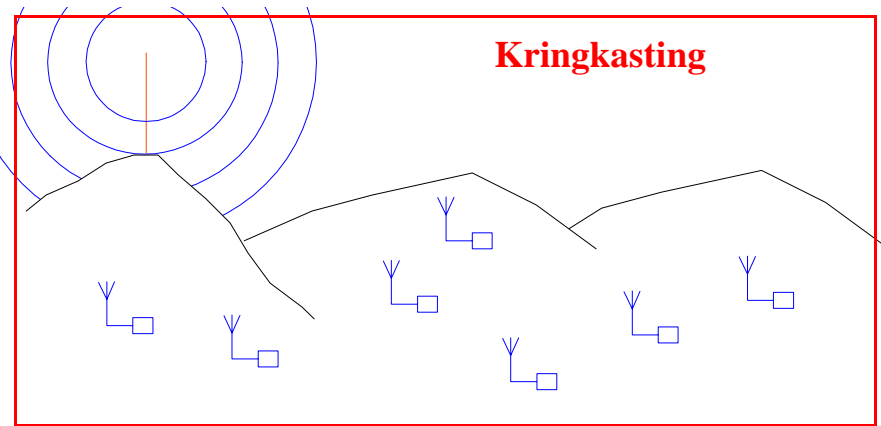
Kringkasting

Et bruksområde kan være å sende informasjon fra en til mange. Dette kalles *kringkasting*. Eksempler er vanlig kringkastingsradio og TV.

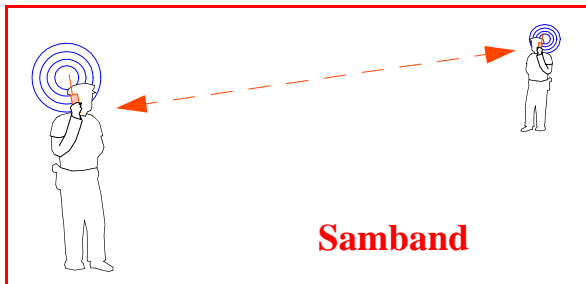
Samband

Et annet bruksområde kan være å sende informasjon mellom to brukere. Dette kan vi kalle *åpent samband*, dersom alle kan lytte på det som sies (f.eks. Walkie Talkie), eller *lukket samband* dersom brukeren har fått tildelt spesielle frekvenser eller kanaler (VHF-samband). Lukket samband kan brukes til nødsamband,

1. Mobiltelefonen - GSM900 sender i området 890 - 915MHz og mottar i frekvensområdet 935 - 960MHz. Avstanden mellom sender og mottakerfrekvens er alltid 45MHz. Kanalbåndbredden er 200kHz og hver kanal kan inneholde inntil 8 brukere. GSM-båndet er delt inn i totalt 125 kanaler.



politi, røde kors og hjelpeorganisasjoner osv. (se illustrasjonen på neste side).

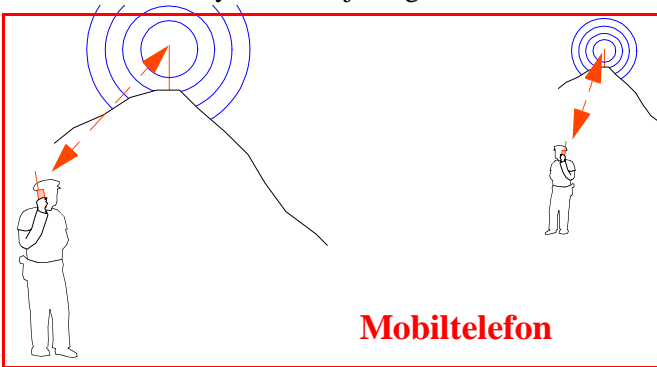


Mobiltelefon

Det kan også være en telefontjeneste slik vi kjenner den fra *mobiltelefonen*. Her sendes signalene fra den ene brukeren til en *basestasjon* og videre til en telefon-



sentral og så videre ut til en nye basestasjon og ut til den andre brukeren.



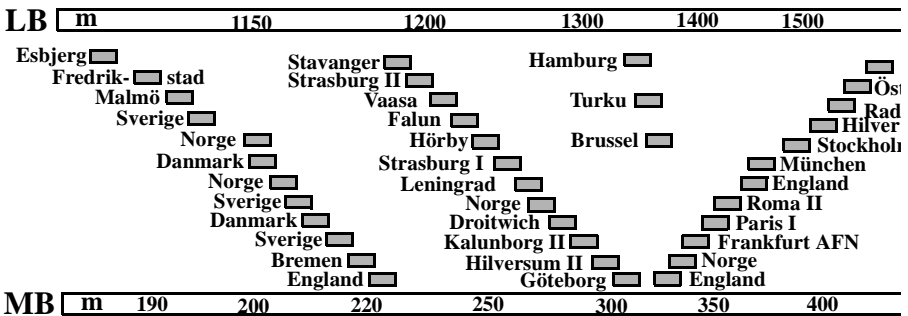
I kringkasting sendes bare en vei og brukeren trenger bare en mottaker. For samband og mobiltelefon må brukerne både ha sender og mottaker.

3.2 Frekvensdelt eller tidsdelt

Frekvensdelt

Det er ikke vanskelig å skjønne at det ville blitt temmelig kaotisk dersom alle radiostasjoner rundt om i verden skulle sende på samme frekvens. Derfor har en blitt enig om at hver enkelt kringkaster får lov til å sende på sin spesielle frekvens.

Når hver stasjon får sin spesielle frekvens kalles dette for *frekvensdeling*. Dette er den tradisjonelle måten å gjøre det på.



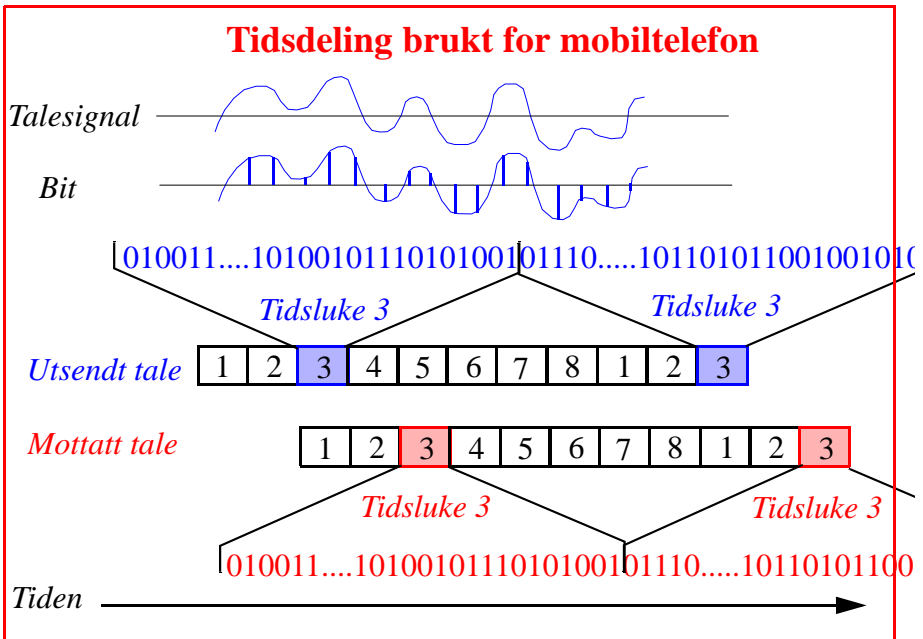
Figuren over viser et utsnitt av en typisk *skala* på en kringkastingsradio. Her ser vi hvordan de forskjellige radiostasjonene i Europa har fått tildelt hvert sitt



frekvensbånd på mellombølgen. Som vi ser er det bølgelengden (i meter) som er angitt i stedet for frekvensen. Øverst ser vi også litt av langbølgen (LB).

Tidsdelt

I stedet for å gi brukerne forskjellige frekvenser, kan en la dem få hver sin *tids-luke*. Dette kalles *tidsdelt* tildeling og benyttes bl.a. i den moderne GSM-mobiltelefonen. Mobiltelefonbåndet på 900MHz er *både* frekvensdelt og tidsdelt. For at dette skal være mulig gjøres talesignalet om til en lang rekke *tall* som angir signalnivået i *punkter* som følger tett etter hverandre. Deretter komprimeres (trykkes sammen) tallsekvensen og sendes over til basestasjonen i et kort tidsrom (ca. 1 millisekund, *tidsluke*). Dernezt lytter mobilapparatet en kort periode (også ca 1 millisekund) før det igjen sender en ny pakke.



Vi ser at hver enkelt bruker har fått tildelt en av 8 tidsluker for sending av sin egen tale, og en tilsvarende luke for å motta hva den andre sier. Selv om sending og mottaking skjer til forskjellig tider, høres det for brukeren ut som om han sender og mottar samtidig.

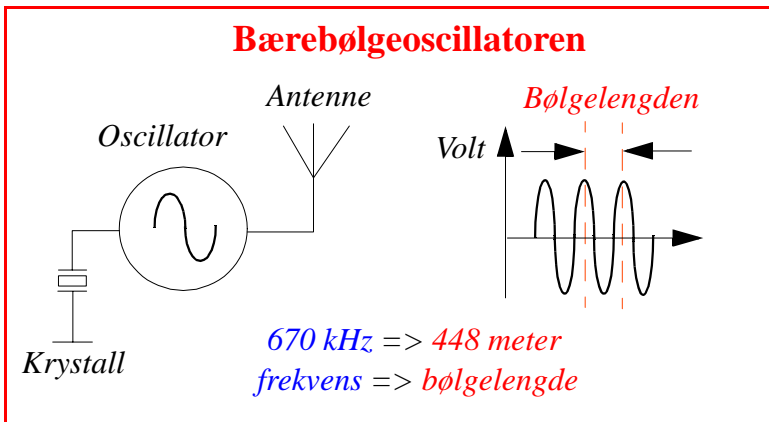


3.3 Oscillatoren

Oscillasjon kommer av latin og betyr en *svingende bevegelse*. En *oscillator* er i denne sammenheng et apparat som frembringer elektriske svingninger, dvs den leverer en spenning som svinger mellom en positiv spenning og en negativ spenning. Antall svingninger pr. sekund måles i som vi har hørt i Hertz.

Vi har funnet ut at den enkelte sender må sende på *hver sin frekvens* eller til *ulike tidspunkt* for at ikke alle sendingene skal bli en eneste mølje. La oss se nærmere på hvordan frekvensdeling gjøres.

Vi tenker oss at vi har fått tildelt frekvensen 670kHz (mellombølge) og skal sende frekvensdelt kringkasting. Vi bruker da en *oscillator* som lager en elektrisk spenning som varierer med en frekvens lik 670kHz.



Denne bølgen kalles *bærebølgen* siden den, som vi senere skal se, skal *bære* den informasjonen (f.eks. tale eller musikk) som vi ønsker å overføre.

For å omdanne den svingende elektriske spenningen til elektromagnetiske radiobølger, kobles oscillatoren til antennen. Dersom antennens lengde er tilpasset bølgelengden¹ vil den omdanne den varierende spenningen til radiobølger med samme frekvens.

1. En *for lang* eller *for kort* antenne vil også sende ut radiobølger på den ønskede frekvensen, men effekten som sendes ut kan bli langt lavere enn om antennelengden er godt tilpasset sendefrekvensen.



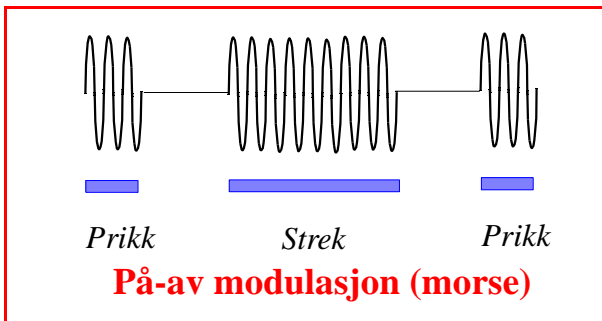
Det er viktig at frekvensen er stabil og nøyaktig. For å få til dette benyttes gjerne *kvartskrystaller* som slipes til tynne skiver. Når disse settes inn i oscillatoren vil den svinge på akkurat den frekvensen krystallet er laget for. Dess tynnere krystallet dess høyere frekvens svinger oscillatoren på.

3.4 Modulasjon og modulatoren

Nå har det lite for seg bare å sende ut en kontinuerlig bølge. Denne vil ikke inneholde noen informasjon. Vi ønsker å overføre tale, musikk, morsetegn, datasignaler osv. Det å *legge et informasjonssignal på en kontinuerlig bølge* kalles å *modulere*¹ bære-bølgen.

På-av modulasjon

Den enkleste formen for modulasjon er å slå bære-bølgen av og på. Denne typen modulasjon ble brukt av de første telegrafisenderne og brukes fortsatt i dag, bl.a. i bilalarmsystemer hvor en kan slå av bilalarmen på avstand.



Denne type modulasjon kalles *på-av modulasjon* (eng. *On-off keying* eller *CW*). Denne modulasjonstypen egner seg godt for morse, men dårlig for tale fordi talesignalet inneholder mange flere nivåer og ikke bare av og på..

Amplitudemodulasjon (AM)

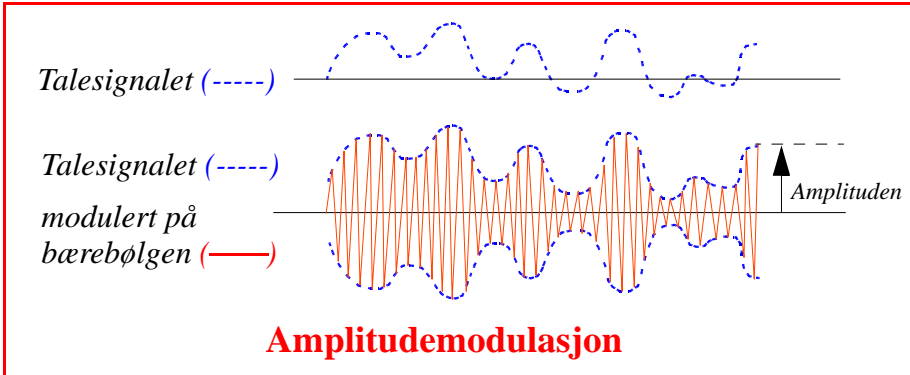
En lærte seg derfor tidlig å benytte *amplitudemodulasjonen (AM)* hvor en lot nivået på bære-bølgen variere i takt med talesignalet.

Ordet *amplitude* kommer fra latin og betyr i denne sammenheng *utslaget fra*

1. Uttrykket å modulere brukes også i musikken. Da betyr det f.eks.: Å *legge uttrykk i en tone*. Her betyr det å legge informasjon opp på bære-bølgen.



midtstillingen og ut til ytterpunktene for den elektriske svingning. Det enkleste er å tenke på en pendel som dras ut til siden. Amplituden angir hvor langt ut til sidene pendelen svinger.



En amplitudemodulert bæreølge er derfor en elektrisk svingning hvor utsvinget til hver side (amplituden) varierer i takt med talesignalet (eller musikken e.l.).

Dette var den dominerende modulasjonstypen for tale og musikk opp til på 50-tallet. Ulempen med denne modulasjonstypen var at den var utsatt for støy, f.eks. støyen fra tenningen i en bil. Støy kommer som “spikere” oppe på amplituden og ødelegger det modulerte signalet.

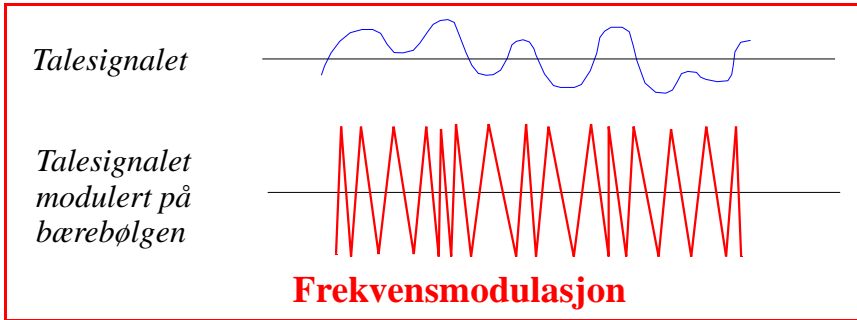
Frekvensmodulasjon (FM)

En kom da på en annen type modulasjon som lar frekvensen på bæreølgen variere i takt med talesignalet, mens en lot nivået (eller amplituden) være fast. På denne måten ble ikke signalet så lett forstyrret av tenningsstøy fra bilen. Denne modulasjonstypen kalles derfor *frekvensmodulasjon (FM)*, og egner seg godt til å motta radiosignaler i biler hvor det ofte er mye elektrisk støy fra bilen.

Figuren på neste side viser (sterkt overdrevet) hvordan høy spenning på talesignalet gir høy bæreølgefrekvens, mens lav spenning på talesignalet gir lavere bæreølgefrekvens.

Siden amplituden på bæreølgen ikke inneholder noe informasjon er denne type modulasjon ikke så følsom for støy.

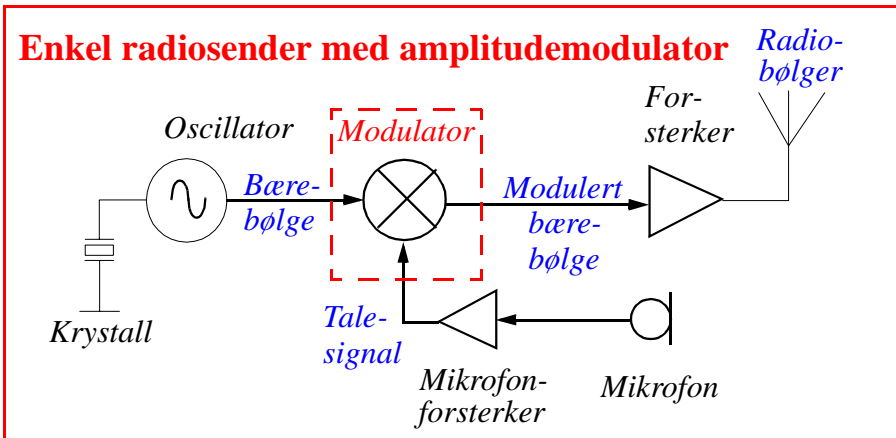
I tillegg til disse modulasjonstypene vi her har nevnt finnes det en mengde andre som spesielt er tilpasset overføring av datasignaler.



3.5 Modulatoren/Demodulatoren

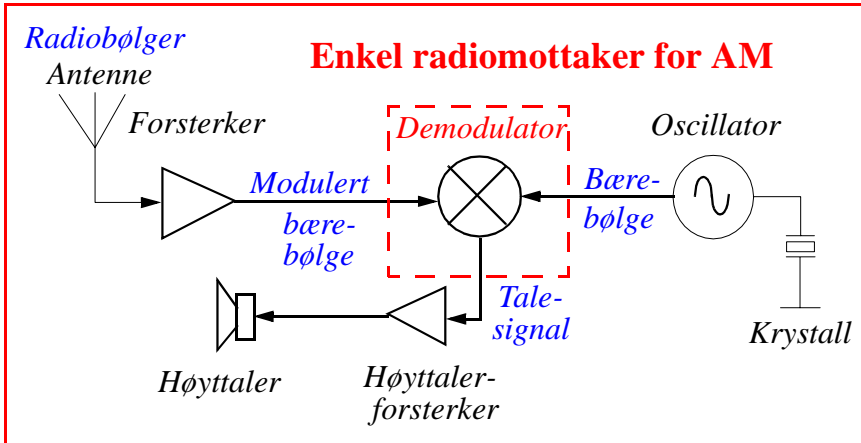
Modulatoren er den elektriske komponenten som legger talesignalet på bærebølgefrequensen i senderen. Mens *demodulatoren* henter talesignalet ut fra den modulerte bærebølgen i mottakeren. La oss se litt nærmere på amplitudemodulatoren.

Amplitudemodulatoren.



Dersom en *multipliserer* bærebølgen med talesignalet vil en få *modulert* bærebølgen med talesignalet. En slik modulator lages ofte av en eller flere halvlederdioder.

På mottakersiden kan en gjøre noe lignende.



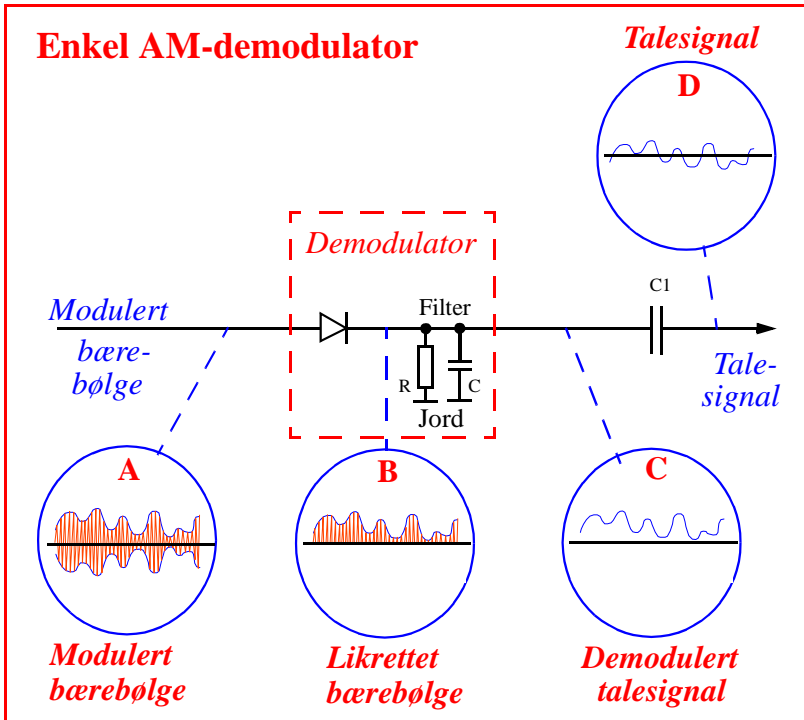
Legg spesielt merke til pilene som viser signalgangen. I mottakeren byttes modulatorene ut med en *demodulator* og mikrofonen med en høyttaler. Videre må forsterkerne snues.

I senderen flytter *modulatorene* talesignalet *opp* til bærefrekvensen. I mottakeren flytter *demodulatorene* signalet *ned* til det frekvensområdet som talen ligger på. En slik mottaker krever imidlertid at oscillatoren i mottakeren svinger *helt likt* med oscillatoren i senderen (demodulatorene kalles *synkron*¹ eller *kohærent*²). Gjør den ikke det kan vi lett få Donald Duck-stemmer.

La oss se på en meget enkel demodulator som ble brukt en del i eldre mottakere og som ikke krever synkroniserte oscillatorer. Vi plukker da ut demodulatorene fra figuren over.

Den modulerte bærebølgen ledes gjennom en diode som tar bort den negative delen av spenningen. Dette kalles å *liketrette* (eller å *detektere*) signalet. Fortsatt er en del av bærebølgen tilstede. Denne fjernes ved hjelp av et lite filter³ (en kondensator og en motstand). Etter filteret kommer det demodulerte talesignalet

-
1. **Synkron** kommer av gresk og betyr *samtidig*, eller *det som har samme svingefrekvens*.
 2. **Kohærent** kommer av latin og betyr sammenhengende, eller *det som har samme bølgelengde*.



ut og ledes gjennom en kondensator for å fjerne likespenningsresten. Deretter kan det forsterkes og omdannes til lyd ved hjelp av en høretelefon eller høyttaler.

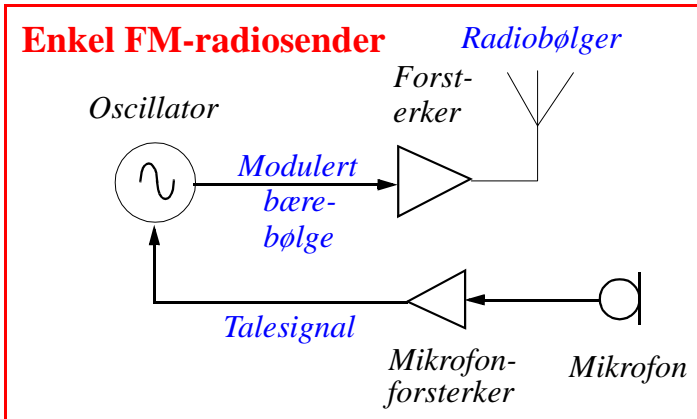
Frekvensmodulatorern

Frekvensmodulatoren er noe mer komplisert enn amplitudemodulatoren. Det vil derfor føre litt for langt å beskrive denne i detalj. En enkel *modulator* kan være en oscillator, hvor oscillatorens frekvens som kan styres av en spenning,

3. Vi husker at kondensatoren slipper gjennom de raske svingningene, men sperrer for de langsomme. Når kondensatoren er koblet til jord vil de raske svingningene (resten av bærebølgen) ledes til jord, mens det langsomme talesignalet bevares og ledes videre til kondensatoren C1. C1 er en svært stor kondensator, den slipper derfor gjennom det lavfrekvente talesignalet, men sperrer for likespenningen.



f.eks. talesignalet.



Av figuren over ser vi at talesignalet fra mikrofonen går til oscillatoren. Det betyr at talesignalet endrer oscillatorfrekvensen i takt med talen, dvs at oscillatorfrekvensen frekvensmoduleres. En FM¹-sender av denne typen er derfor temmelig ustabil. Den var imidlertid særdeles populær for noen år siden som piratsender, og ble også av mange benyttet som barnevakt. Fordelen er bl.a. at den er svært enkel å bygge.

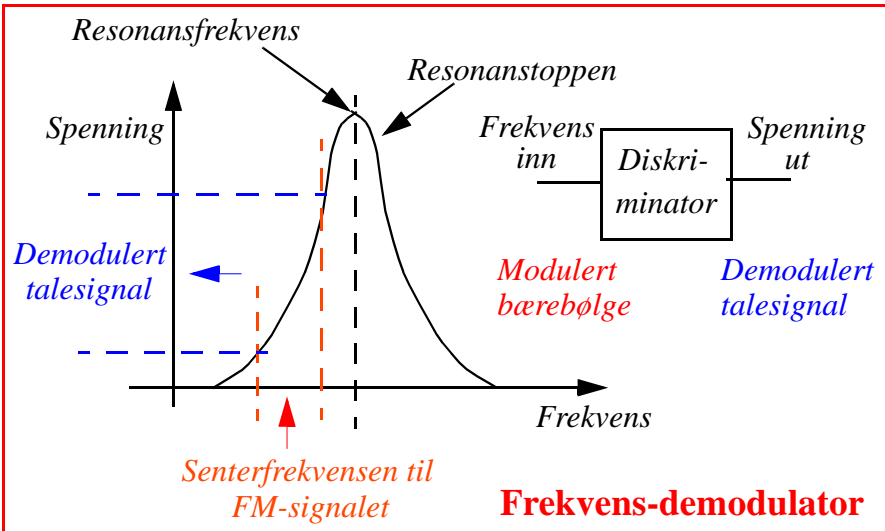
FM-demodulatoren

Mottakerens oppgave er å omdanne det frekvensmodulerte signalet til et talesignal. Til dette benyttes en *frekvens-demodulator* også kalt en *diskriminator*. En populær diskriminator i dagens FM-radioer er en liten *keramisk resonator*. En resonator er en komponent som omdanner en varierende frekvens på inngangen til en varierende spenning på utgangen.

Diskriminatoren kan betraktes som et smalt filter. Senterfrekvensen til diskriminatoren kan vi kalle *resonansfrekvensen*. Dersom vi tilfører diskriminatoren et signal med frekvens lik resonansfrekvensen, får vi maksimal spenning ut. Dessto lengre bort fra resonansfrekvensen vi kommer, dessto lavere spenning kommer ut.

Nå vet vi at det frekvensmodulerte (FM) signalet har en frekvens som endres i takt med talesignalet. Vi legger nå senterfrekvensen til FM-signalet litt til side

1. FM-sender er en *Frekvens Modulert sender*



for resonansfrekvensen til diskriminatorene, som vist på figuren over. Etter som frekvensen endres med talesignalet vil signalet pendle opp og ned på kanten av *resonanstoppen* i takt med frekvensvariasjonen. På utgangen av diskriminatorene finner vi igjen en spenning som varierer i takt med talesignalet. Når dette signalet forsterkes og ledes til en høyttaler får vi tilbake talen og kan høre hva som blir sagt.

3.6 Noen viktige egenskaper ved radiomottakere.

Før vi nå går videre og forklarer hvordan noen ulike typer radioer fungerer skal vi se på noen egenskaper ved radiomottakeren som er viktig å ha klart for seg.

Selektivitet

Vi har sett at for et frekvensdelt system, har stasjonene fått tildelt hver sin frekvens. I virkeligheten opptar de et lite frekvensbånd rundt den frekvensen de har fått tildelt. Det benyttes filtre for å skille en radiostasjon fra naboene. Et filter er en elektronisk komponent som slipper gjennom et spesielt frekvensbånd, men sperrer for alle andre. Det er viktig at filteret er så skarpt at det bare slipper gjennom den ene frekvensen for den stasjonen vi er interessert i. Dersom en mottaker klarer å skille to stasjoner som ligger svært nær hverandre, sier vi at den har god *selektivitet*.



Følsomhet

Overalt i universet er det elektrisk støy, også i elektronikk. Når signalene blir tilstrekkelig svake, f.eks. ved at senderen er for langt borte, vil de rett og slett drukne i støyen i mottakeren. For å få en god mottaker, er det viktig at den elektriske støyen som selve mottakeren lager er så liten som mulig. Det er spesielt viktig at støyen som lages på inngangen (ved antenne) er så liten som mulig, fordi denne forsterkes sammen med signalet gjennom hele mottakeren. Det minste signalet en mottaker kan motta kalles derfor mottakerens *følsomhet*.

Frekvensområde

Som vi har hørt, får de enkelte radiostasjonene tildelt hver sin frekvens. Disse frekvensene er fordelt over et stort område. Langbølge er de laveste frekvensene (med lengst bølgelengde), dernest følger Mellombølge, Fiskeribølge og Kortbølge. Disse er de vanligste båndene for AM-modulasjon. FM-båndet ligger på langt høyere frekvenser.

Mellombølgen ligger på frekvenser under 1MHz, Kortbølgen opp til 30MHz, mens FM-båndet ligger fra 88 - 108MHz. En vanlig kringkastingsradio kan i dag ta i mot alle de nevnte båndene. Som regel kan *kringkastingsmottakeren* kun ta imot de båndene som er avsatt for dette kringkastingsformål. Det er derfor mange “huller” fra langbølge og opp til kortbølgebåndet hvor kringkastingsmottakerne ikke kan motta.

3.7 “Tuneren” og mellomfrekvensen

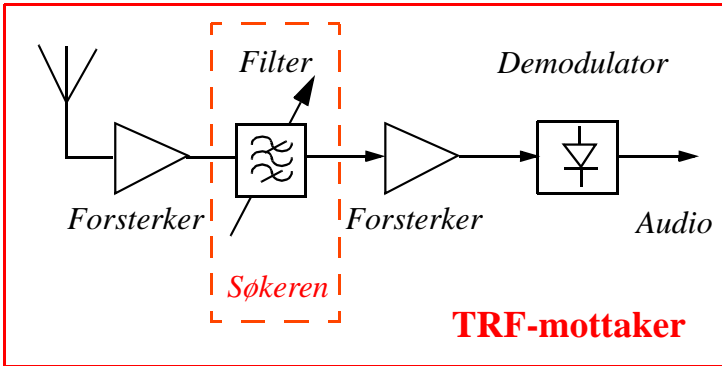
En viktig del av moderne radioer er det en kaller “tuneren” (også kalt søkeren).

TRF-mottakeren

Som vi nå har snakket om flere ganger finner vi kringkastingsstasjonene spredt utover på forskjellige frekvenser. Vi har også nevnt at det er viktig å skille de enkelte stasjonene fra hverandre, dvs å ha en mottaker med tilstrekkelig selektivitet. For å skille stasjonene fra hverandre benyttes filtre som kun slipper gjennom frekvensen av interesse.

Mottakeren som er skissert i figuren over kalles en TRF¹-mottaker. Denne typen radio ble benyttet i radioens barndom. Ved hjelp av filtre i forsterkerkjeden

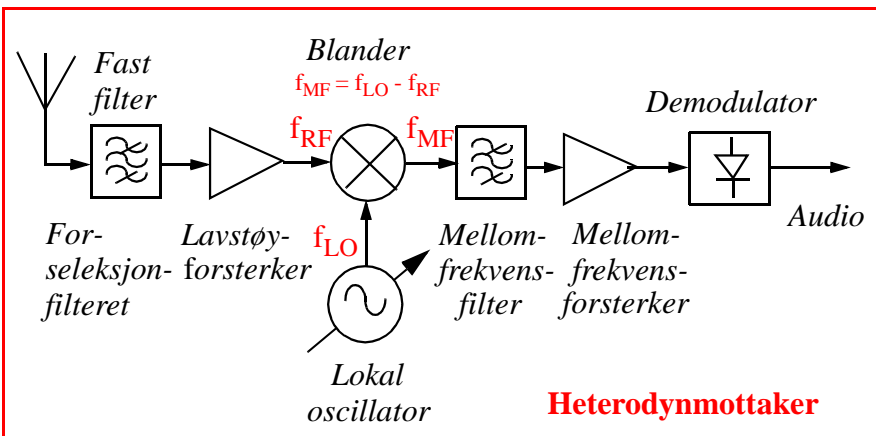
1. TRF - Tuned Radio Frequency



plukkes det ønskede frekvensbåndet ut. Denne typen mottakere gikk en imidlertid tidlig bort fra da den ga dårlig selektivitet.

Heterodynmottakeren¹

Heterodynmottakeren tok etterhvert helt over for TRF-mottakeren da denne ga langt bedre selektivitet, noe som ble mer og mer nødvendig ettersom plassen i frekvensbåndene ble dårligere og dårligere.



På inngangen har heterodynmottakeren et fast filter som dekker hele det båndet mottakeren skal brukes over. For flerbåndsmottakeren kan ulike filter kobles inn

1. *Hetero* betyr anderledes, dvs lokaloscillatoren og bærefrekvensen er forskjellige.



ved hjelp av *båndvelgeren*. Deretter følger en forsterker som bør ha lite støy dersom mottakern skal oppnå god følsomhet. Ved hjelp av en blander og en variabel oscillator, blandes bærebølgefrequensen ned til en *mellomfrekvens* (f_{MF}).

Når to forskjellige frekvenser tilføres en blander, vil vi ut av blanderen få summen og differansen av de to frekvensene. I heterodynmottakeren brukes blanderen til å *flytte* bærefrequensen *ned* til mellomfrekvensen. Vi bruker da bare differansefrekvensen:

$$f_{LO} - f_{RF} = f_{MF}$$

I heterodynmottakere er en *variable oscillator* som kalles *lokaloscillatoren*. Det er denne vi skrur på når vi bruker søkeren på radioen. Dersom vi velger frekvensen til *lokaloscillatoren* (f_{LO}) slik at den ligger *over* bærebølgefrequensen (f_{RF}) med en avstand like mellomfrekvensen (f_{MF}), blanderen flytter den modulerte bærebølgefrequensen ned til mellomfrekvensen. Modulasjonen er fortsatt bevart på mellomfrekvensen.

Mellomfrekvensen for AM-båndene er fast og vanligvis 455kHz . På denne frekvensen kan en lett lage skarpe filtre og ha mye forsterkning. I vårt eksempel blir regnestykket som vist under:

$$1125\text{kHz} (f_{LO}) - 670\text{kHz} (f_{RF}) = 455\text{kHz} (f_{MF})$$

Det fine med denne løsningen er at vi nå kan skifte til en annen stasjon bare ved å skifte frekvens på lokaloscillatoren (LO). Dersom vi øker LO-frekvensen er det en annen bærebølgefrequens som, når den blandes ned til mellomfrekvensen, treffer akkurat *nåløyet* i mellomfrekvensfilteret. På den måten kan vi ved hjelp av lokaloscillatoren ta ut den stasjonen vi ønsker.

Når vi så har filterert og forsterket signalet tilstrekkelig på mellomfrekvensen kan vi demodulere signalet og få ut talesignalet.

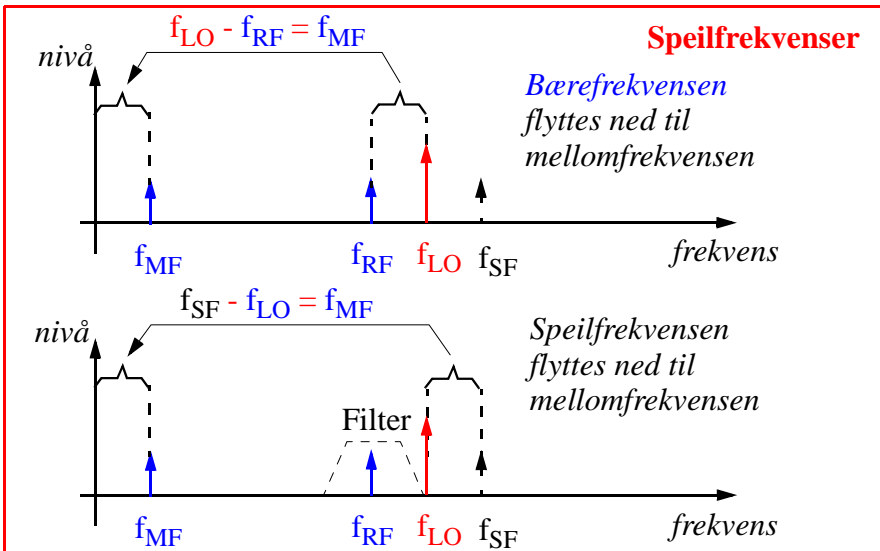
Heterodynmottakeren har vært benyttet i mange år og brukes fortsatt mye.

Speilfrekvenser

Heterodynmottakeren har imidlertid en ulempe. Blanderer flytter ikke *bare* f_{RF} ned til mellomfrekvensen f_{MF} .

$$f_{LO} - f_{RF} = f_{MF}$$

Det finnes også en annen frekvens som blandes ned til akkurat samme mel-



lommefrekvens. Denne frekvensen kalles speilfrekvensen (f_{SF}) og oppfyller ligningen:

$$f_{SF} - f_{LO} = f_{MF}$$

På figuren på forrige side har vi vist hvordan dette tar seg ut grafisk

Vi legger merke til at avstanden mellom bærefrekvensen som vi er interessert i og speilfrekvensen vi ønsker å unngå, alltid ligger $2xf_{MF}$ fra hverandre.

Siden vi ikke kan unngå å blande speilfrekvensen ned i mellomfrekvensbåndet, må vi sørge for at det ikke er noe signal på speilfrekvensen. Det gjør vi ved hjelp av et filter på inngangen. Dette filteret kalles *forseleksjonsfilteret* og står gjerne tett etter antennen eller noen ganger etter lavstøyforsterkeren. Dette filteret er fast og må ha en båndbredde som er så stor at hele det aktuelle mottakerbåndet slipper gjennom.

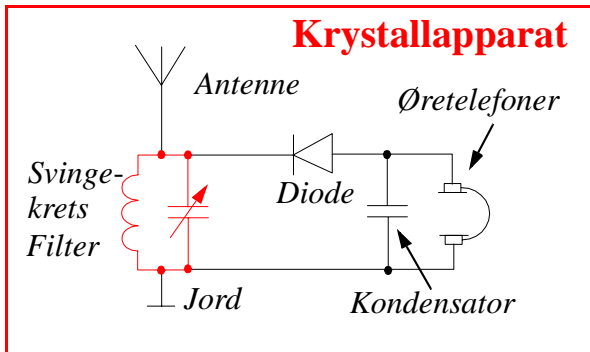
3.8 Noen flere radiotyper

Krystallapparatet

Krystallapparatet er den enkleste radiomottakeren vi kan tenke oss. Denne var populær fordi den ikke trengte noen form for strømforsyning og inneholdt få



komponenter. Den var derfor også et yndet byggeobjekt.



Mottakeren har fått sitt navn etter dioden. Tidligere ble det benyttet et lite krystall montert i en holder. En tynn metalltråd ble stukket bort i krystallet og det oppsto en likerettende effekt i overgangen mellom krystallet og metalltråden, dette ble kalt *krystalldetektoren*. Senere ble krystalldetektoren byttet ut med en diode som vist på figuren over.

Det viktige elementet i krystallapparatet er svingekretsen på inngangen. Denne fungerer som et filter som kan stilles inn ved å variere verdien på kondensatoren. På den måten kan ulike stasjoner *plukkes* ut. Krystallapparatet er enkelt, men har dårlig selektivitet og følsomhet.

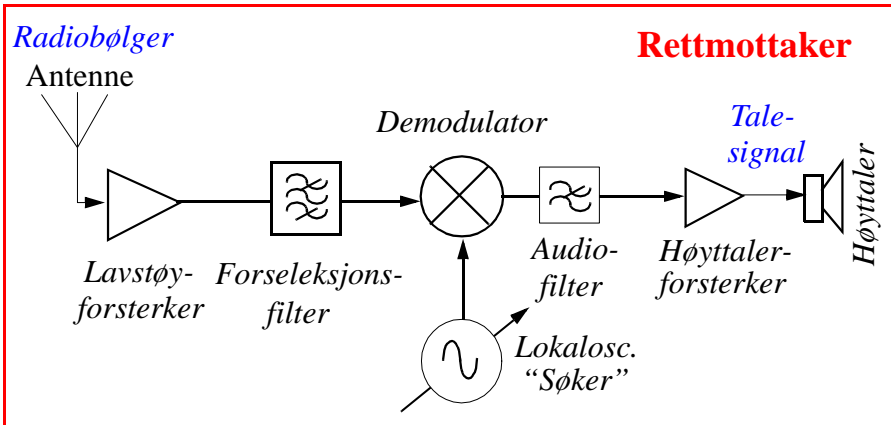
Siden demodulatoren (dioden) er koblet rett til antennesignalet, kan vi også kalle krystallapparatet for en *rettmottaker*.

Rettmottakeren

Vi har alt nevnt at krystallapparatet kan kalles en *rettmottaker*.

Men en skikkelig rettmottaker blir det ikke før vi forsyner krystallapparatet med forsterker på inngangen for å bedre følsomheten og en blander som fører signalet rett ned til audiofrekvensen. Audiofilteret¹ sørger for rimelig god selektivitet. Ulempen er at vi må stille lokaloscillatoren meget nøyaktig for å unngå *Donald Duck* stemme.

1. Vi har er benyttet begrepet audio som er frekvenser i det hørbare området, dvs tale og musikk. *Audio* kommer fra latin og betyr det som har med hørselen å gjøre.



Denne mottakeren kalles også *direktekonverterende* (eng. *direct conversion*) eller *homodynmottaker*¹ da blanderen fører signalet helt ned til audio. I motsetning til *heterodynmottakeren* som fører signalet ned til en mellomfrekvens.

I rettmottakeren fungerer blanderen som demodulator. Siden demodulasjonen skjer ved å "multiplisere" (blande) lokaloscillatorsignalet med bærebølgesignalet, kalles denne type demodulator ofte for en *produkt-detektor*.

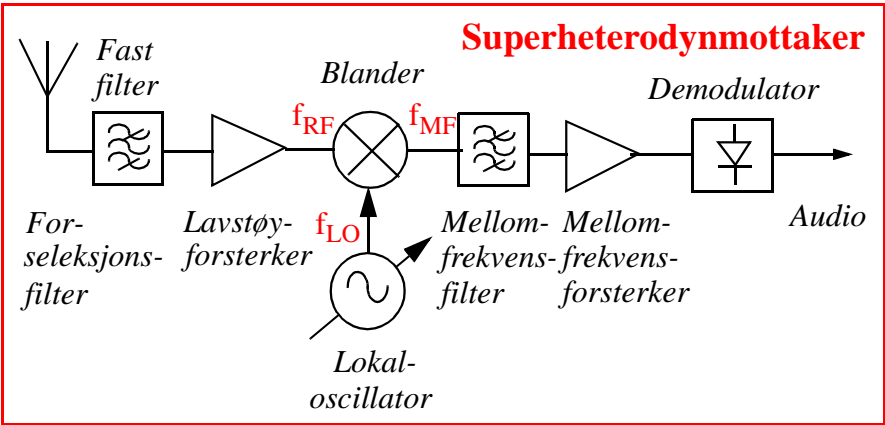
Superheterodynmottaker²

Senere kom superheterodynmottakeren som også i dag er den vanligste type radio. I stedet for å blande signalet helt ned til audiofrekvensen, blandes bærebølgen ned til en *mellomfrekvens*. 455kHz er som vi tidligere har nevnt, en vanlig mellomfrekvens for AM-radioer.

Her filteres signalet i et fast mellomfrekvensfilter før signalet forsterkes og demoduleres i en vanlig diodedetektor.

Fordelen med en slik løsning er at en oppnår meget god selektivitet ved hjelp av skarpe filtre på en relativt lav mellomfrekvens. Derne st unngås synkroniseringsproblemene knyttet til produkt-detektoren slik vi har dem i rettmottakeren.

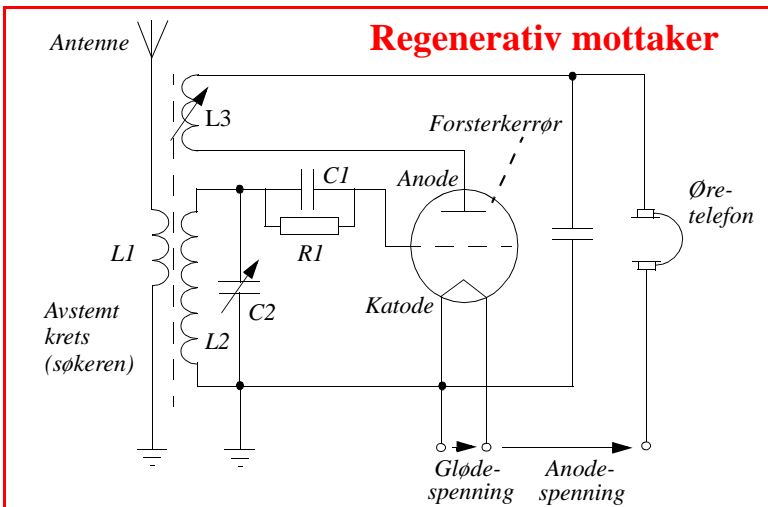
1. *Homo* betyr lik, dvs lokaloscillatorfrekvensen er lik med den mottatte bærefrekvensen.
2. Hvorfor mottakeren har fått forstavelsen *Super* vites ikke, men sannsynligvis er det i markedsføringsøyemed. Mottakeren ble derfor ofte bare kalt *Super*



Et problem med superheterodyn mottakeren er som vi har sett, speilfrekvenser som blandes inn i mellomfrekvensbåndet. Dette problemet løses med for-seleksjonsfiltrering (dvs. filteret på inngangen av mottakeren).

Regenerativ mottaker

Dette er en snedig løsning som var populær for en del år siden. Den utmerket seg ved sin enkle, men likevel følsomme mottaker.





Vi har her valgt å tegne skjema for den regenerative mottakeren. Og for å være litt nostalgisk har vi valgt å bruke et *forsterkerrør*. Signalet som kommer inn gjennom antennen går gjennom spolen L1. Spolene L1 og L2 er to spoler viklet tett inntil hverandre. På denne måten vil de to viklingene virke som en *transformator*. Siden antallet viklinger på L2 er større enn L1 vil spenningen over L2 være større enn over L1.

Kondensatoren C2 og spolen L2 utgjør et filter. Ved hjelp av dette filteret kan en plukke ut *en* spesiell frekvens, eller en spesiell frekvens. C2 er dermed radioens søker.

Signalspenningen går så gjennom C1 og inn på gitteret på trioden som virker som en forsterker. Men trioden forsterker bare den positive delen av signalspenningen og virker dermed også som likeretter. Det likerettede signalet blir filtrert i C3 og audiosignalet lager lyd i øretelefonene.

Vi legger imidlertid merke til at signalet fra anoden, dvs det forsterkede og likerettede signalet, føres tilbake til spolene på inngangen via en liten spole, L3. På engelsk kalles denne “tickler winding”, som betyr en “*erte spole*”. Dvs. denne spolen tar litt av det forsterkede signalet på utgangen og fører det tilbake til inngangen. På denne måten blir det forsterket enda en gang. En slik kobling kan lett føre til selvsving slik vi enkelte ganger opplever det når mikrofonen står for nært høyttaleren. Det er derfor viktig å ligge på grensen av selvsving, da vil en oppnå at signalet blir forsterket flere ganger i røret og en oppnår en mottaker med god følsomhet, men relativt beskjeden selektivitet.

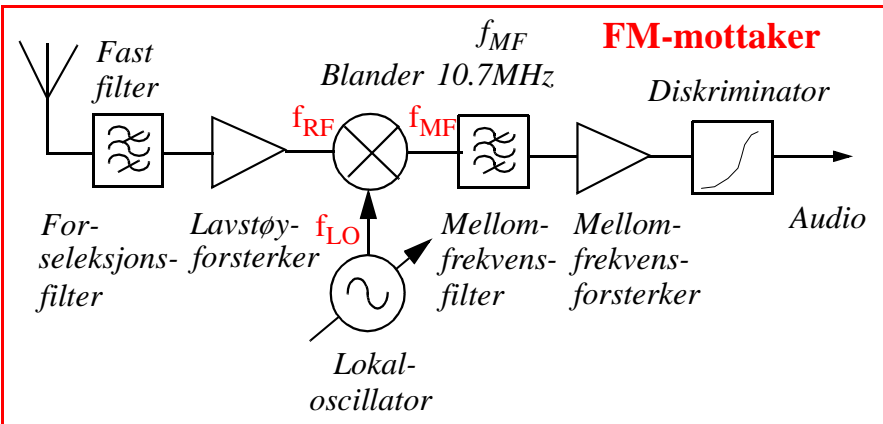
FM-mottakeren

La oss tilslutt kort omtale FM-mottakeren. De fleste FM-mottakere er bygget opp som en heterodynemottaker slik vi har omtalt den tidligere i dette heftet.

Vi har imidlertid skiftet ut demodulatoren (detektoren) med en *diskriminator* som demodulerer det frekvensmodulerte signalet. Vi legger også merke til at mellomfrekvensen (MF) er lagt så høyt som på 10.7MHz¹.

FM-modulasjonen er fortsatt dominerende når det gjelder både radio-kringkasting og TV-lyd da den støymessig er AM-modulasjonen overlegen. Om

1. Dette har sin årsak i at FM-båndet er hele 20MHz bredt, og at vi krever at mellomfrekvensen er større enn halvparten av båndet for å unngå problemer med speilfrekvensene.



noen år vil imidlertid dette ha endret seg når digital¹ radio og TV kommer for fullt. En slik utvikling er nødvendig både fordi kravene til lyd- og bildekvalitet øker, men også for å få utnyttet frekvensbåndene maksimalt.

4 Lag ditt eget krystallapparat

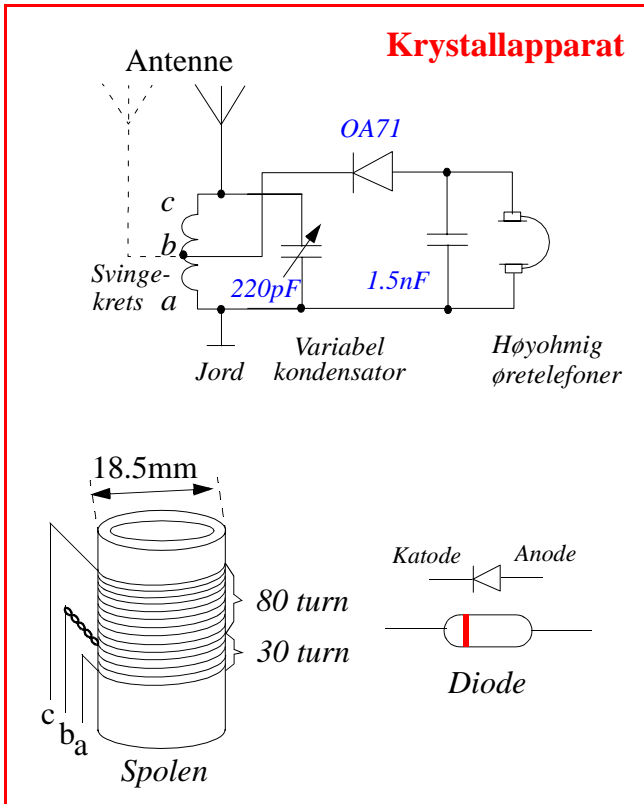
Krystallapparatet

Som barn laget vi krystallapparater som vi fiklet sammen av deler som vi dels plukket ut av gamle radioer og dels kjøpte eller byttet til oss. Det var spesielt den variable kondensatoren og spoletråden vi plukket ut av gamle radioer, mens vi på sekstitallet fikk kjøpt halvlederdiodes. Øretelefonene var gjerne gammeldagse 2000Ω øretelefoner funnet på et loft eller på hytta. Antennen var gjerne tynn kobbertråd hentet ut av transformatoren i et gammelt radioapparat.

Vi har gjort en liten vri på krystallapparatet som vi omtalte tidligere. To antenner kan alternativt kobles til i to forskjellige punkter, en lang antenne for langbølge og en kortere for mellombølge.

Spolen vikles på et papp- eller plastrør (ikke metall) med diameter på 18.5mm, med tilsammen 110 viklinger med uttak etter 30 viklinger. Uttaket kan lett lages ved å lage en sløyfe på tråden som tvinnes sammen. Vikleretningen betyr ingent-

1. *Digital radio* betyr at tale og musikk overføres som *tall* og ikke som spenningsnivåer som i dag.



ing, men det er viktig at viklingene ligger tett ved siden av hverandre og i samme retning. Anbefalt trådtykkelse er 0.3 mm, lakkisolert¹.

En variabel kondensator kan enten kjøpes eller helst hentes fra en gammel radio. Dioden kan kjøpes. Merk at dioden har en katode (som ofte er merket med en ring) og en anode, det er imidlertid ikke så viktig hvilken vei den kobles inn i kretsen.

Det er imidlertid viktig at de enkelte komponentene har god forbindelse med hverandre. Det er derfor viktig at de loddes sammen.

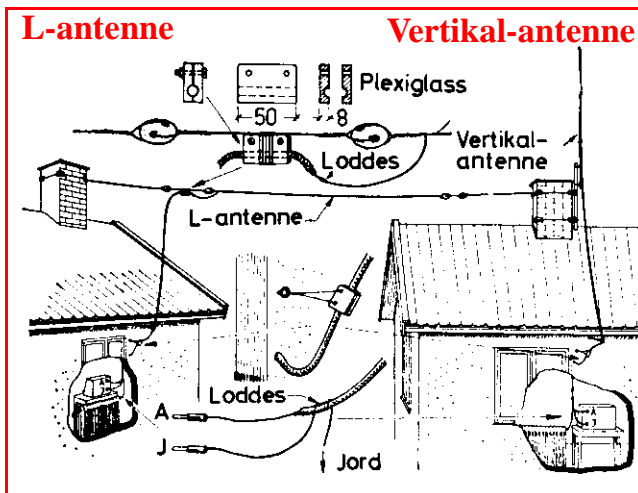
1. Lakkisolert kobbertråd er kobbertråd som er belagt med et tynt lag av lakk. Slik tråd finnes i bl.a. transformatorer.



Den variable kondensatoren bør ha en størrelse på ca 200-300 pikoFarad, mens det er særdeles viktig at øretelefonene er *høyohmige*¹. 8 ohms øretelefoner for f.eks. Walkman vil ikke fungere.

Antennen

Antennen kan være en lang tråd hengt opp mellom to punkter så høyt som mulig over bakken. For å hindre at antennesignalet kortsluttes til jord, benyttes gjerne isolatorer mellom antennen og opphengningspunktene som vist på figuren under ([4]).



En L-antenne for mottaking kan gjerne være så lang som mulig, mens en senderantenne må avstemmes til frekvensen den skal brukes på.

Mottakerforhold

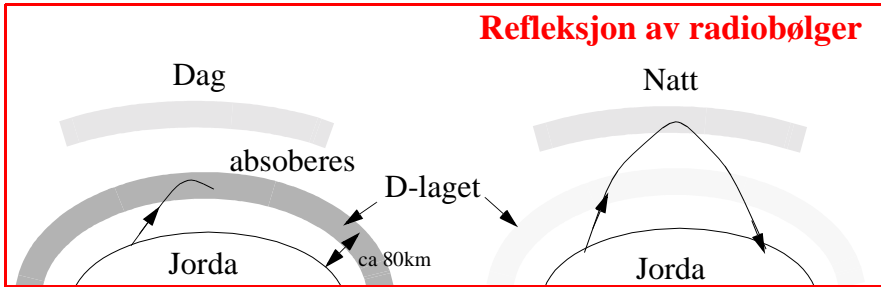
Mottakerforholdene for mellombølge er gjerne best etter mørkets frambrudd. Rundt jorda finnes det ulike lag med mer eller mindre ioniserte gasser. Disse lagene kalles med en fellesbetegnelse *ionosfæren*. Men *ionosfæren* består av flere lag. *D-laget* er det laveste ca. 80km over jordoverflata. Om dagen ioniseres gassen av sollyset. Dette medfører at radiobølger som trenger inn i dette laget *absorberes* (dvs går over i varme). På dagen vil det kun være *jordbølgen* som overfører radiosignalene. Jordbølgen er det signalet som utbreder seg langs jord-

1. Dvs har høy indre motstand f.eks. 2000ohm



overflaten. I dette tilfellet begrenses rekkevidden til mellom 200 - 250 km.

På natten svekkes D-laget og slipper etter hvert radiobølgene gjennom. Bølgene treffer da et høyereliggende lag som *reflekterer* bølgene ned mot jorda igjen. På denne måten vil rekkevidden for mellombølgestasjonene øke betydelig når mørket faller på.



5 Referanser

- [1] Norsk Radio Relæ Liga, “Alfa Bravo Charlie for Radioamatøren”, Universitetsforlaget 1987, ISBN 82-00-28759-9
- [2] Judith Hann, “Damms store vitenskaps bok - spennende forsøk og eksperimenter som avslører vitenskapens hemmeligheter”, Damm 1992, ISBN 82-517-7833-6
- [3] David Johnson, “Antique radio restoration guide” Wallace-Homestead Book Company 1992, ISBN ?
- [4] John Schröder, “Radiobygg boken”, Teknologisk Forlag 1965, ISBN ?

