

LEVANDE LÅNGVÅG

Ett fysikprojekt i telekommunikation:

Bygg en mottagare för SAQ i Grimeton.

Högskolan i Halmstad i samarbete med Världsarvet Grimeton

Arne Sikö 2008



FÖRORD

Det här är ett kompendium om radioteknik i samband med långvågssändaren i Grimeton, som byggdes för snart hundra år sedan och fortfarande fungerar och utnyttjas. Anläggningen är nu både ett världsarv och ett modernt kommunikationscentrum.

I projektet *Levande Långvåg* kan man bygga enkla mottagare för sändaren och även besöka stationen. Kompendiet ska ge en bakgrund för ökad förståelse så att man får ut så mycket som möjligt av projektet. Det innehåller allmänna och historiska data om radio och kommunikation och en beskrivning av sändaren och mottagaren. Innehållet ansluter i görligaste mån till fysikkursen på Nv-programmet och bör också passa för Teknikprogrammet. På slutet finns övningsuppgifter.

Författaren vill tacka lärare och elever på da Vinci Naturvetenskap och på Kattegattsgymnasiet i Halmstad, liksom stationens personal.

Januari 2010
Författaren

Kompendiet får kopieras fritt om källan anges.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Kapitel	Sida
1 Från Chappe till Marconi	
1.1 Före elektriciteten	3
1.2 Telegrafering på tråd	4
1.3 Trådlös telegrafi	9
2 Sändaren SAQ	
2.1 Varför och varför i Grimeton?	16
2.2 Sändaren	19
2.3 Då och nu	25
3 Mottagaren	
3.1 Mottagarens princip	28
3.2 Transistorn	30
3.3 Resonanskretsar	31
3.4 Mottagarens schema	33
Appendix	
A1 Om modulation, mobiltelefoni, bredband m.m.	40
A2 Spolar, kondensatorer och högtalarfilter	44
Uppgifter	47

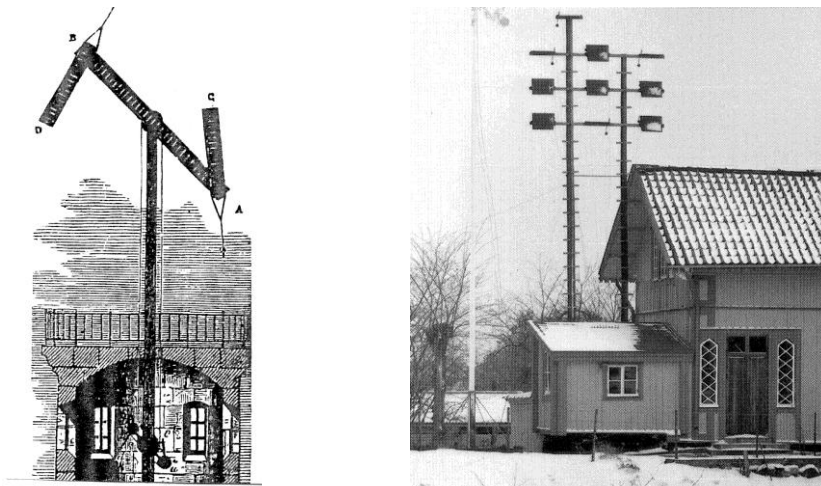
FRÅN CHAPPE TILL MARCONI

1.1 Före elektriciteten

Långvågssändaren med sin anläggning i Grimeton blev världsarv, Sveriges tolfte, genom ett UNESCO-beslut sommaren 2004. Hur en långvågssändare från 1920-talet kan bli världsarv ska vi förklara framöver, men avgörande var att den är en viktig, unik del av en fascinerande historia och dessutom en högst levande anläggning. Låt oss därför börja med att sätta in den i ett historiskt sammanhang.

Så länge den enda tillgängliga formen av elektricitet var den statiska fick den inte mycket praktisk användning. Franklin uppfann åskledaren vid mitten av 1700-talet och Coulomb fann den lag som bär hans namn, men hur spektakulära de snabba urladdningarna än var lät de sig varken studeras särskilt ingående eller överföras några längre sträckor, t.ex. för meddelanden.

Så kom det sig att det första någorlunda pålitliga och välutbyggda telegrafsystemet inte var elektriskt, utan kombinerat mekaniskt och optiskt. Det konstruerades av Claude Chappe (1763-1805) vid tiden för den franska revolutionen och kom väl till pass när centralregeringen i Paris snabbt ville få veta vad som pågick ute i de oroliga provinserna. Den första linjen stod klar 1793, 200 kilometer mellan Paris och Lille.



Figur 1.1 Optiska telegrafer. Till vänster Chappes telegraf. Tre tecken kunde ta en minut att skicka. För att göra systemet användbart nattetid gjordes försök att förse anordningarna med lanterner, men det blev för komplicerat.

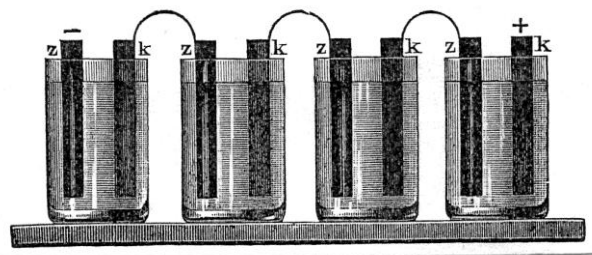
Till höger den svenska varianten, en kopia av en station i Stockholms skärgård. I en beskrivning från tiden kan man läsa:

I Sverige
gör skogs- och fvedje-rök om somrarne mycket hinder. Häftig storm gör rörelsen af maskinen befvårlig samt minskar åfven något luftens genomkinlighet.

Chappes telegraf bestod av kedjor av stationer med fri sikt mellan närliggande. En station hade rörliga armar på en hög stolpe, där armarnas lägen ingick i ett kodsystém. Den fick vidsträckt användning i hela Europa, vilket vi påminns om genom namn som ”Telegraph Hill” och ”Telegrafenberg”. I Frankrike kom det ironiskt nog att fördröja utvecklingen av elektriska telegrafer. ”Den fransyske telegrafén” fick i vårt land en annorlunda utformning genom Abraham Niclas Edelcrantz. Hans system med luckor som kunde vara uppe eller nedfällda – ett digitalt system, således! – tillät dubbelt så hög telegraferingshastighet som det franska. Det fanns i trakterna av Stockholm, Göteborg och Karlskrona och var huvudsaligen avsett för militära ändamål. En planerad linje mellan Göteborg och Stockholm kom aldrig till stånd.

1.2 Telegrafering på tråd

Nyåret 2000 firades naturlig nog mer än vanliga nyår. Samtidigt hade det funnits goda skäl att också fira ett tvåhundraårsjubileum, som emellertid fick passera rätt oförmärkt. Året 1800 kunde italienaren Alessandro Volta presentera ett elektrolytiskt batteri. Anordningen var primitiv, men den kontinuerliga ström batteriet gav gjorde det möjligt att i lugn och ro undersöka den och dess verkningar. Uppfinningen blev början till en intensiv utveckling där vi finner namn som André Marie Ampère i Frankrike, Michael Faraday i England, Georg Simon Ohm i Tyskland och Hans Christian Ørsted i Danmark. (Vi kan notera att beteckningen I för elektrisk ström härrör från den tiden; det var Ampère, som på sitt språk kallade den *intensité*.)



Figur 1.2 Alessandro Volta (1745-1827) och en elektrolytisk cell.

Volta kunde förklara sin föregångares, Galvanis, upptäckter om animal elektricitet och därav konstruera ett fungerande batteri. Det första bestod en av stapel med omväxlande elektroder av koppar och zink med saltlakeindränkt tyg emellan. Bilden visar en utvecklad modell med elektroderna i bägare med utspädd svavelsyra som elektrolyt (liksom i dagens bilbatterier). Spänningen kunde ökas med fler bägare i serie.

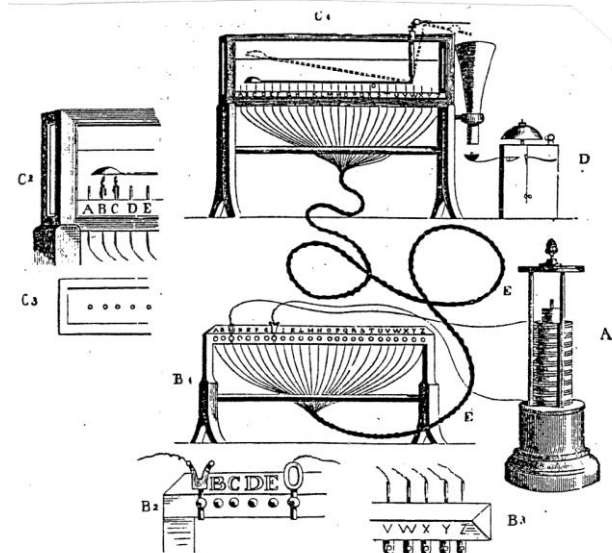
Vi låter den för oss kanske kuriösa telegrafanordningen i figur 1.3 tjäna som prov på tidens uppfinningsrikedom. Mer praktiska lösningar kom inom räckhåll först med Ørsteds upptäckt 1820, då han anslöt en ledning mellan volta-celler. Han lade då märke till att en magnetnål i närheten påverkades, uppenbarligen på grund av strömmen i ledningen. Detta var ett viktigt steg framåt,

i grunden eftersom det förenade elektricitet och magnetism, och praktiskt genom att göra det möjligt att mäta strömmen genom att observera nålens rörelse. På så vis kunde Ohm några år senare presentera den lag som nu bär hans namn.

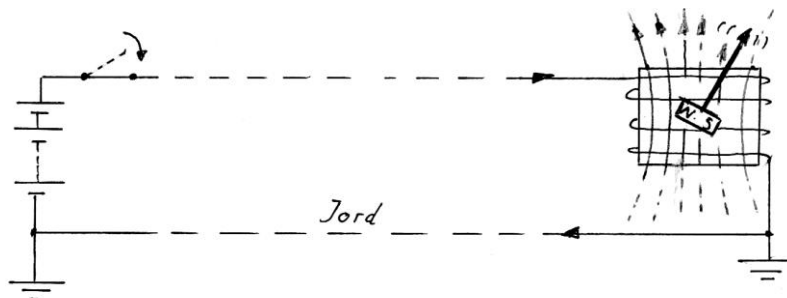
Figur 1.3 Sömmerlings telegraf.

Mottagaren i den telegraf som den bayerske läkaren Sömmerling konstruerade på 1810-talet var ett stativ med 25 kärl med syralösning, ett per tecken. En elektrolytisk telegraf, således. På sändarsidan anslöts batteriet A till lämpliga uttag, varefter gasutveckling uppstod i motsvarande kärl hos mottagaren. För att påkalla uppmärksamhet vid begynnande gasutveckling fanns en fiffig hävarmsanordning som fick en ringklocka D att ljuda.

Apparaten fungerade förvisso, men blev ingen succé; bl.a. kabeln med sina 25 ledare bör ha gjort den dyr och mycket opraktisk.



Figur 1.4 visar en enkel telegraf. När strömställaren slagits på går en ström genom spolen, som alstrar ett magnetfält. Fältet påverkar den lilla permanentmagnet som hängts upp i mitten så att dess nål gör ett utslag.



Figur 1.4 En enkel telegraf. När strömmen sluts går en ström genom mottagarspolen så att den upphängda permanentmagneten i mitten med sin nål gör utslag. Anordningen kan uppenbarligen också utnyttjas för att mäta strömmen. Ett särskilt känsligt instrument för sådana ändamål kallas *galvanometer*.

Principiellt krävs en dubbelledning, men man fann snart att jorden själv, som är en bra ledare, kan ersätta den ena ledningen vilket sparar koppar. Det görs genom anslutning av den ena batteripolen och ena änden av spolens lindning till jord, t.ex. genom att ledningarna grävs ned en bit i jorden och där ansluts till plattor eller rör för bästa kontakt.

Den första telegrafen med galvanometrar konstruerades av Gauss och Weber 1833 och förenade observatoriet med fysikinstitutionen i Göttingen. Meddelanden skickades enligt ett kodsysteem. Systemet fungerade, men Gauss och Weber hade många järn i elden och utvecklade det inte vidare.

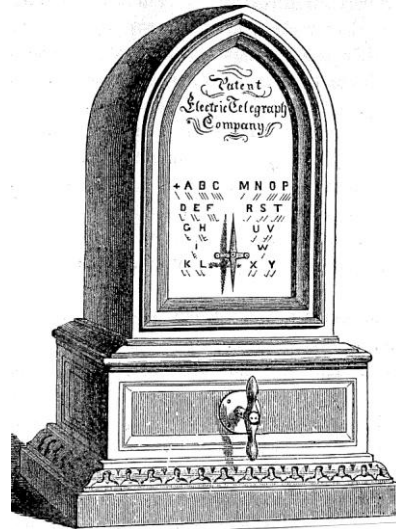
Utvecklingen av större system tog i stället fart i England, där affärsmannen och amatörteknikern Cooke och vetenskapsmannen Wheatstone patenterade sin *nåltelegraf* 1837. Dess konstruktion med galvanometrar var enkel och pålitlig och kom till nytta i ett vidsträckt linjenät, ofta längs järnvägar. Telegrafan kom till nytta för imperiet i England, som efter hand kunde förena hela imperiet med ett nät, bland annat med en kabel över Medelhavet.

Figur 1.5 Cookes och Wheatstones nåltelegraf.

Som framgår av tavlan betyder ett visarhopp åt vänster ett plus, två hopp A o.s.v. Handtaget, som motsvarar en telegrafnyckel, är för sändning. Eftersom ingen automatisk skrivanordning fanns gällde det att direkt skriva ned tecknen efter hand som de kom.

På många håll, både bland allmänhet och beslutsfattare, fanns en stark konservatism mot det nya mediet, förunderligt nog, kan man nu tycka.

I England ändrades detta snabbt 1845, då en mördare kunde gripas på Paddington Station efter att ha flytt dit från en förort. Men järningsmannens signalement telegraferades och hann före honom, varefter han så småningom *was hanged in the telegraph wires*, som tidens tidningar uttryckte saken.



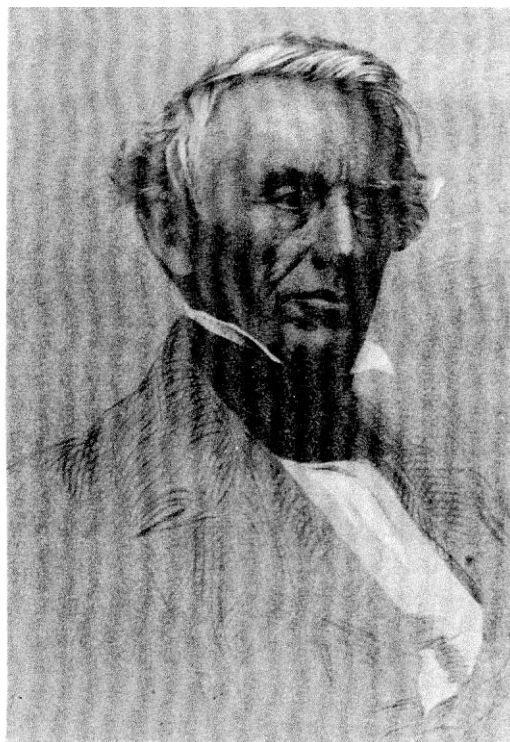
I Sverige fanns 1853 en telegraflinje mellan Stockholm och Uppsala och två år senare förbindelse hela vägen Haparanda-Ystad. Genom en kabel mellan Helsingborg och Helsingör möjliggjordes ännu ett par år senare telegramtrafik med kontinenten. 20 ord till Berlin kostade 12:15 riksdaler, uppskattningsvis några hundra kronor i dagens penningvärde.

Morse

År 1832 var den amerikanske konstnären och målaren Samuel Morse på väg hem efter konststudier i Europa. Under hemresan diskuterades de nya elektriska rören sedan en av passagerarna förevisat demonstrationsmaterial han tagit med. Morse, som var road av teknik, blev intresserad och började direkt efter hemkomsten att experimentera med telegrafi. Hans utrustning var till en början klumpig, delvis på grund av bristande kunskaper på området. Den första mottagaren byggdes på ett staffli och vägde 79 kilo eftersom Morse trodde att tråden i skrivarens elektromagnet måste vara av samma diameter som den på linjen (som måste vara någorlunda tjock för att inte få för stor resistans).

Efter hand konstruerade han bättre skrivare och utvecklade sitt alfabet, Morsealfabetet, som blev standard vid telegrafering och exempelvis används i sändaren i Grimeton.

a . —	n — ·
b — . . .	o — — —
c — . . .	p · — — ·
d — . . .	q — — . —
e ·	r · — ·
f · · — ·	s · · ·
g — — ·	t —
h · · · ·	u · · —
i · ·	v · · · —
j · — — —	w · — —
k — · —	x — — . —
l · — . .	y — — — —
m — —	z — — . .
1 · — — — —	å · — — — —
2 · · — — —	ä · — . —
3 · · · — —	ö · — — — .
4 · · · · —	ü · · — — —
5 · · · · ·	ch — — — — —
6 — · · · ·	ñ — — — — —
7 — — . . .	
8 — — — . .	
9 — — — — ·	
0 — — — — —	



Punkt · — . . . —	Åtskillnadstecken — . . . —	=
Komma — — · . — —	Felsändning	\overline{HH}
Kolon — — — . . .	Slut på meddelande · — — — ·	\overline{AR}
Bindestreck — · · · —	Avslutning . . . — —	\overline{SK}
Frågetecken · · — — . .	Vänta · —	$\sqrt{\quad}$
Utropstecken · · — — .	Kom — · —	K
Bråkstreck — · · — .	Lystring — — — — —	~
Nödsignal · · · — — — . . .		

Figur 1.6 Samuel F B Morse (1791-1872), självporträtt och alfabet. En del ändringar och tillägg till Morses ursprungliga har gjorts, t.ex. tecken för språks specialbokstäver. (Alla har inte tagits med här.) Punkterna och strecken, *korta* och *långa*, uttalas di och dah. Morse blir dah-dah dah-dah-dah di-dah-di di-di-di di . Dah ska vara tre gånger så långt som di, som varar en tidsenhet. Di och dah i tecken skiljs åt med en tidsenhet, tecken åtskiljs med tre (samma som ett dah). Tiden mellan ord är sju enheter. Observera att nödsignalen "SOS" är ett eget tecken i sig och inte utgörs av de tre bokstäverna, eftersom signalerna sänds i en följd utan teckenmellanrum. En skicklig telegrafist kan sända och ta emot mer än 150 tecken per minut, men kan då behöva skrivmaskin vid mottagning för att hinna med.

Av de många mer eller mindre självlärda entusiasterna under 1800-talet tillhör Morse de mest framstående. Han tvangs till stora ekonomiska uppoffringar för att kunna bygga utrustningen som var kostsam, och fick kombinera experimentverksamheten med målning. Ett bidrag som Kongressen beviljade under stort motstånd – många ansåg uppfinnaren i hög grad oseriös och borde övervakas väl – gjorde det möjligt att 1850 färdigställa en linje de femtio kilometerna mellan Washington och Baltimore. Det gick emellertid trögt och lönsamhet uteblev länge. Efter hand gick emellertid fördelarna upp för amerikanarna, varefter det gick undan desto snabbare. Vid sin död var Morse en internationell celebritet.

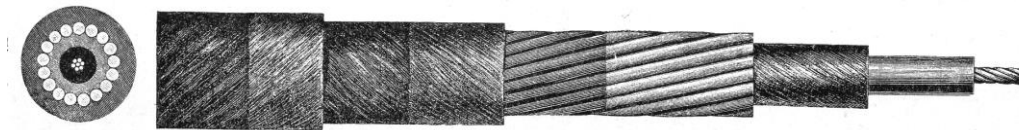
Telegrafledningar som hängde i stolpar kunde vara oisolerade, men i marken måste de isoleras, vilket inte var enkelt. Något som liknade våra dagars hållfasta lacker fanns inte, utan ledning i spolar fick isoleras genom att tunn tråd

av silke eller bomull spanns runt ledaren. I mark kunde beck och tjära tjäna som isolator.

Efter hand kom idén upp om telegrafering över Atlanten, mellan Europa och USA. Jorden, som var den ena ledaren, hade kontakt med saltvattnet så förbindelsen skulle kortslutas vid minsta isolationsfel. (Kopparen i en enda ledare kom att väga ca 200 ton, så mycket fanns att spara på att använda jorden.) En isolering som fungerade var *guttaperka*, en gummiliknande saft från ett tropiskt träd, som gjorde det möjligt att förse en lång kabel med ett tillräckligt tätt, isolerande hölje.

Världens första Internet

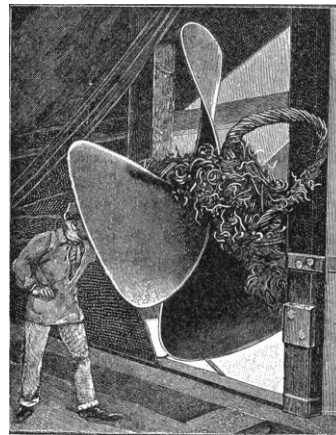
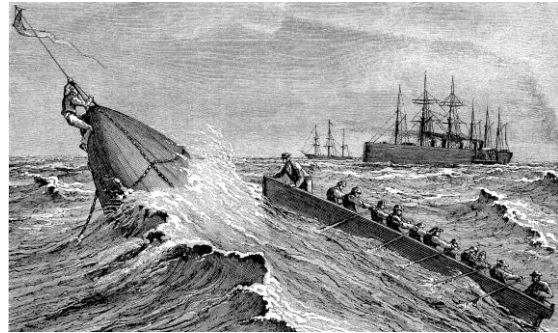
Den första Atlantkabeln lades ut 1858 de 2700 kilometerna mellan Irland och Newfoundland med kabellängden 3900 kilometer. Det var ett för tiden gigantiskt projekt som möjliggjordes av affärsmannen Cyrus W Fields. Mätt med dåtidens svenska pengar blev notan 22 miljoner kronor. Kabelns isole-ring förstördes rätt snart till följd av för hög spänning, men nya lades ut och på 1860-talet fanns ständigt fungerande kabelförbindelse mellan de båda kontinenterna. Stilla Havet överbyggades snart och mot seklets slut var i stort sett hela världen sammanbunden av ett nät av telegraflinjer.



Figur 1.7 Atlantkabelns konstruktion och en del problem. Ledaren bestod av sju tvinnade koppartrådar med guttaperka-isolering utanpå. Bäck, hampa och ståltråd gav mekanisk hållfasthet och ytterligare isolering. Oceandelens diameter var 2,5 centimeter.

Vid utläggning gällde det att vara försiktig med skeppets rörelser, särskilt på stora djup, där den nedhängande kabeldelens egentyngd var avsevärd. Vid ett tillfälle brast kabeln, som man emellertid lyckades fiska upp igen. Här fästs den dyrbara tingesten vid en boj.

Nära kusten var kabeln tjockare för att inte riskera förstöras vid fiske, men som man ser fanns också andra kabelfiender. I Kina fann fiskarna snart att de mystiska föremål som ibland kom upp med krokarna var värdefulla och kunde säljas med god förtjänst tills myndigheterna kom underfund med vad som låg bakom de då och då avbrutna teleförbindelserna.

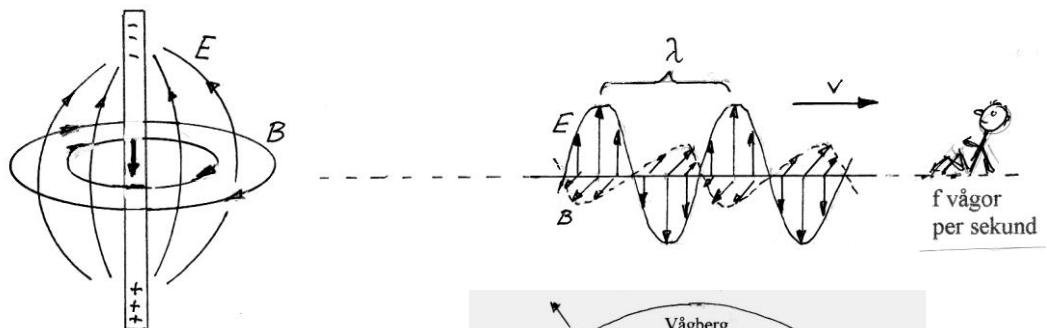


Det är värt att notera att 1800-talets telegraflinjer utgjorde det allra första, världsomspännande, snabba kommunikationsnätet. Det har i vår tid kallats *the Victorian Internet* (efter sitt i stort sett samtida, drottning Victoria) och saknade inte likheter med dagens Internet: Telegrafister "chattade", man kunde spela chack per telegraf, förlova och gifta sig och bovstreck planerades. Många gladdes över de snabba förbindelserna medan andra tyckte det gick för fort. I militära sammanhang hände det att journalister ibland kom först med nyheterna, till stort förtret inte sällan "fel" sådana. Cencurförsök förekom således, liksom idag med skiftande framgång.

Trafiken blomstrade och kabelbolagen goda affärer, men taxorna gjorde att telegram knappast något för vanligt folk, utan Karl-Oskar, Kristina och andra immigranter från Europa fick fortfarande klara sig med brev per båt.

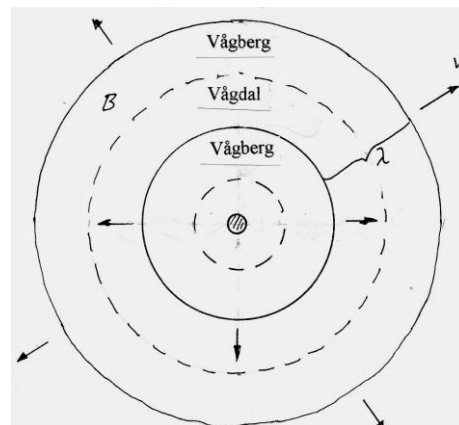
1.3 Trådlös telegrafi

Ungefär samtidigt som systemen av telegrafkablar började sprida sig över världshaven började en utveckling som skulle bli deras slut. Skotten James Clerk Maxwell (1831-1879) sammanställde i matematisk form upptäckterna som gjorts, främst av Ampère och Faraday. Faraday hade lanserat fältbegreppet, med de magnetiska fält kring strömförande ledare och elektriska fält kring laddningar som vi är vana vid. Fälten är svagare längre bort från ström och laddningar och försvann enligt all erfarenhet direkt så snart strömmen upphörde eller laddningarna togs bort, t.ex. genom att neutralisera varandra.



Figur 1.8 Elektromagnetisk strålning. I det vertikala ledarstycket pendlar laddningar upp och ned genom att en ström går fram och tillbaka. Det horisontella magnetfältets riktning kan bestämmas med en välkänd "högerhandsregel".

Nära ledaren är förhållandena komplicerade, men ett stycke därifrån bildar fälten sinusformade vågor som ger sig iväg med farten v . Längst nere till höger ser vi situationen ovanifrån, med magnetfältet som ringar på vatten.



Vågbergen är heldragna cirklar och vågdalarna streckade; de motsvarar olika tecken hos magnetfältet, Det elektriska fältet är vinkelrätt mot papperets plan.

Enligt Maxwells teori behöver fälten inte försvinna. För att förstå hur det går till och hur radiovågor kan bildas studerar vi figur 1.8 som visar en vertikal bit ledare. Där pendlar en ström upp och ned och alstrar därför ett horisontellt magnetfält B med varierande riktning, beroende på strömriktningen. I den visade situationen går strömmen nedåt och de magnetiska fältlinjerna därför ut från papperet till höger om ledaren. Strömriktningen gör ledaren positiv nedtill och negativ upptill, vilket orsakar ett uppåtriktat elektriskt fält E , som huvudsakligen går vertikalt. Lite senare är situationen den omvända, med omkastade fält.

Maxwells ekvationer uttrycker två viktiga lagar:

- Varierande magnetiska fält ger upphov till elektriska fält (som också varierar). Det är en allmän formulering av induktionslagen $e = d\Phi/dt$.
- Varierande elektriska fält alstrar magnetiska fält. Ett vardagligt specialfall är magnetfält kring strömmar (som beror på spänningar, som beror på elektriska fält...)

Det här betyder att fälten kring ledaren i figur 1.8 ömdesidigt kan upprätthålla varandra sedan de väl bildats och alltså inte behöver försvinna för gott om strömmen upphör. Det kombinerade fältet kallas därför ett *elektromagnetiskt fält*. Inte nog med det, ekvationerna visade också att fälten tillsammans ger sig av från ledaren, ut i oändligheten.

Ledaren är därför en *antenn* som sänder ut radiovågor i form av *elektromagnetisk strålning*. Maxwell kunde beräkna deras hastighet och fann ett värde mycket nära $300\,000\text{ km/s} = 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$, en hastighet som nyligen (1849) noggrant hade uppmätts för ljus. Det stod nu klart att ljus är en form av elektromagnetisk strålning (en teori som bland andra Faraday hade lagt fram tidigare, men fått mycket kritik för).

Avståndet mellan vågberg eller vågdalar som följer på varandra är *våglängden* λ . Om man står stilla och räknar antalet vågor som passerar per sekund får man *frekvensen* f . Enligt vågrörelseläran är produkten av våglängd och frekvens lika med vågornas hastighet, som vi ger samma beteckning som ljusets, c . Således

$$\lambda \cdot f = c \quad (1.1)$$

Frekvensen har enheten Hertz, Hz. Vid trådlös datorkommunikation används ofta frekvensen 2,45 GHz, $2,45 \cdot 10^9\text{ Hz}$. Våglängden är därför

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8\text{ m/s}}{2,45 \cdot 10^9\text{ Hz}} \approx 0,12\text{ m} = 12\text{ cm}$$

Samma våglängd har strålningen i mikrovågsugnar.

Nu gällde det att kontrollera Maxwells sensationella teori med experiment, d.v.s. att få laddningar att svänga, *oscillera*, tillräckligt snabbt i en ledare.

Först att lyckas var Heinrich Hertz 1886, med hjälp av en induktionsapparat, inte olik anordningen med tändspole i bilar, som ger gnistor i tändstiften. Räckvidden var några meter.

Någon möjlighet att använda vågorna för kommunikation förutsåg Hertz inte, lika lite som Maxwell. Det är ledsamt att tänka på att båda dog i förtid så att Maxwell aldrig fick veta om Hertz historiska experiment och den senare inte hann uppleva något av utvecklingen till fungerande radiokommunikation. Betydelsen av det som kom fram är svår att överskatta, så att exempelvis storskaliga meningslösheter som nittonhundratalets världskrig troligen i stor utsträckning efter hand kommer att förblekna jämfört med vad de båda artonhundratalsforskarna åstadkom.

Den elektromagnetiska strålningen täcker ett brett spektrum med våglängder från pm (pikometer, 10^{-12} m) för gammastrålning till miljontals meter för de vågor som motsvarar våra tekniska frekvenser vid 50 Hz. Här är några exempel i runda tal.

- Ljus (sådan vi ser med ögonen) 400 - 800 nm (nano = 10^{-9})
- TV-sändningar 0,5 - 0,1 m
- FM-radio 3 m

Radioområdet delas upp så här :

- UHF, Ultra High Frequency 300 – 3000 MHz
- VHF, Very High Frequency 30 – 300 MHz
- HF, High Frequency 3 – 30 MHz Kortvåg
- MF, Medium Frequency 0,3 – 3 MHz Mellanvåg
- LF, Low Frequency 30 – 300 kHz Långvåg
- VLF, Very Low Frequency 3-30 kHz

Områden över och under finns också. Grimetonsändaren med sina 17,2 kHz ligger som man ser på VLF-området.

De första radiosändarna

Hertz sändare var en *gnistsändare*. Den utvecklades snabbt och kom till nytta i början av 1900-talet, inte minst till havs, där fartygstelegrafisten snart fick heta ”gnisten”. En gnistsändaranläggning fanns exempelvis ombord på Titanic 1912 och räddade många liv. Den började ersättas av modernare utrustning på tjugotalet, men fanns kvar som nödsändare ännu längre.

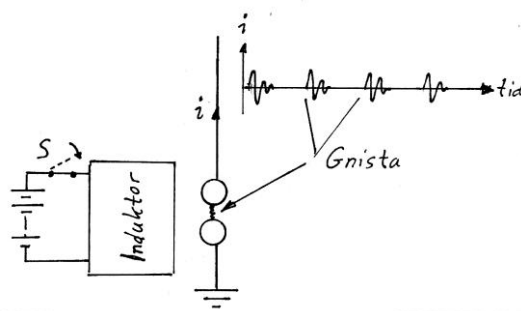
Som figur 1.9 visar består gnistsändaren av en induktionsapparat som drivs av ett batteri. Till induktorn är två metallkuler kopplade, så nära varandra att en gnista kan slå över. Den undre kulan är ansluten till jord och den övre till en antennråd som hängs ut i det fria.

Figur 1.9 Gnistsändare.

I Hertz anordning var kulorna försedda med korta spröt, men här har den undre jordats och den övre anslutits till en antenn.

Diagrammet visar den dämpade strömmen i antennekretsen; de utgående vågorna dämpas på samma sätt. En svängning startar så snart en gnista slår över, vilket kan vara flera hundra gånger per sekund.

Den som lyssnar hör samma frekvens som gnistfrekvensen, så om den är 440 per sekund hörs ett ettstruktura A. Antennens resonansfrekvens är mycket större, typiskt några tiotals eller hundratals kilohertz. Hertz förhållandevis lilla antenn gjorde dess resonansfrekvens till några hundra megahertz.



När strömställaren S slås på börjar induktorn avge en snabb följd av kraftiga spänningspulser – tusentals volt – som laddar upp kulorna, jorden i närheten och antennen. Spänningen är så hög att det blir överslag med en gnista mellan kulorna så att laddningen utjämnas och spänningen snabbt sjunker.

Men strömmen upphör inte sedan laddningen utjämnats, vilket vi kan förstå så här. Strömmen i varje del alstrar magnetfält som når kretsen i övrigt. När det minskar, minskar det magnetiska flödet, en ändring som inducerar spänning överallt i kretsen. En grundläggande lag (Lenz lag) säger att den inducerade spänningen vill motverka sitt upphov, vilket betyder att den håller strömmen uppe. Strömmen upphör därför inte vid laddningsutjämnningen, utan fortsätter och vänder på så vis polariteten. (Resonemanget handlar om antennens induktans.) Sedan fortsätter det på samma sätt så att kretsen oscillerar och sänder ut elektromagnetisk strålning.

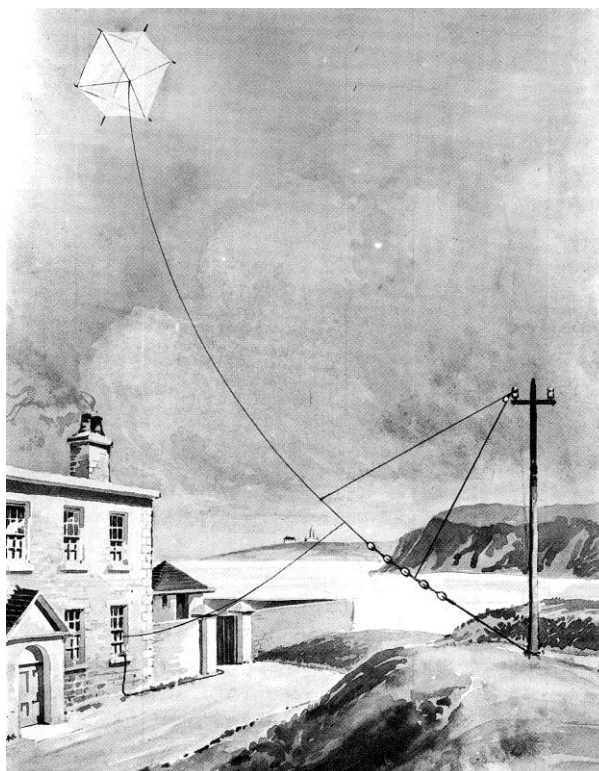
Strålningen som sänds ut tar med sig energi, vilket betyder att växelströmmen i antennekretsen blir svagare; man talar om en *dämpad svängning*. Det kan vara bra att jämföra med en linjal som spänns fast i sin ena ände och regelbundet slås till. Varje gång börjar den svänga, men bl.a. friktion mot luften tar energi och dämpar förloppet. Linjalens svänger med sin *resonansfrekvens* som beror på dess material och dimensioner. På samma sätt har antensystemet en resonansfrekvens som strömmen oscillerar med och som är den utsända strålningens, radiovågornas, frekvens. Antensystemets resonansfrekvens beror på dess utformning och blir i stort sett lägre vid ökade fysiska dimensioner.

Många deltog i den snabba utvecklingen efter Hertz i en kapplöpning om vem som skulle komma först. Om ändå bara en ska nämnas bör det bli italienaren Guglielmo Marconi, vars tekniska intuition förenades med en stark entreprenörsanda. Som tjugoföråring blev han intresserad av Hertz lyckade experiment och satte genast igång att experimentera hemma på föräldrarnas gods nära Bologna. Sändarnas räckvidd ökades snabbt och Marconi kom snart upp i en och en halv kilometer, förvånansvärt nog med en kulle mellan sändare och mottagare. Efter ytterligare utveckling lyckades han 1901 sända över Atlanten, från Cornwall i England till Newfoundland i USA. Den mottagna signalen, tre korta, är troligen världens mest berömda morse-S.

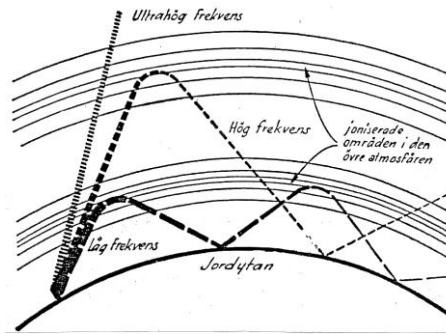


Figur 1.10 Guglielmo Marconi (1874-1937) med tidig utrustning. Till vänster, med metallkulor i ändarna, syns det som närmast utgör det oscillerande ledarstycket i figur 1.8, som Marconi emellertid anslöt vidare till jord och en antenn för att få ökad räckvidd. I mitten sitter två andra kulor med ett gnistgap emellan. Lådan till höger innehåller batteri och en induktionsapparat. Utrustningen råkade ut för att bli demolerad i tullen när Marconi 1896 kom till England för att fortsätta där; de italienska myndigheterna hade nämligen visat sig helt ointresserade. Anledningen till misstänksamheten var ett antal anarkistiska bombdåd i England strax innan, men sedan man fått klart för sig att den desarmerade tingesten inte var någon bomb blev mottagandet desto hjärtligare. För sina insatser belönades Marconi med Nobelpriset i fysik 1909.

Figur 1.11 Mottagningsstationen på Signal Hill i St John's på Newfoundland. Antennen hölls upp av drake. För kommunikationen med England utnyttjade Marconi kabelbolaget, som inte räknade med att han skulle lyckas. Man trodde t.ex. inte att signalerna skulle följa jordytan. När det trots allt gick bra försökte bolaget stämma Marconi och hävda monopol på de transatlantiska förbindelserna.



Figur 1.12 Radiovågors utbredning. (Ur Dunning och Paxton: Matter, energy and Radiation, McGraw-Hill.) Röntgen- och UV-strålning från solen joniserar atmosfärens övre delar och bildar de s.k. D-, E- och F-skikten, med det senare längst ned. Joniseringen gör att radiovågor kan reflekteras som i en spegel och gör på så sätt radiokommunikation långt bortom horisonten möjlig.

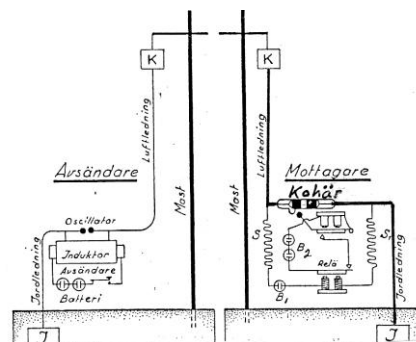


Vågor av lägre frekvens reflekteras av D-skiktet. Jorden reflekterar också, särskilt saltvatten, så att den elektromagnetiska strålningen kan gå runt vår planet som ljus i en ljusledare. På kortvåg är de övre skikten viktiga, men över omkring 30 MHz sker i stort sett ingen reflexion, vilket gör att TV-sändningar och de på radiens FM-band i likhet med Chappes telegraf begränsas av den optiska sikten.

Figur 1.12 klargör hur det kom sig att Marconi lyckades. De övre, joniserade delarna av jordatmosfären är *jonosfären*, som spelar en avgörande roll för radiokommunikationen. Förhållandena varierar, särskilt på hög höjd, både med tiden på dygnet och med den 11-åriga solfläckscykeln.

Låt oss också se på hur man ordnade mottagningen! I figur 1.13 visas sändaren med sin antenn till vänster och mottagaren till höger. När vågorna träffar mottagarantennen induceras en spänning i den och en ström börjar gå genom antennkretsen (ritad tjock) till jord, via en *kohär*. Kohären är ett litet rör som fyllts med pulver av järn eller nickel. Pulvret har egenskapen att ha ganska stor resistans i opåverkat tillstånd, men "klibbar" samman när antennströmmen går genom. Resistansen blir då så liten att batteriet B_1 förmår föra ström via kohären, spolarna S och S_1 och reläet. Reläet drar och batteriet B_2 för ström genom den ringklocksliknande anordningen ovanför reläet. Denna knackar på kohären så att kornen skakas om och kohären är åter redo. Klockan ringer dessutom och talar om att signaler tas emot.

Figur 1.13 Tidig sändare och mottagare. Med kohären, som uppfanns av fransmannen Branly, fick man en känslig detektor eftersom den ström som behövs för att få den att reagera är liten. Man lägger märke till att ingen som helst förstärkning av den inkommande signalen sker; det blev möjligt först med radorören några år in på 1900-talet.

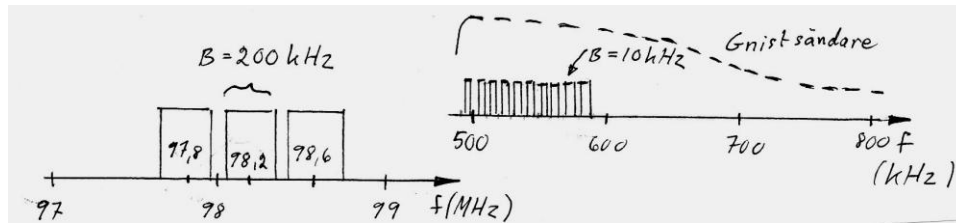


Bandbredd

Det var inte möjligt att sända tal och musik med gnistsändare som denna, som uteslutande användes för telegrafi. Deras stora nackdel var dock inte det, utan deras *bandbredd*. Vi förklarar med ett par moderna exempel.

När man går över FM-bandet på en radio kommer stationerna in efter hand så att bara en hörs åt gången som figur 1.14 illustrerar. Var och en av stationerna tar upp ett litet område på frekvensskalan. En sändare på 97,8 MHz

behöver området ca 97,7 till 97,9 MHz, vilket gör att bandbredden är 0,2 MHz eller 200 kHz.



Figur 1.14 Bandbredd. Till vänster stationer på FM-bandet. Var och en tar upp ett frekvensområde på ca 0,2 MHz, innanför vilket inga andra sändare i närheten får ligga. Mottagaren måste vara sådan att den täcker en station, inte mer, eftersom annars minst två stationer kommer att höras åt gången.

Till höger en del av mellanvågsspektrum kring 500 kHz, där varje rundradiostation tar upp bandbredden 10 kHz. Den streckade kurvan visar grovt det mycket breda spektrumet för en typisk gnistsändare som är gjord för 500 kHz.

På mellanvåg har rundradiostationerna bandbredden 10 kHz, varför stationerna där ligger mycket tätare än på FM-bandet. Men gnistsändarnas pulser med dämpade svängningar gör deras bandbredd mycket större, så att en som är konstruerad för 500 kHz täcker en stor del av bandet. Om flera sändare opererar där kommer de därför oundvikligen att störa varandra och ”starkast vinner” blir regeln. Sverige byggde en mycket kraftig gnistsändare i Karlsborg, som togs i drift 1918. Dess effekt var 80 kW. Sändaren var avsedd för kommunikation med USA, men visade sig för svag för det. Den hördes desto bättre på närmare håll och fick namnet ”Europas väckarklocka” eftersom den kunde väcka varje radiooperatör som hade radion på.



Figur 1.15 Radiohytten på ett skepp på 1910-talet. Under de båda isolatorerna står gnistinduktorn med gnistgapet på hållare. Till vänster mottagaren.

SÄNDAREN SAQ

2.1 Varför och varför i Grimeton?

Långvågssändaren i Grimeton, med den internationella anropssignalen SAQ, kom till efter Första Världskriget. Snart efter dess utbrott klipptes undervattenskablarna av och våra förbindelser med andra kontinenter försvårades. Efter kriget öppnades visserligen kabelförbindelserna igen, men Sverige skulle då som tidigare vara beroende av dem som ägde kablarna, en situation man ville undvika. För andra länder var situationen likartad.

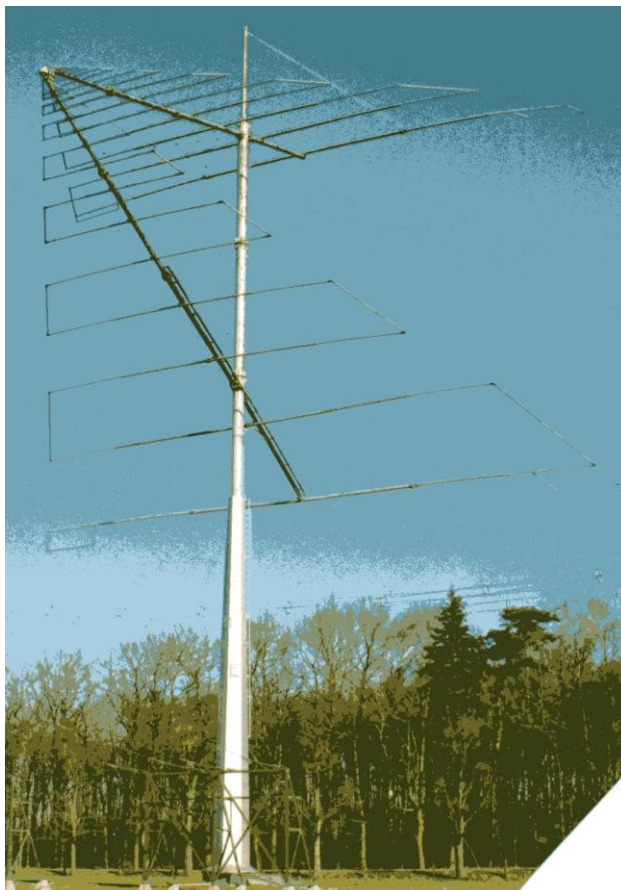
Som vi sett var starka gnistsändare inget alternativ eftersom de störde ut annan trafik. Radiorör (transistorns föregångare) fanns sedan 1906 och hade utvecklats både för mottagare och sändare, men kunde inte hantera den effekt som krävdes för Atlantförbindelser. Så vad fanns för alternativ?

En möjlighet vore att använda generatorer av den sort som utnyttjades för att alstra växelströmström till elnäten. De lämnar den vanliga nätfrekvensen 50 Hz vid typiska varvtal på några hundra varv/minut. För att se vad en sådan frekvens betyder i radiosammanhang tar vi en till på figur 2.1, som visar en av kortvågsantennerna på anläggningen i Grimeton.

Figur 2.1 En kortvågsantenn i Grimeton.

Det är huvudsakligen de horisontella delarna som sänder ut strålning. Genom deras olika längd fungerar antennen i ett stort våglängdsområde och sägs vara *bredbandig*.

Antennen sänder inte ut radiovågor lika åt alla håll, utan företrädesvis i riktning åt spetsen till. Den har därför *riktverkan* och är lämpig för kommunikation med bestämda mål. Det spar energi och minskar störningar. Masten är vridbar.

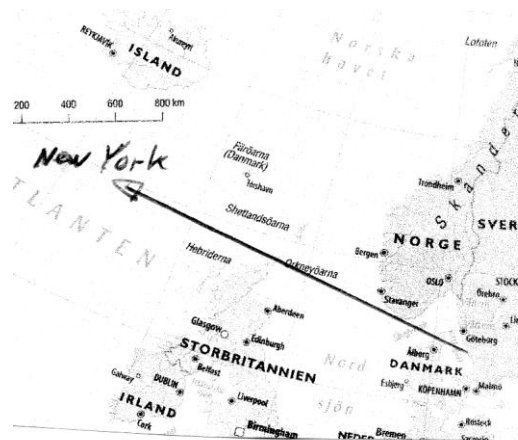


Antennen arbetar på den övre delen av kortvågsområdet, 10-30 MHz, d.v.s. på våglängder mellan 30 och 10 meter. (Se formel (1.1) på sida 8.) De horisontella delarna är de som avger strålning och har längder som är ungefär hälften av våglängderna. Det är typiskt för antenner, som helst ska ha en längd på halva radiovåglängden för att bli bra. Antenner för FM-bandet på våglängder kring 3 meter kan således vara 1,5 meter långa. En fjärdedels våglängd är också vanligt, men med mindre antenner försämras oundvikligen verkningsgraden. Det betyder att en allt mindre del av effekten från sändaren skickas ut som elektromagnetisk strålning och att allt mer blir till värme i antensystemet (eldning för kråkor, således, och om antennen är jordad även för maskar m.fl.).

Vi räknar ut våglängden för radiovågor av frekvensen 50 Hz med hjälp av (1.1), får 6 miljoner meter eller 6000 kilometer och inser att inte ens en kvarts våglängd lång antenn är att tänka på i det fallet! (Att antennen måste vara vertikal gör inte saken bättre...)

Upp mot 10 kHz är en kvarts våglängd fortfarande mycket, men med tekniskt rimliga antennstorlekar börjar verkningsgraden ändå bli acceptabel. Då kommer problem med generatorns varvtal eftersom växelströmgeneratorers frekvens är direkt proportionell mot varvtalet. Därför måste en vanlig 50 Hz-generator som i stället ska lämna 10 kHz varvas upp $10000/50 = 200$ gånger. Med all säkerhet går något sönder långt innan dess.

Figur 2.2 Grimeton. Längs en sträcka på ca 10 mil längs Hallandskusten kan en rät linje dras till New York enbart över vatten. Det är viktigt eftersom frånvaron av land i vågornas väg håller dämpningen nere. Terrängen och de goda kommunikationerna gjorde att det blev Grimeton som valdes ut. Byn ligger 10 kilometer inåt landet från Varberg, ett avstånd stort nog att hindra dåtidens skepp från att nå anläggningen med sina kanoner. Från E4:an söder om Varberg syns de sex antenn torn tydligt.



Den kanadensiske uppfinnaren och radiopinojären Reginald Fessenden hade emellertid med speciella metoder lyckats konstruera en generator för så höga frekvenser som 50-100 kHz. På Julafton 1906 gjorde han med en sådan en historisk utsändning som hördes på USA:s östkust, där fartygstelegrafister som inte väntade sig annat än morsesignaler fick svårt att tro sina öron. Fessenden hade nämligen lyckats överföra talat ljud med sin generator och sände ett julbudskap, ackompanjerat av sång och fiölsolo. Det var den första utsändningen med tal. En lyssnarkommentar var: "Hade andevärlden plötsligt fått talets gåva kunde det inte ha varit mer häpnadsväckande."

Sedan hundraårsjubileet 2006 görs varje Julaftons förmiddag en speciell utsändning med den gamla sändaren i Grimeton, som är byggd enligt Fes-

sendens princip. Även nu kommer lyssnarrapporter in, en fransk från 2007 löd: ”Many thanks for keeping alive such a great transmitter!”

Fessenden var anställd vid det amerikanska företaget General Electrics, där också den svenske civilingenjören Ernst Alexandersson arbetade. Alexandersson blev den som ansvarade för bygget av en generator som skulle vara stark nog för långdistanskommunikation, vilket var hundra gånger mer än Fessendens ursprungliga generator på någon kilowatt. Den stora effekten begränsade frekvensen till 20 kHz och trafiksättet till morsesignalering.

Figur 2.3 Ernst Alexandersson (1878-1975).

Alexandersson föddes i Uppsala och studerade vid Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm och sedan vid Technische Hochschule i Berlin. Han emigrerade sedan till USA och blev kvar där.

Ernst Alexandersson var aktiv med radio, television, elmaskiner, robotteknik m.m. och hade vid sin död vid 97 års ålder 345 patent. Han finns med i National Inventors Hall of Fame på Smithsonian Institute i New York. Bilden är hämtad ur en broschyr från General Electric, där det påpekas att antalet patent motsvarar ett var sjunde vecka i 46 år.



Vämföreningen som bidrar till att hålla Grimetonanläggningen i stånd, guida m.m. har efter konstruktören tagit namnet *Alexander*. Söndagen närmast den 1. juli firas Alexanderdagen med start av sändaren och många andra arrangemang för allmänheten.

Generatoranläggningar med ”Alexanderssonalternatorer” ingick i ett system som byggdes upp världen runt på 1920-talet, med centrum på Long Island i New York och stationer i Sverige, Polen, England, USA, även på Hawaii, och flera andra platser. För Sveriges del valdes Grimeton som ligger på de tio mils Hallandskust längs vilken signalerna kan nå New York helt över vatten. Det var viktigt eftersom – se figur 1.12 - det ledande saltvattnet reflekterar signalerna bra. Över land dämpas de betydligt mer.

Riksdagen klubbade beslutet 1920 och anslog 4,85 miljoner kronor (en summa som underskreds). Därefter vidtog bl.a. förhandlingar med traktens bönder för inköp av mark, ett inte enkelt företag trots, men i viss mån på grund av det mycket gästfria mottagandet på alla gårdar. Så småningom kunde saken ordnas upp till allmän belåtenhet, men viss misstänksamhet mot den moderna tingesten fanns: Skulle männe korna börja mjölka sämre och de förmodade blixterna från antennen vara farliga för folk och få?

2.2 Sändaren

Figur 2.4 Antennanläggningen.

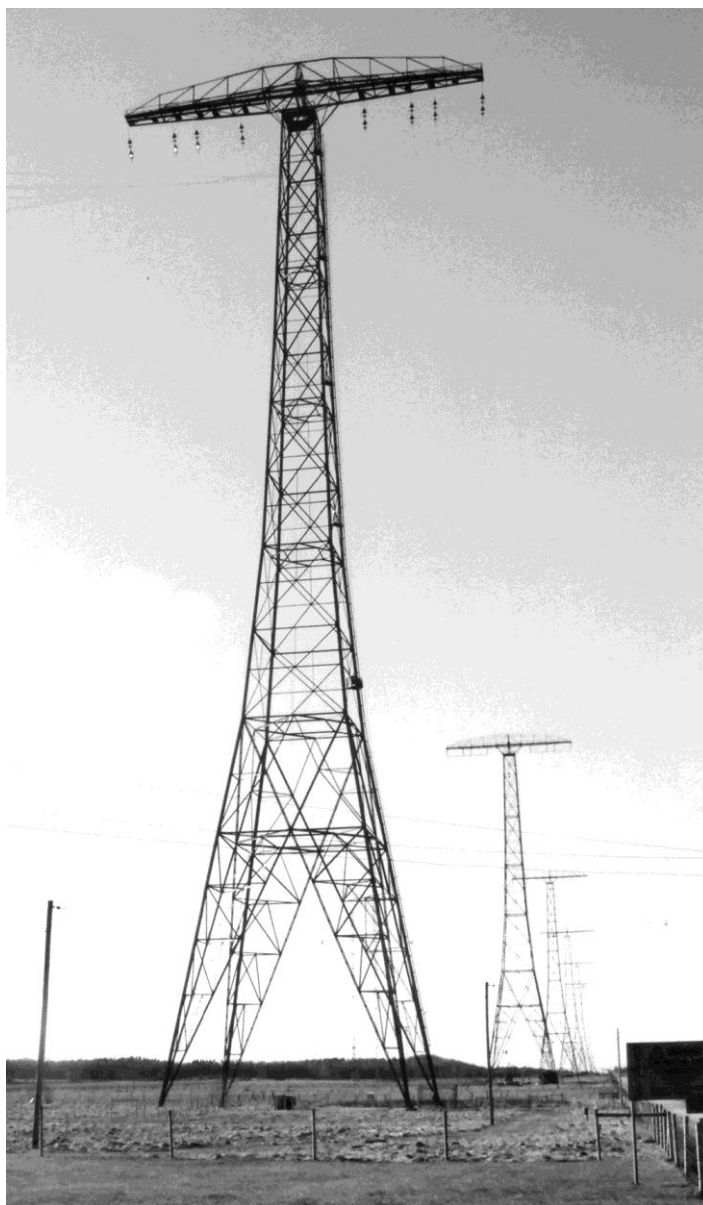
De sex tornen står på rad, 380 meter från varandra. De är 127 meter höga och har 46 meter breda tvärbalkar som bär upp de "linor" som för ut strömmen. Åtta isolatorer för ändamålet syns uppe i det närmaste tornet.

Man åker upp och ned i en ganska öppen hiss som har manöverutrustning vid mastfötterna. (Möjlighet att gå finns också.)

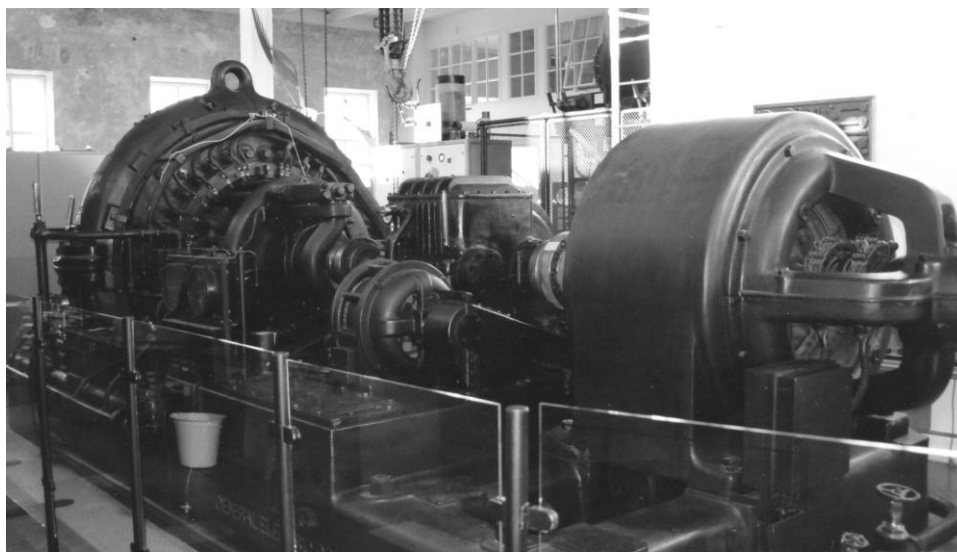
Ett tillbud har inträffat under åren, men utan allvarliga skador.

Till höger skymtar en väg ut längs tornen. Där kördes den Chevrolet från 1929 som fortfarande står kvar i ett garage på stationen. Den är, liksom anläggningen i övrigt, i bästa, funktionsdugligt skick.

Trästolpen till vänster är en av många som håller upp de ledare som i flera punkter ansluter en av de utgående antennledningarna till jordnätet. Jordnätet, en viktig del av antensystemet, är ett omfattande nät av koppartråd, nedgrävt i området under och omkring tornen.



Nästa sida visar överst det 50 ton tunga sändaraggregatet. Det styrs av ett hjälpsystem med manövertavla som syns på undre bilden. Hjälpsystemet innefattar bland annat vattenpumpar som kyler generatoren, luftfläktar som blåser ut ljusbågar i kontaktorer som annars skulle smälta, motordrivna generatorer för olika hjälpspänningar och utrustning för varvtalsreglering och telegrafering, inklusive stora vätskemotstånd.



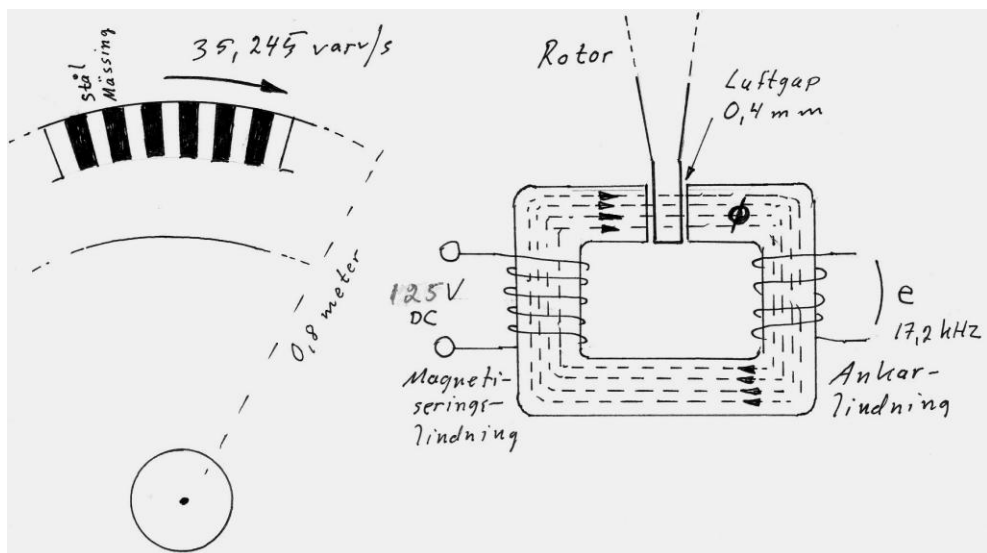
Figur 2.5 Sändaraggregatet och hjälpsystemet. Överst till höger motorn, till vänster generatort, den senare med diametern två meter. Mellan dem skymtar växellådan längst bak och framför den motorn till en smörjoljepump. Motorn som driver generatort är för spänningen 2 kV och får ström från en transformatoranläggning i ett separat hus. Den är i sin tur ansluten till ett ställverk och en 50 kV kraftledning.

För att inte förlora oss i detaljer nöjer vi oss med en översiktlig bild av sändaraggregatet i stort, men tar en närmare titt på den kritiska delen, generatorm, ”alternatorn”, som ju alstrar växelström, *alternating current*.

Alla elgeneratorer bygger på principen att variabla magnetiska flöden ger upphov till elektriska fält – se också sida 8 - och därför inducerar spänning i ledare. Förhållandet brukar uttryckas med *induktionslagen*

$$e = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.1)$$

där e är den inducerade spänningen, N antalet varv som omsluter flödet Φ och $d\Phi/dt$ flödets tidsderivata. Vi kommer att utnyttja lagen också i samband med mottagarens antenn.

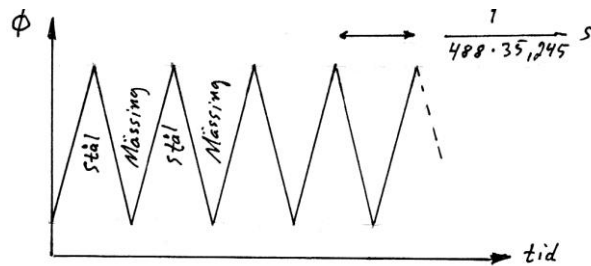


Figur 2.6 Generators konstruktion. Till vänster en del av rotorn, till höger rotor och magnet från sidan. Mässingen mellan tänderna gör periferin jämnare och minskar därför luftmotståndet. De 64 ankarlindningarna lämnar alla spänningen 100 V (effektivvärde) och strömmen ca 30 A vid full effekt. 63 av dem har parallellkopplats så att de tillsammans lämnar 100 V vid strömmen $30 \cdot 63 \text{ A} \approx 1900 \text{ A}$. Det ger uteffekten $(100 \text{ V}) \cdot (1900 \text{ A}) \approx 200 \text{ kW}$.

Generators rotor är en stålskiva, 1,6 meter i diameter, som drivs av motorn via en växellåda. Längs skivans periferi är tänder utfrästa och mellanrummen har fyllts med mässing. Rotorns periferi omges av 64 magneter, varav en är utritad till höger i figur 2.6. Dess vänstra lindning är en *magnetiseringslindning* som matas med 125 volt likström från en av hjälpsystemets generatorer. Strömmen genom lindningen ger upphov till ett flöde Φ genom magneten, ett flöde som passerar rotorns periferi.

Järn leder magnetiskt flöde bra, men mässing hindrar flödet, liksom nästan alla andra material. När därför järn befinner sig mellan magnetpolerna är flödet som störst, men när mässing kommer mellan minskar det. Figur 2.7 visar flödet schematiskt.

Figur 2.7 Det magnetiska flödet genom magnet och rotorperiferi. Övergångarna mellan järn och mässing sker gradvis och vi antar att det får flödet att variera med rätlinjiga övergångar.



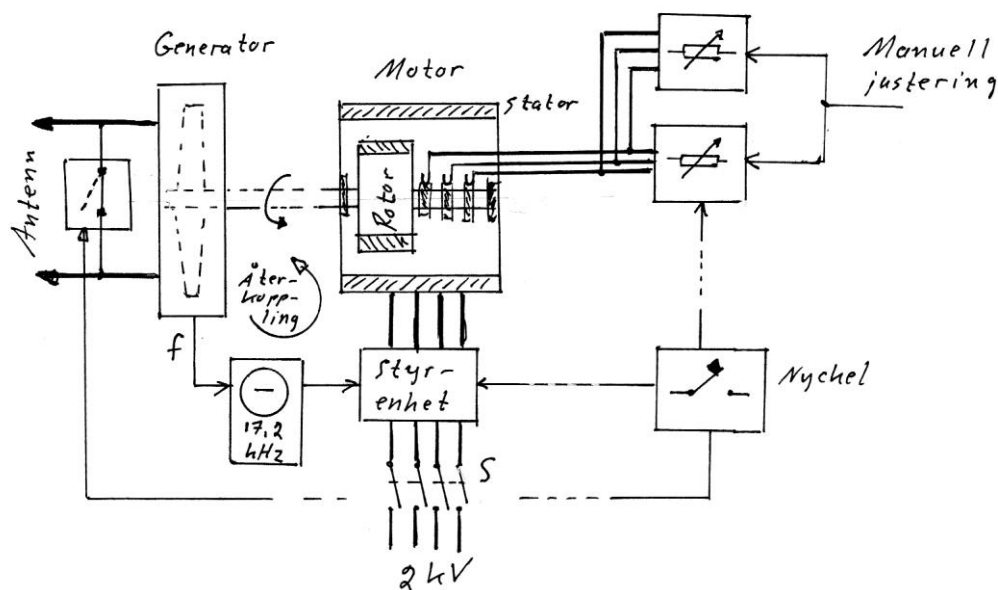
Det varierande flödet går genom *ankarlindningen* till höger och inducerar där spänningen e enligt induktionslagen. Antalet lindningvarv i ankarlindningen bortser vi från (fyra visas godtyckligt), men e :s principiella utseende bestäms av $d\Phi/dt$. Figur 2.7 visar Φ som funktion av tiden; vi överlämnar åt läsaren att derivera med hjälp av grafen.

Rotorn har 488 tänder med lika många mellanrum. Under ett varv genomlöper flödet därför 488 hela perioder. Men rotorn går runt med 35,245 varv per sekund, vilket ger $488 \cdot 35,245$ perioder per sekund eller 17200 per sekund. Detta blir också den alstrade växelspanningens frekvens, 17,2 kHz. Vi räknar om varvtalet till varv per minut och får $35,245 \cdot 60 \text{ rpm} = 2114,7 \text{ rpm}$ ("revolutions per minute").

För mottagningens skull är det viktigt att sändarens frekvens inte avviker mycket från 17,2 kHz, helst inte mer än 10 Hz. $10/17200 \approx 0,0006$. Det har framgått att varvtalet direkt bestämmer frekvensen, så det får inte avvika med än 0,6 promille från 2114,7 rpm. (Växellådan gör att motorvarvtalet är ca 1/3 av detta, drygt 710 rpm.)

Det är omöjligt att konstruera moton så att den själv alltid håller varvtalet inom 0,6 promille. Nätspänningen, som påverkar varvtalet, kan t.ex. variera betydligt mer än så. Vi kan också påminna oss erfarenheter med borrar-maskiner. Man startar maskinen som direkt varvar upp, men så snart den belastas, d.v.s. man sätter igång att borra, går varvtalet ned. Dammsugare uppför sig på liknande sätt. Motsvarande problem i vårt fall är att generatoren ska lämna full uteffekt, 200 kW, under morsetecknen, men helst ingenting däremellan, då sändaren ska vara "tyst".

Figur 2.8 visar hur varvvalsregleringen går till. Vi utgår från motorn, som driver generatoren till vänster. Motorn har en *statorlindning*, avsedd för spänningen 2 kV. Den matas med fyra kablar via en styrenhet. Även rotorn har en lindning. Den har tre uttag som är anslutna till var sin släpring på rotoraxeln. *Borstar* ligger an mot släpringarna och ansluter så rotorn till de båda vätskemotstånden. De påverkar strömmen i rotorlindningen och därmed motorns varvtal. (Motorn är en s.k. asynkronmotor, en mycket vanlig motortyp. Borstar kan vara av brons, men är ofta kol som trycks mot släpringarna med fjädrar. I handborrmaskiner finns sådana kol och i en sliten maskin kan man se gnistbildning mellan kol och underlag.)

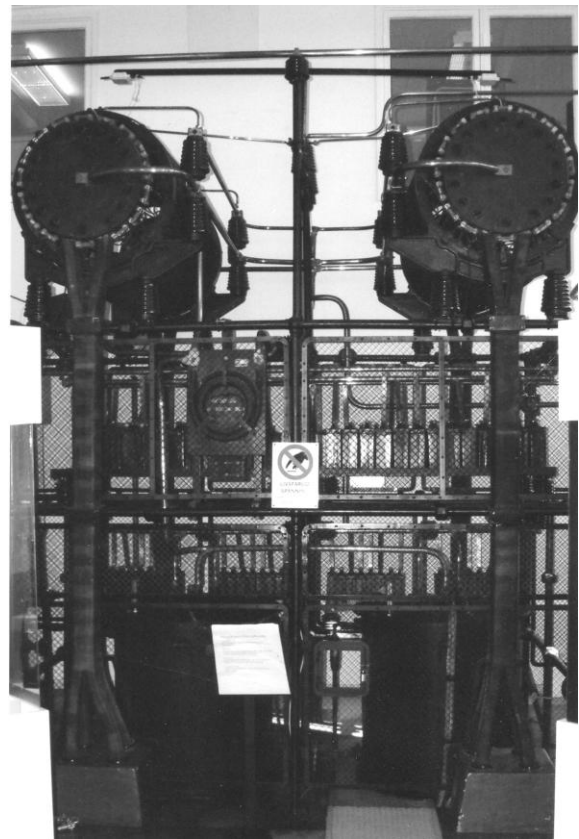
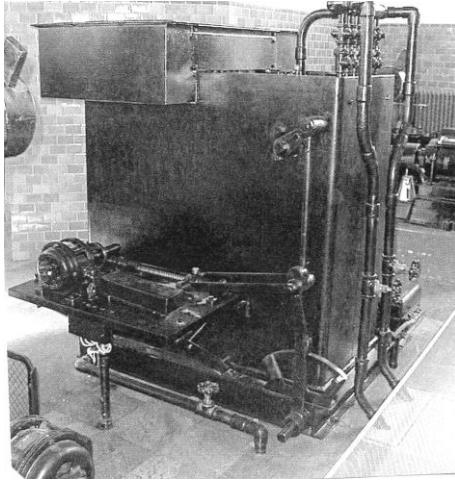


Figur 2.8 Hur motorn styrs. I blockschemat är elkablar med stor ström ritade feta. Kablar för styrning kan ha många ingående ledare, men har ritats enkla för åskådliggets skull. Till jämföraren kommer en kabel från en av generatorns ankarlindningar. Dess frekvens f jämförs med 17,2 kHz - principiellt bildas skillnaden - och en signal skickas till motorns styr-enhet som ökar varvtalet om $f < 17,2$ kHz och minskar det om $f > 17,2$ kHz. Vätskemotståndnen är manhöga kärl med sodalut som fungerar som resistor och vars vätskenivå bestämmer resistansen. Styrenheten tar emot 2 kV utifrån, men kan ta ned spänningen och strömmen till motorn med hjälp av de båda styrsignalerna

Motorn startas genom att strömställaren S slås till. (Det sker med en stor spak på manöverpanelen.) Motorn varvar då sakta upp och man justerar vätskemotståndnen tills varvtalet kommer nära 710 rpm. Nu kan den automatiska hastighetsregleringen börja verka genom att jämföraren skickar en signal till styrenheten, som ökar varvtalet om det är för litet och vice versa. Att varvtalet kopplas tillbaka till en enhet som i sin tur påverkar det är ett exempel på återkoppling. Antennen är ännu inte inkopplad så generatorn är obelastad och drar alltså bara lite effekt.

Sedan kopplas antennen in med en stor knivströmställare och telegrafnyckeln trycks ned. Generatorn ska nu lämna full effekt och behöver större ström, vilket ordnas genom att nyckeln får påverka både styrenheten och ett av vätskemotståndnen. Då kan man tänka sig att motorn varvar ned, men den automatiska hastighetstegleringen håller varvtalet i stort sett oförändrat.

Även med telegrafnyckeln uppe är det oundvikligt att generatorn lämnar ström till antennen trots att sändaren då ska vara tyst. Den tredje styrsignalen från nyckeln ordnar detta genom att hålla ledningen från generatorn till antennen kortsluten medan nyckeln är uppe.



Figur 2.9 Detaljer från stationen.

(Foto: författaren, liksom övriga foton i kapitlet.)

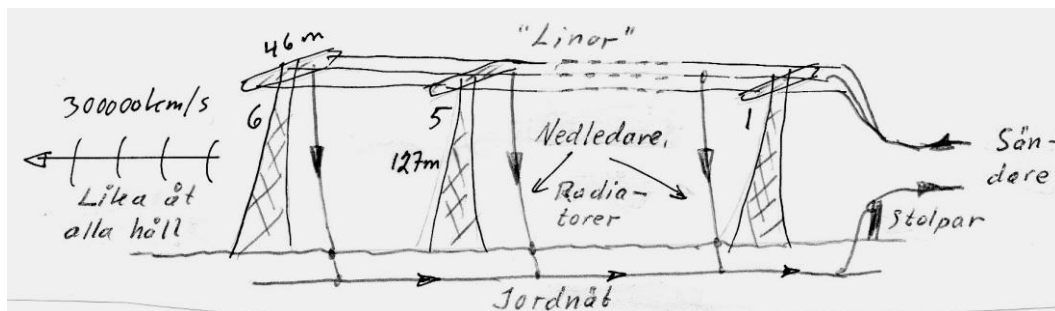
Överst ett av vätskemotstånden. På kärlets hitsida ser man den motordrivna anordning som styr resistansen. Till höger rör för kylvatten. I bakgrunden skymtar kylvattenpumpen som kyler bl.a. vätskemotstånden och generatorm. Vattnet leds ut till en bassäng, där det kyls av och leds in igen.

Till höger, underst på bilden, kärl med kretsarna som kortsluter generatorutgången mellan tecknen. Överst en transformator som ökar spänningen från generatorns 100 V till 2000 V. Strömmen till antennen minskar i samma mån, från 2000 A till 100 A vid full effekt.

Antennsystemet

Från generatorm tas strömmen till antennsystemet via kopplingsanordningen i figur 2.9. Spänningen har nu ökat till 2000 V vid full effekt, frekvens 17,2 kHz. Två ledningar går ut, varav den ena är jordledningen. Den är upphängd i trästolpar och i flera punkter ansluten till jordnätet.

Ledningen som ska upp i antennen går via en stor spole och fördelas efter den på ”linorna” som figur 2.10 visar.



Figur 2.10 Antennsystemet. De överliggande ledningarna, "linorna", strålar inte, utan har till uppgift att föra ut ström till nedledarna. Tornen står i linje på en drygt två kilometer lång sträcka. Att sträckan är mycket mindre än våglängden gör att praktiskt taget inga interferensfenomen uppträder, vilket gör antennen i stort sett rundstrålande utan nämnvärd riktverkan.

Linorna har som uppgift att mata *nedledarna*, de vertikala ledningar som är radiatorer, d.v.s. avger den elektromagnetiska strålningen. De ansluts till jordnätet så att man kan se linor, nedledare och jordnät som en sluten krets för antennströmmen. Hela systemet är i resonans på 17,2 kHz – se resonanget på sida 10 – vilket gör strömmarna i nedledarna så stora som möjligt.

Att nedledarna är vertikala gör den utsända strålningens magnetiska komponent horisontell (se sida 10) och den elektriska vertikal. Det är nödvändigt, eftersom vågor med magnetfältet vertikalt och det elektriska horisontellt snabbt skulle dämpas ut. Annars hade man kunnat göra antennen i sin helhet horisontell och sluppit bygga torn. Tornen ska därför helst inte vara för små i förhållande till våglängden, ett besvärligt kvav i det här fallet! Den nödvändiga kompromissen innebär att antennens verkningsgrad blir låg, ca 10 %, så att bara 20 kW av de 200 kW generatorn avger blir till elektromagnetisk strålning. Med bara ett torn med nedledare hade situationen varit än värre.

2.3 Då och nu

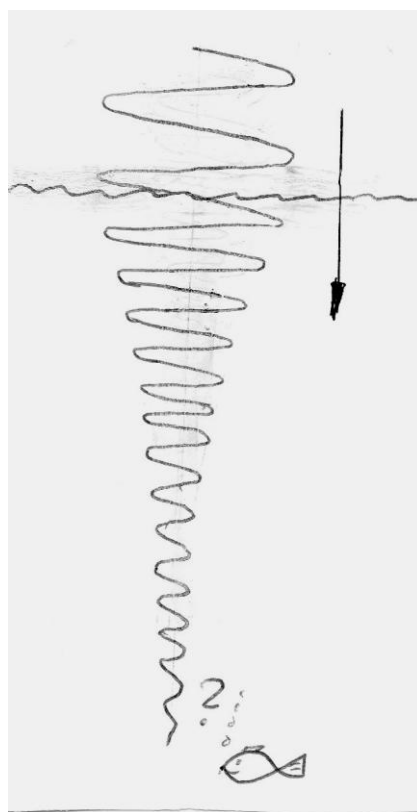
Telegramtrafiken med USA gick i båda riktningarna, varför en mottagarstation också fick byggas, men inte i Grimeton eftersom den starka sändaren skulle störa mottagningen. Den förlades i stället i Kungsbacka, några mil bort. För mottagning gick det bra med en horisontell antenn, som i det fallet var ett par mil lång och bars upp av telefonstolpar. Huset finns kvar, men används nu för andra ändamål.

Telegraferingen krävde ingen telegrafist på plats, utan styrdes per telelinje från radiocentralen i Göteborg, senare Stockholm. På radiostationen skrevs telegrammen ned på maskin, varefter de stansades på hålremсор i morsekod för linjen till Grimeton.

Bygget hade gått bra, ingen riktigt allvarlig olycka skedde, och så har det förblivit. En järnvägsstreck försenade bygget, men stationen kunde tas i drift 1924 och invigdes officiellt året därpå av kungen och med konstruktören, Ernst Alexandersson, som gäst. Blixtar från antennen uteblev och korna fortsatte obekymrat att mjölka bra. Annonser i lokaltidningen tillkännagav de tider då korna kunde få släppas ut på ”radiobetet”, där de fortfarande kan ses strosa omkring.

Med tanke på de starka elektriska och magnetiska fälten både i och utanför stationsbygganden kunde man vänta sig hälsoproblem bland personalen, av vilka många var anställda under årtionden. Men ingen sjuklighet som kan härledas till fälten har förekommit, utan de enda problemen är nedsatt hörsel p.g.a. det avsevärda oväsendet i sändarsalen då maskinen, ”den dånande kolossen”, var i gång.

Varför skrotades inte anläggningen redan på 1950-talet, sedan all telegramtrafik övertagits av andra media (under 70-talet också av satelliter)? Anledningen var först att Sverige inte blev medlem av NATO och därför behövde egna sändare för U-båtar i undervattensläge. En byggdes i Småland, men en för Västkusten behövdes också, och då kom Grimetons antenner väl till pass. Det beror på att radiovågor mycket snabbt dämpas ut i saltvatten utom på mycket låga frekvenser, för vilka antennen i Grimeton kom väl till pass. Marinen byggde alltså en modern sändare på området och använde de gamla antennerna, vilket fortfarande sker. På så vis når man ungefär tjugo meter under vattenytan.



Maskinen behövdes inte, varför det på 70-talet kom propåer om skrotning. Men radiointresserade påpekade det unika med anläggningen och fick i hög grad lokal uppbackning eftersom den under decennier varit en viktig angelägenhet i bygden. Så blev stationen Byggnadsminne 1996 och till sist, 2004, världsarv.

Nu ägs och drivs anläggningen av stiftelsen Världsarvet Grimeton. Ett besökscentrum med café har byggts och guidade turer anordnas. En vänförening, *Alexander*, med ordsbor och radiointresserade i hela landet, samarbetar. På dess hemsida www.alexander.n.se kan man se när sändningarna kommer, numera några gånger per år.

Så här kan en sändning låta nu för tiden:

Under startförloppet, då antennen trimmas in, sänds en serie V:
di-di-di-dah , di-di-di-dah , di-di-di-dah etc.

Den egentliga sändningen börjar ungefär så:
CQ CQ CQ DE SAQ SAQ , upprepat ett par gånger. CQ betyder att det är
ett allmänt anrop, DE betyder *från* och SAQ identifierar stationen.

Därpå följer det egentliga meddelandet.

Efter sändningarna brukar lyssnarrapporter strömma in till *Alexander* från
hela världen och belönas med QSL-kort som bekräftelse.

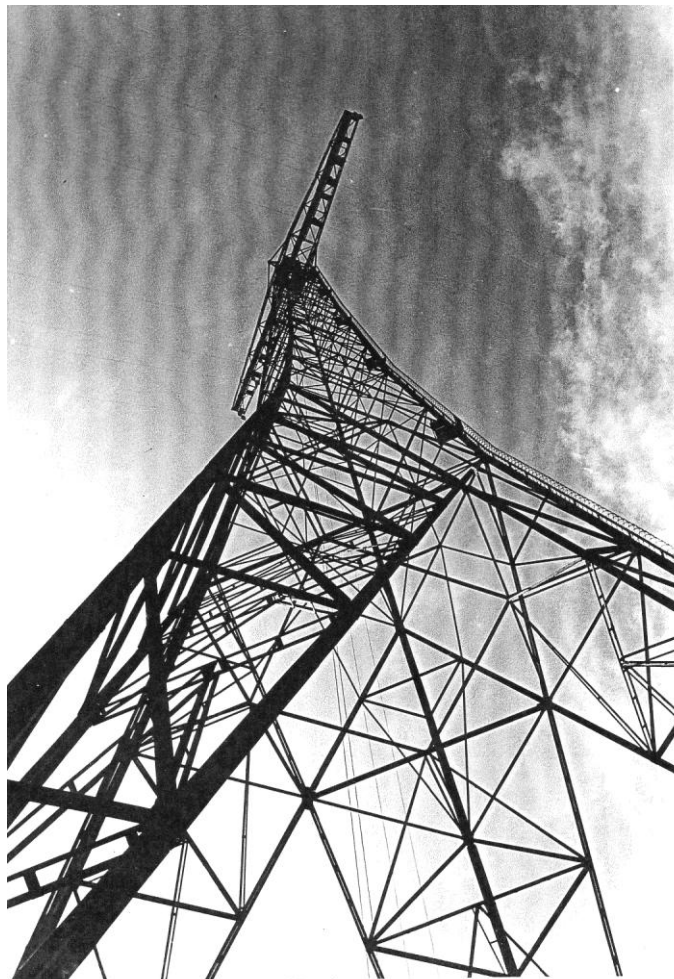


Foto: Bengt Dagås.

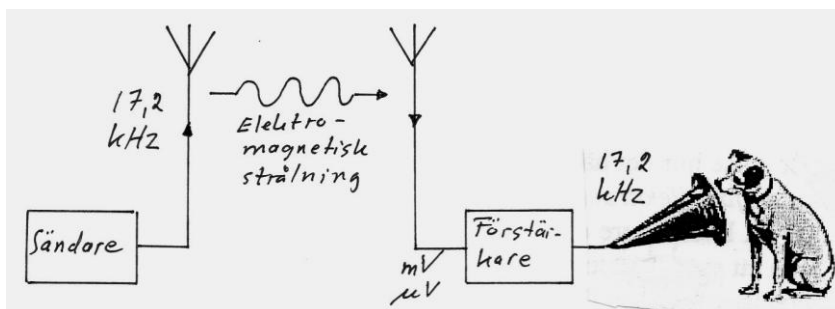
MOTTAGAREN

Med vanliga mottagare, till exempel s.k. världsmottagare, är det ibland möjligt att ta emot telegrafisignaler. De kan också tillåta mottagning ned till 100 eller kanske 30 kHz, men det utesluter mottagning av Grimetonsändaren, SAQ, på dess frekvens 17,2 kHz.

Å andra sidan är mottagare enklare att konstruera desto lägre frekvensen är, alldeles särskilt om man bara är intresserad av en enda frekvens. Att göra en bra mottagare för SAQ är därför inte svårt.

3.1 Mottagarens princip

Figur 3.1 visar en signals väg från sändare till mottagare. Ström och spänning i sändarantennen omvandlas till elektromagnetiska vågor, som åter blir till ström och spänning i mottagarens antenn. Den svaga spänning som antennen lämnar – av storleksordningen millivolt eller mikrovolt – måste förstärkas för att bli till någorlunda hörbart ljud. Förstärkaren lämnar ström till högtalaren, som gör ljudvågor av strömmen.



Figur 3.1 Sändare och möjlig mottagare. Mottagaren är en förstärkare, som kan vara en för gramfon eller CD. Ingångsspänningen förstärks till en spänning som kan bli flera volt till högtalaren. Ljudets frekvens är densamma som spänningens, vid mottagning av SAQ 17,2 kHz.

En avigsida är den högs ljudfrekvensen. En annan är att alla möjliga slags signaler kommer in till antennen, även störningar, t.ex. från atmosfäriska urladdningar. Eftersom inget hindrar de signalerna kan resultatet bli en kakafoni i högtalaren, ungefär som om alla FM-bandets stationer hördes samtidigt.

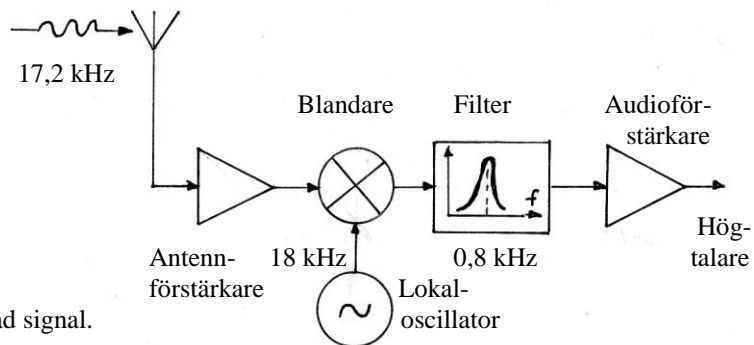
Eftersom frekvensen är densamma genom hela systemet lämnar högtalaren en ton på 17,2 kHz. Det är en mycket hög ton, på gränsen till vad en ung person kan höra och i de flesta fall för hög för äldre. I vilket fall som helst är människoörats känslighet låg vid så höga frekvenser och tonen allt annat än behaglig att lyssna till. Kanske en hund som övats i telegrafi skulle vara den bästa lyssnaren.

För att förstå hur problemet med den höga tonen kan lösas kommer vi ihåg experimentet med två stämgaflar på olika frekvenser, som slås an samtidigt. Båda tonerna hörs, men också en ton på skillnadsfrekvensen, *svävningen*.

I det fallet utgör öra och hjärna tillsammans en *blandare* som kombinerar två toner till en tredje, lägre. I vårt fall motsvaras den ena stämgaflan av SAQ på 17,2 kHz, den andra av en *lokaloscillator* som alstrar en ton på t.ex. 18 kHz. Kombineras de blir resultatet en svävning på skillnaden $(18-17,2)$ kHz = 0,8 kHz eller 800 Hz, en ton som örat är känsligt för och som är rätt behaglig att lyssna till. Som man lätt kontrollerar ger en ton från lokaloscillatorn på 16,4 kHz samma resultat.

Figur 3.2 Mottagarens princip.

Förstärkare ritas allmänt som en triangel. Blandaren är cirkeln med ett kryss i. Lokaloscillatorn är cirkeln med ett vågtecken eftersom den oftast avger en sinusformad signal.



Filtret är ett *bandpassfilter*, som bara släpper genom signaler kring frekvensen 0,8 kHz, den frekvens vi vill höra.

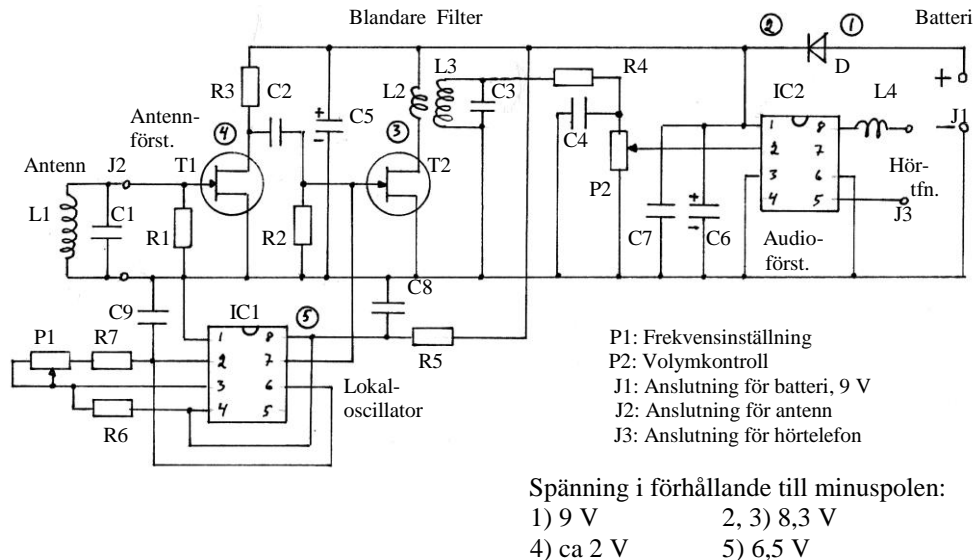
Figur 3.2 visar ett blockschema för en sådan mottagare. Spänningen från antennen förstärks i antennförstärkaren och går till blandaren, där en ton på skillnadsfrekvensen 0,8 kHz bildas. Via ett filter som släpper genom signaler just kring den frekvensen går 0,8 kHz-tonen till ljudförstärkaren, *audioförstärkaren*, som matar högtalaren.

Vi förstår filtrets funktion genom att se på en insignal som inte ligger på 17,2 kHz; låt oss ta 15 kHz. Med lokaloscillatorn inställd på 18 kHz blandas insignalen nu till $(18-15)$ kHz = 3 kHz. Men eftersom filtret bara släpper genom i ett smalt område kring 0,8 kHz kommer 3 kHz-signalen inte genom, d.v.s. stationen (eller störningen!) på 15 kHz hörs inte. Mottagares förmåga att skilja på stationer är deras *selektivitet*.

Tekniken att ta ned frekvensen med hjälp av en lokaloscillator ligger till grund för den moderna mottagartekniken. I FM-mottagare, där inkommande signalers frekvens ligger kring 100 MHz, blandas de ned till *mellanfrekvensen* 10,7 MHz. Lokaloscillatorer, även de i televisionsapparater, är principiellt små sändare som oundvikligen avger strålning till omgivningen. Den är inte stark, men fullt tillräcklig för TV-pejling, vilken den också används till. Mottagare med blandare kallas *superheterodyner*.

3.2 Mottagarens schema

Kopplingscheman blir lätt överskådliga på grund av resistorer som ska ge lagom strömmar och spänningar, kondensatorer som släpper genom växelström, men spärrar likström o.s.v. Andra komponenter är av mer principiell betydelse, och deras verkningsätt går vi genom här.



Figur 3.3 Mottagarens kopplingschema.

T1, T2	2SK170	C1	Se text
D	1N4001	C2, C9	1 nF
IC1	555 (timerkrets)	C3, C7, C8	1 μ F
IC2	TDA7052	C4	68 nF
R1	1 M Ω	C5, C6	220 μ F, elektrolyt
R2	15 k Ω	L1	Se text
R3, R6	1 k Ω	L2	20 varv, se text
R4	10 k Ω	L3	40 mH, 100 varv, se text
R5	270 Ω	L4	3 \acute{a} 4 varv på ferritpärla, material 3S1
R7	33 k Ω	L2 och L3	på samma toroidspolstomme, typ TN16/9,6/6,3, 3540 nH/varv ²
P1	10 k Ω (linjär)		
P2	10 k Ω (logaritmisk)		

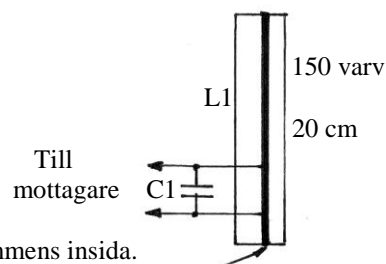
Antennkretsen L1-C1

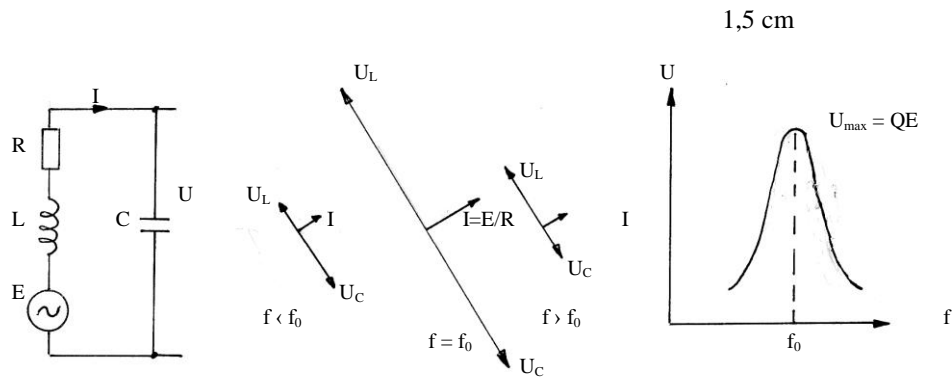
Spolen L1 fungerar som antenn genom att den inkommande elektromagnetiska vågens magnetiska komponent inducerar en spänning i den. Genom resonans på signalens frekvens ökas spänningen.

Figur 3.4 Antennkretsen.

Den kan utformas på många sätt. Här visas ett utförande med 150 varv koppartråd på en rund spolform med diametern 20 cm. Med lindningsbredden 1,5 cm blir kretsens resonansfrekvens ca 17,2 kHz då $C1 = 6,8$ nF.

Tråddiametern är inte kritisk och kan t.ex. vara 0,25 mm. Kondensatorn kan monteras på stommens insida.





Figur 3.5 Antennkretsen. Spänningen U är den som kommer in till transistoren T1. L är spolens induktans (L i schemat) och R trådens resistans. I R kan också värmeförluster i spolstommen ingå. Man får $U_{\max} = X_C I = E X_C / R = E X_L / R$. Spolens ”godhetstal” Q definieras $Q = X_L / R$, vilket ger $U_{\max} = Q E$. För arrangemanget i figur 3.4 är $Q \approx 20$.

Figur 3.5 visar hur antennkretsen fungerar som resonanskrets. Den inducerade spänningen är E . Vid låg frekvens, $f < f_0$, är spolens reaktans X_L liten och kondensatorns reaktans X_C stor. Eftersom samma ström I går genom båda är då kondensatorspänningen U_C större än spolens spänning U_L . Vid hög frekvens, $f > f_0$, är det tvärt om. U_L går 90° före strömmen och U_C 90° efter, vilket gör att de båda spänningarna är 180° ur fas och därför motverkar varandra.

Vid resonansfrekvensen f_0 är $X_L = X_C$ och därför $U_L = U_C$ (visardiagrammet i mitten). Men fasförskjutningen gör att spänningarna varje ögonblick motverkar varandra och tillsammans är noll. Strömmen ”märker” därför inte X_L och X_C , utan kretsens hela växelströmsmotstånd är R . Strömmen är då som störst och är $I = E / R$. Spänningen U över kondensatorn, som går in till transistor T1, är då också som störst.

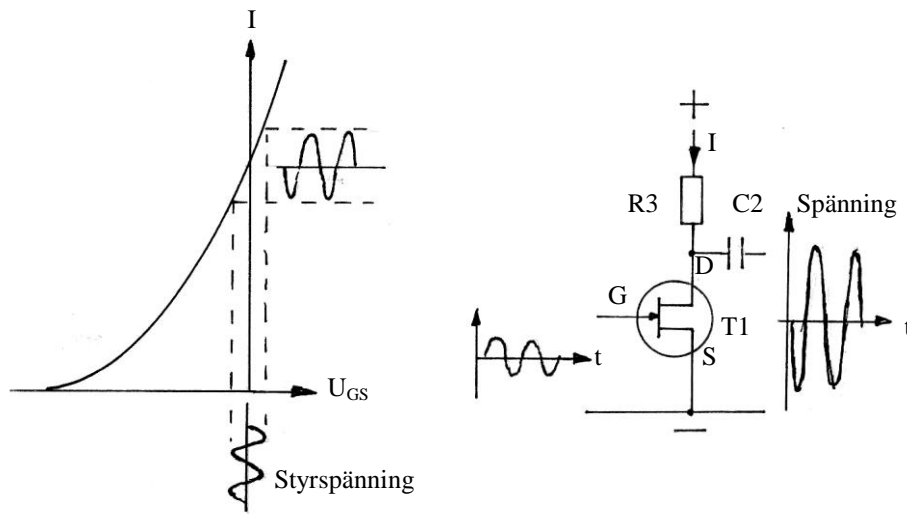
Resonanskretsen fungerar alltså som ett filter, ”bandpassfilter”, som förstärker signaler på resonansfrekvens mer än andra. Av resonansvillkoret $X_L = X_C$ får vi resonansformeln

$$f_0 = \frac{1}{4\pi^2 \sqrt{LC}} \quad (1)$$

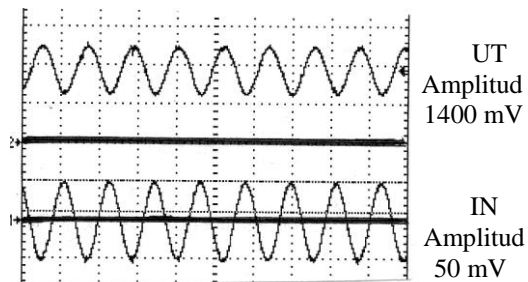
Antennförstärkaren

De båda transistorerna T1 och T2 är fälteffekttransistorer. I antennförstärkarens T1 går en ström I från plusledningen genom R_3 och T1 tillbaka till batteriet genom minusledningen. Den går in vid transistorens drain D och ut vid source S. Transistorn fungerar som en ventil, vars ström styrs av spänningen u_{GS} mellan styrelektroden G, gate, och S. Vänstra bilden i figur 3.6 visar strömmens beroende av styrspänningen; den sinusformade styr-

spänningen ger upphov till en sinusformad variation i I . Eftersom strömmen går genom drainresistorn $R3$ bildas där en likaledes sinusformad spänning, som i det här fallet är 30 gånger större än inspänningen, styrspänningen, som kommer från antennkretsen. Detta är antennförstärkarens förstärkning.



Figur 3.6 Antennförstärkaren. Styrspänningen, som kommer från antennkretsen, styr strömmen I genom transistorn. Lutningen hos kurvan i I/U_{GS} -diagrammet är transistorns branthet. När styrspänningen är noll går en likström genom transistorn, som ger upphov till en likspänningen över $R3$. Den kan emellertid inte föra någon ström vidare till $T2$ eftersom den efterföljande kondensatorn $C2$ spärrar likström.



Till höger en oscilloskopupptagning av förstärkarens inspänning och utspänning. Den senare, underst, har amplituden 50 mV. Utspänningens nollnivå en linje som är markerad med 2 till vänster. Medelvärdet är spänningen på $T1$'s drain och amplituden omkring detta är 1400 mV. Det ger förstärkningen $1400/50 = 28$, ovan avrundat till 30.

C2-R2

Ett problem med en känslig mottagare som denna är positiv återkoppling, s.k. rundgång. Här kan det inträffa att strömmen i hörtelefonen bildar ett magnetfält, som i sin tur inducerar en spänning i antennkretsen. Spänningen förstärks, först i $T1$, och kommer så småningom ut till hörtelefonen o.s.v., och rundgången är ett faktum. Eftersom ljudsignalen ligger på 0,8 kHz är det på den frekvensen rundgången kommer att ske. På sin väg genom mottagaren måste signalen emellertid passera kretsen $C2-R2$, som har egenskapen att släppa genom 17,2 kHz-signalen, men dämpa den på 0,8 kHz.

Växelströmmen från antennförstärkaren går genom $C2$ och sedan via $R2$ till minusledningen. I $R2$ bildar strömmen en spänning enligt Ohms lag, som är inspänning till nästa transistor, $T2$. Över ca 17 kHz är $C2$'s reaktans så liten

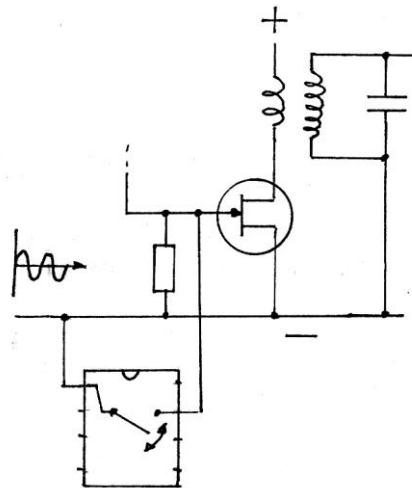
i förhållande till R2:s resistans att den inte spelar någon roll, men ned mot någon kHz är reaktansen så stor att strömmen minskar kraftigt och således också inspänningen till T2.

C2-R2 bildar därför ett högpasfilter, som släpper genom signaler vid hög frekvens, men hindrar dem vid lägre. I det här fallet är det utformat så att signaler på "rundgångsfrekvensen" 0,8 kHz dämpas kraftigt, medan signalen på 17,2 kHz släpps genom rätt odämpad.

Blandaren och 0,8 kHz-filtret

I blandaren kommer signalen från antennförstärkaren i på T2: gate. Frekvensblandningen ordnas så att gaten regelbundet kortsluts till minus med hjälp av lokaloscillatorn. På så vis hackas insignalen med en något högre eller mindre frekvens med resultatet att den resulterande kurvformen får långsamt varierande maxima och minima. Kurvan i figur 3.7 visar att den variationens frekvens är lika med skillnaden mellan signalfrekvensen och lokaloscillatorns "hackfrekvens".

Figur 3.7 Blandare och bandpassfilter. Gaten är kopplad till ben 7 på IC1, lokaloscillatorn. Inne i kretsen finns en switch, som kopplar ben 7 till minus via ben 1. Switchen är i verkligheten en transistor, som manövreras med lokaloscillatorns frekvens av andra delar av IC:n.

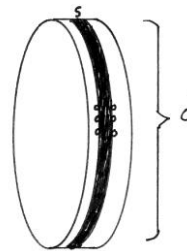


Antennspolen L_1 kan enkelt lindas på en rund stomme av papp. För sådana spolar kan man använda den vanliga induktansformeln

$$L = \frac{8,0 \cdot 10^{-5} d^2 N^2}{3d + 9s} \quad (3.2)$$

som ger induktansen i mH med d och s i centimeter. Obs: inte SI-enheter! N är antalet varv.

d är spolens diameter och s lindningsbredden. Man kan tillverka en praktisk stomme av en ca 5 cm lång bit gjutrör av papp, som brukar finnas på byggvaruhus. Standarddidmetern 20 cm kan vara lämpligt, vilket alltså ger $d = 20$ cm. Lindningsbredden kan väljas till $s = 1,5$ cm.



För resonans på 17,2 kHz och värdet på C_1 enligt ovan ska induktansen vara $L_1 = 20,5$ mH. Antalet varv N kan nu beräknas med (3.2)

Koppartråd med diametern 0,2 mm är lämpligt. Man behöver inte linda varv intill varv, utan gör det jämnt, utan att varven korsar varandra onödigt mycket. Om man inte lindar för stramt kan varven efteråt samlas ihop till bredden 1,5 cm, varefter spolen fixeras med tejp; eltejp är bra. För att fixera tråden i början och slutet kan man borra eller sticka två rader med vardera tre små hål på lindningsbredds från varandra som bilden visar.

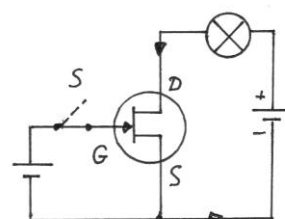
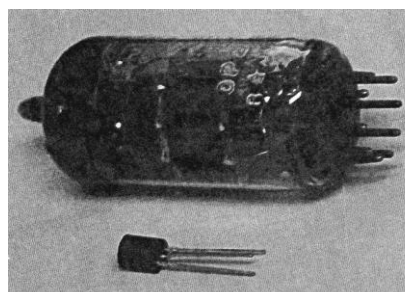
L_2 ska ge resonansfrekvensen 0,8 kHz med den parallellkopplade kondensatorn C_2 på 1 μ F. Dess induktans kan därmed beräknas med (3.1). Som stomme är en toroid av ferritmaterial bra och ger små dimensioner. Man kan välja materialet 3E25, storlek TN 16/9,6/6,3. Den har induktansfaktorn 3540 nH/varv², som bestämmer antalet varv för given induktans. (Några varv mer eller mindre spelar ingen roll.) Även här går det bra med 0,2 mm koppartråd, men tjockare kan lika väl användas.

L_3 lindas med 0,25 mm tråd på en s.k. ferritpärla, lämpligt material 3S1. Storleken är inte kritisk. Man försöker få genom så många varv det går, kanske tre.

Innan spolarna ansluts måste man avisolera och förtenna dess ändar. Den tunna tråd som används här är olämplig att skrapa av. Bättre är att låta lödkolven bränna av lackisoleringen i samband med förtenningen.

3.2 Transistorn

Den elektriska effekt som en mikrofon lämnar är någon milliwatt eller så, och kan behöva förstärkas tiotusentals gånger för att ge acceptabelt högtalarljud. Komponenten som möjliggör förstärkningen är *transistorn*, som uppfanns 1948. Den gjorde att små radiomottagare och hörapparater snart kunde konstrueras och har gjort dagens dator teknik möjlig. Figur 3.3 visar en transistor tillsammans med sin föregångare som förstärkarelement, radioröret.



Figur 3.3 Transistorn. Till vänster en transistor och ett radiorör, båda i naturlig storlek. Transistorer i integrerade kretsar kan vara många tusen gånger mindre. Cirkeln med kryss i symboliserar en glödlampa.

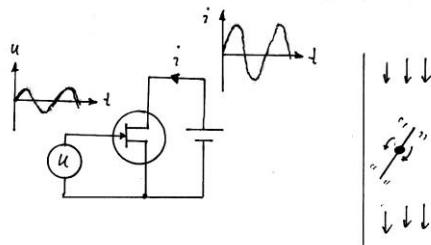
Numera finns två slags transistorer, av vilka *fälteffekttransistorn* (FET) passar bäst i vår mottagare. I högra figuren 3.3 ligger ett batteri i serie med en glödlampa och en del av transistoren med dess anslutningar till *drain* D och *source* S. Mellan drain och source finns en ledande kanal så att en sluten strömkrets, *drainkretsen*, bildas. Om kanalen är bred får transistoren lågt motstånd för strömmen och lampan lyser, men om kanalen blir smälare ökar motståndet och lampan lyser svagare eller släcks.

Kanalens bredd bestäms av spänningen mellan *gate* G och source. Man kan säga att anordningen liknar en rökgång med spjäll, där rökgången är kanalen mellan drain och source och spjället spänningen mellan gate och source. Liksom stora luftflöden kan styras med lätta rörelser på spjället kan man styra stora strömmar i drainkretsen med en liten spänning mellan gate och source.

Med strömställaren S är anordningen en *switch* som gör att lampan lyser då S är till och släcks då S bryts. Vitsen är att en liten strömställare kan användas för att styra en stor ström; så sker exempelvis då man med tryckströmställare startar stora maskiner.

Figur 3.4 Transistorn som växelströmsförstärkare.

Om växelspänningen u mellan gate och source är sinusformad är också strömmen i drainkretsen sinusformad (under vissa omständigheter).



En viktig sak med fälteffekttransistorn är att den ström som går in i gaten är mycket liten, mikroampere eller nanoampere. Den effekt som behövs för att styra strömmen i drainkretsen är därför liten, ofta försumbar.

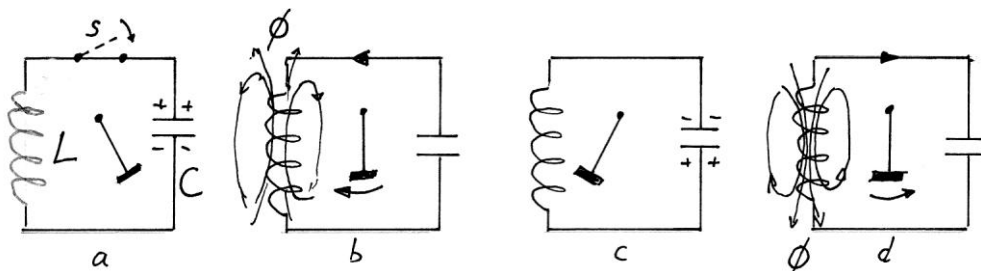
Normalt går en likström i drainkretsen även när $u = 0$ volt, men bara växelströmmen i drainkretsen visas i figuren ovan.

Figur 3.4 visar transistoren som växelströmsförstärkare, där en sinusformad gatespänningen styr en drainström som också är sinusformad. I den mekaniska liknelsen motsvarar växelspänningen att spjället skakas fram och tillbaka kring något jämviktsläge med resultatet att luftströmmen ökar och minskar i samma takt (och sot yr omkring).

3.3 Resonanskretsar

Resonanskretsar finns överallt, t.ex. i form av gungor. Man lyfter upp en sådan ett stycke och släpper den, varefter gungan svänger fram och tillbaka med en frekvens som bestäms av hur den är konstruerad. I sitt övre läge har den potentiell energi som övergår i rörelseenergi längst ned. För att jämföra med vår elektriska resonanskrets noterar vi att gungan faktiskt inte stannar så snart den potentiella energin helt övergått i rörelseenergi, utan av bara farten fortsätter uppåt åt andra hållet.

Den frekvens som gungan vill svänga med sedan den överlämnats åt sig själv är dess egensvängningsfrekvens eller *resonansfrekvens*. Om man fortsätter att putta på gungan med den frekvensen kan den göra stora utslag, men med fel frekvens blir rörelsen oregelbunden och liten.



Figur 3.5 Elektrisk resonanskrets. Spolen kan vara lindad på olika sätt, t.ex. på ett rör. Gungans potentiella energi motsvarar energin i kondensatorns elektriska fält och dess rörelseenergi den i spolens magnetfält. Resistansen i lindningstråden gör att energin avtar, på samma sätt som gungor saktar in till följd av luftmotstånd.

Den elektriska resonanskretsen i figur 3.5 har en spole L och en kondensator C . C är kondensatorns *kapacitans*, ett mått på dess förmåga att ta upp laddning. Spolen kan vara lindad med många varv koppartråd. När en ström går genom tråden bildas ett magnetfält i och kring spolen. Om man försöker minska strömmen på något sätt minskar också magnetfältet, men då bildas en flödesderivata $d\Phi/dt$, se sida 19. Den inducerar enligt induktionslagen en spänning i tråden, med sådan polaritet att den alltid vill förhindra strömändringen. Spolens egenskap att motsätta sig alla strömändringar gör att den sägs vara *strömtrög*.

Måttet på spolens strömtröghet är L , dess *induktans*, som mäts i enheten Henry, H. (Spolar kallas därför ofta kallas *induktorer*, men då avses bara dess induktiva egenskaper. Verkliga spolar har oundviklig resistans i tråden.) Spolarna i vår mottagares båda resonanskretsar har induktanser i mH-området.

Nu laddar vi kondensatorn, som figuren visar positiv överst och negativ underst (a). Strömställaren S sluts och en ström börjar gå genom spolen, men ökar bara sakta p.g.a. strömtrögheten. I b har kondensatorn urladdats helt, vilket visar sig sammanfalla med att strömmen är maximal. Spolens tröghet gör att stömmen fortsätter – av bara farten, kan man säga – och laddar upp kondensatorn med motsatt polaritet (c). Sedan fortsätter för-

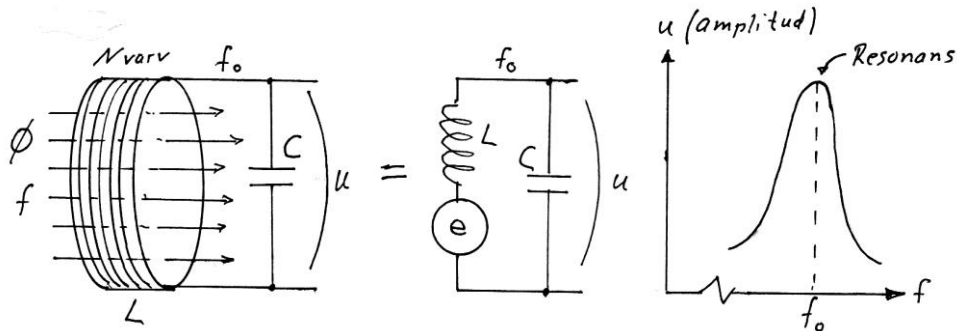
loppet med ström åt andra hållet o.s.v. Bilden visar gungans positioner som jämförelse.

Den elektriska kretsens resonansfrekvens beror på induktansen L och kapacitansen C . Formeln är

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.1)$$

där f_0 är resonansfrekvensen.

Man måste inte ladda kondensatorn som i figur 3.5 för att få resonanskretsen i svängning; figur 3.6 visar ett annat sätt. Spolen befinner sig i ett yttre magnetfält som åstadkommer ett flöde genom den. Om flödet varierar induceras en spänning i spolen enligt (2.1), sida 19. *Den utifrån inducerade spänningen fungerar som när gungan puttats och sätter kretsen i svängning.*



Figur 3.6 Resonanskrets med inducerad spänning. Det yttre magnetfältet har frekvensen f , som också den inducerade spänningen e får. e bildas i varv för varv, men det fungerar som om den i sin helhet ligger i serie med spolen.

Om den inducerade spänningens frekvens är lika med kretsens resonansfrekvens, $f = f_0$, bidrar spänningen ständigt till att förstärka svängningarna i kretsen. Då blir strömmen som störst och likaså kondensatorns spänning u . Den är en växelspanning och kan vid resonans bli mycket större än e .

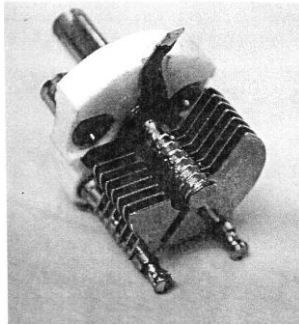
Kurvan i figuren är en *resonanskurva* och visar spänningen u för olika frekvenser. Den har maximum vid resonans, då $f = f_0$ och $u \gg e$.

Anta nu att det yttre magnetfältet är den magnetiska komponenten i den elektromagnetiska strålningen från SAQ. Φ :s frekvens är då $f = 17,2$ kHz och den inducerade spänningen e får samma frekvens. Om detta också är kretsens resonansfrekvens f_0 kommer den i resonans just på SAQ:s frekvens och u blir som störst, kanske 30 gånger större än e . En annan sändare, på en större eller mindre frekvens $f \neq f_0$, kommer att ge ett mindre u och därmed höras svagare (om den kommer in lika starkt).

Resonanskretsen fungerar alltså som ett *elektriskt filter* som kan skilja olika stationer åt. Eftersom den favoriserar frekvenser i ett band kring en viss frekvens (f_0), kallas den *bandpassfilter*. När du vrider på din radios stationsinställningsratt är det resonansfrekvensen hos en resonanskrets som ändras till att motsvara frekvensen hos den sändare du vill lyssna till och stänga ute andra. Det som ändras kan vara L eller C och är oftast den senare. Figur 3.7 visar en *vridkondensator*, vars kapacitans ändras genom att plattpaketen förskjuts i förhållande till varandra.

Figur 3.7 Vridkondensator.

Denna, i ungefär naturlig storlek, har maximala kapacitansen 50 pF. Den är förhållandevis dyr som komponent och ersätts ofta av dioder med kapacitiva egenskaper, s.k. *kapacitansdioder*.



Att enkelt testa mottagaren

Även om man varit noga kan det vara bra att testa kopplingen. För det börjar man med att dra ned P_2 maximalt moturs (svagaste ljud) och sedan koppla in batteriet. Sedan mäts spänningarna i de nio punkterna i förhållande till jord, batteriets minuspol. Värdena i punkterna 1, 2, 4, och 6 beror på batterispänningen, som för ett nytt batteri bör ligga kring 9 volt. (Mottagaren fungerar vid betydligt lägre spänning, men ett 9-voltsbatteri som gått ned till 8,6 volt eller så är i det närmaste uttjänt.)

Spänningen i punkt 2 kan mätas direkt på D_1 , men också på ben 1 på IC_2 . I det senare fallet måste man vara försiktig och inte samtidigt komma åt ben 2, vilket kan förstöra $IC:n$. Motsvarande försiktighetsåtgärd gäller även i övrigt. De lika spänningarna i 7 och 8 kan mätas på ben 8 och 4 på IC_1 .

I punkterna 3, 5 och 9 ska spänningen vara i det närmaste noll, men man kan räkna med att voltmeteren visar några millivolt. 7 och 8 ska ha samma spänning, nära 5,1 volt, vilket är 555:ans matningsspänning.

Man testar lokaloscillatorns funktion genom att mäta dess frekvens, vilket går bra med en del digitalinstrument. Man mäter då mellan jord och ben 3. Frekvensen ska variera då P_1 vrids; mät i dess båda ytterlighetsvärden, där frekvenserna bör vara omkring 15 respektive 20 kHz. På oscilloskop ska spänningen vara fyrkantformad och pendla mellan 0 och ca 5 volt. (På ben 2 är frekvenserna desamma, men kurvformen annorlunda.)

Därefter kan man sätta i hörtelefonen och vrida upp P_2 . Ett svagt, väsende ljud ska höras, mer vid ökad vridning, men ljudet ska aldrig bli starkt.

Sedan kopplas antennspolen L_1 in. (P_2 kan få stå kring sitt mittläge.) Nu ska olika, svårbeskrivna slags ljud höras då spolen och P_1 vrids. Den senare bestämmer vilka frekvenser mottagaren tar in och den riktningberoende spolens orientering avgör känsligheten åt olika håll.

Glöm inte att koppla ur batteriet efteråt, annars töms det på laddning. Om alla momenten gått bra kan man räkna med att mottagaren säkert fungerar som den ska. Om inte kontrolleras kopplingen igen, inklusive motståndens och kondensatorernas värden.

Typiska fel:

- D_1 har vänts fel. Då har man rätt spänning i punkt 1, men noll volt i övrigt. Ingen skada har skett.
- D_2 har vänts fel. I stället för 5,1 volt får man ca 0,7 volt och lokaloscilatorn fungerar inte (men har inte heller tagit skada).
- D_1 och D_2 har förväxlets. D_1 är något större än D_2 och gråsvart till färgen.
- Integrerade kretsar eller transistorer har vänts upp och ned. Den känsligaste av dem är audioförstärkaren, IC_2 .
- Kallödning, särskilt av L_2 och L_3 .

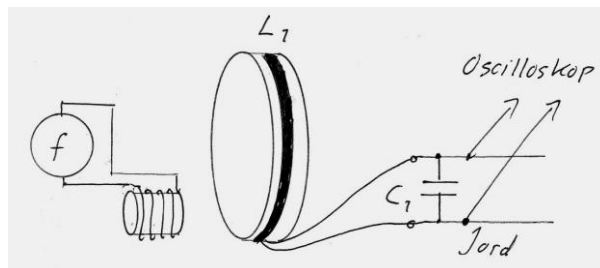
Antennkretsen:

En mer avancerad mätning är att kontrollera antennkretsens L_1C_1 resonansfrekvens. Den ska vara 17,2 kHz, men toleranser hos spole och kondensator gör att värdet varierar något. För mätningen behövs signalgenerator (funktionsgenerator) och oscilloskop.

Man gör en provisorisk mätspole, exempelvis genom att linda några varv tråd på en stomme, modell trådrulle, pappullen i en toarulle eller sådant. Antalet varv spelar liten roll; ta t.ex. tio. Mätspolen ansluts till signalgenerators utgång (helst inställd för sinusvåg), stor utspänning.

Figur 3.11 Mätning av antennkretsens resonansfrekvens.

Man kan ställa L_1 upp och lägga mätspolen intill, med spolarnas axlar någorlunda parallella. Det går också bra att lägga L_1 ned och ställa mätspolen inuti. I varje fall är det viktigt att spolarna är stilla i förhålland till varandra. Se också till att inga större järnföremål finns nära.



Använd helst laboratoriesladdar för anslutning av oscilloskopet över C_1 . De vanliga koaxialkablarna har en egenkapacitans på ca 100 pF som hamnar parallell med C_1 och därmed ändrar resonansfrekvensen hos L_1C_1 .

Mätspolens magnetfält inducerar en spänning i L_1 , som tas upp på oscilloskopet. Man varierar signalgeneratorns frekvens f kring 17 kHz och ser efter vilken frekvens som ger störst utslag på skärmen. Denna är L_1C_1 :s resonansfrekvens.

Om den funna resonansfrekvensen ligger inom området $(17,2 \pm 0,4)$ kHz behöver inget ändras, men annars bör man öka eller minska spolens varvtal N . Sammanställning av (3.1) och (3.2) visar att resonansfrekvensen f_0 är ungefär omvänt proportionell mot varvtalet, d.v.s.

$$f_0 = \frac{k}{N}$$

där k är en konstant. Detta ger ett enkelt sätt att beräkna det nya varvtalet.

Spolens Q -värde är ca 25, vilket gör att antennkretsen har bandbredden $17,2/25$ kHz $\approx 0,7$ kHz. Detta ger området $(17,2 \pm 0,35)$ kHz.

APPENDIX

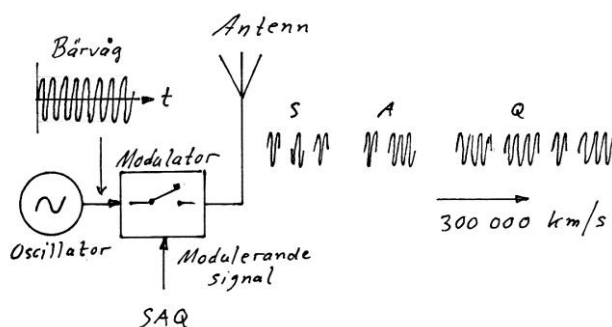
A1 Om modulation, mobiltelefoni, bredband m.m.

Vi tar en titt på figur 2.8 (sida 21)! Under sändning är generatoren igång och alstrar hela tiden effekt vid 17,2 kHz. Till vänster om generatoren ser vi en anordning i form av en switch, som kortsluter strömmen mellan morsetecknen så att antennen då blir ”tyst”. Switchen styrs av telegrafnyckeln. Det är uppenbarligen telegrafnyckeln som med switchens hjälp ser till att *information* i form av bokstäver, siffror etc. kommer ut.

Den signal som generatoren sänder ut är en kontinuerlig, sinusformad ström vid en likaledes sinusformad spänning, en *bärvåg*, och ger ingen information (mer än om sin frekvens); däremot bär den så att säga informationen. Switchen som hackar bärvågen till morsetecknen är en *modulator*.

Figur A1.1 Modulering.

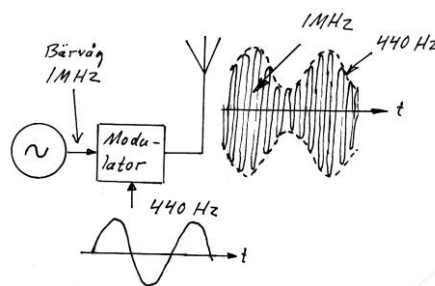
Bärvågen kan ha vilken frekvens som helst, för en kortvågssändare mellan 3 och 30 MHz, Grimeton-sändaren SAQ 17,2 kHz. Här är en telegrafnyckel modulator som påverkas av bokstavskombinationen SAQ, Grimetonsändarens internationella anropssignal.



Figur A1.1 visar förfarandet i principiella drag. Anordningen som alstrar bärvågen kallas allmänt *oscillator* och består i modern utrustning oftast av transistorer. (Vi erinrar oss kanske lokaloscillatorn från förra kapitlet.) Telegrafn är en slags *on-off-modulation* med bärvågen antingen till eller från. Om man i stället vill skicka en digital signal med ettor och nollor kan bärvåg till betyda 1 och bärvåg från betyda 0.

Figur A1.2 Amplitudmodulering.

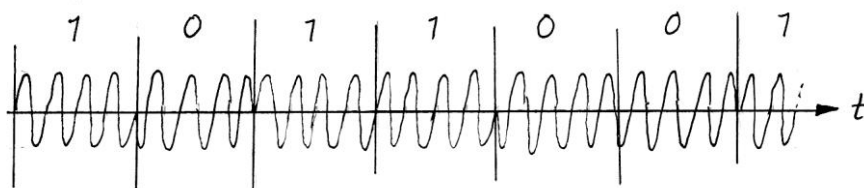
Här är bärvågsfrekvensen 1 MHz (mellanvågsbandet) och den modulerande signalen ett A på 440 Hz. AM har fortfarande stor användning, mycket på grund av att mottagarna kan göras förhållandevis enkla. Praktiskt taget alla rundradiosändare på kortvåg, mellanvåg och långvåg utnyttjar AM.



För att sända tal och musik används andra metoder. När rundradio startades under tjugotalet tog man till *amplitudmodulering*, AM, som innebär att bärvågens styrka, sinusvågornas amplitud, fås att variera i takt med ljudet. Den *modulerande signal* som går till modulatorens och där påverkar bärvågen är därför spänningen från mikrofonen. Rundradiosändarna på långvåg, mellanvåg och kortvåg är huvudsakligen AM-sändare

Den som har lyssnat till exempelvis engelska BBC:s rundradiosändningar (intressant omväxling från inhemska nyheter!) vet att det förekommer störningar. De kan komma från atmosfäriska urladdningar och är svåra att undvika. AM-signaler är känsliga för brus och många slags störningar, vilket gör att andra modulationssätt har utvecklats. Ett är *frekvensmodulering*, FM, där den utsända signalen hela tiden är lika stark, men i stället dess frekvens varierar i takt med talet och musiken. Det möjliggör mottagning som är rätt störningsfri, som man dagligen konstaterar vid lyssnandet på det s.k. FM-bandet.

Vid datorkommunikation är *fasmodulering*, PM, mycket vanligt. I sådana system kan bärvågens fas ändras 180° vid övergång $1 \rightarrow 0$ eller $0 \rightarrow 1$.



Figur A1.3 Fasmodulering (Phase modulation). Här kommer en ny siffra, 0 eller 1, efter fyra bärvågsperioder. Om den nya är densamma som den tidigare påverkas inte bärvågen, men om den ändras vänds den 180° . I verkligheten kan antalet perioder mellan teckenväxlingarna vara betydligt fler än fyra.

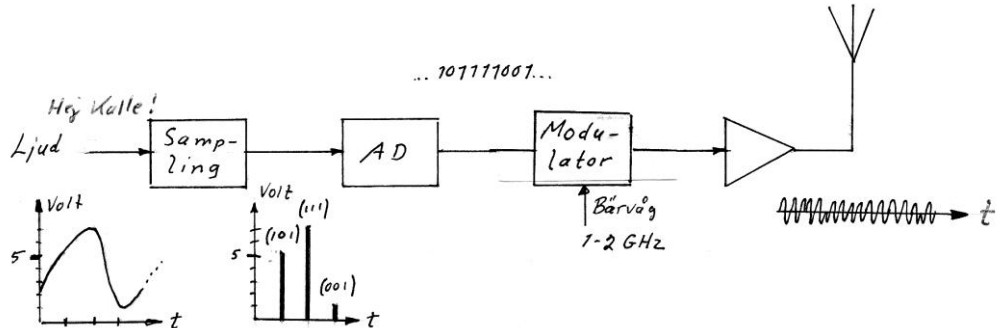
I mobiltelefonsystemen utnyttjas olika varianter av fasmodulering. Låt oss se hur man kan göra prat av sådant som det i figuren ovan, och tvärt om!

Digitalteknikens nollor och ettors sätts samman till *binära tal*, tal med bara dessa båda siffror. Liksom exempelvis $324 = 3 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 4 \cdot 10^0$ i vårt vanliga talsystem, är det binära systemets $101 = 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$. För att tala om talet är binärt tal och undgå förväxlingar skrivs det 101_2 och vi ser lätt att $101_2 = 5$. Treställiga binära tal går från $000_2 = 0$ till $111_2 = 7$, således åtta olika tal.

Figur A1.4 föreställer sändaren i en basstation för mobiltelefoni. Till vänster kommer en vågformad ljudsignal in, ursprungligen från en mobiltelefon. Den går till *samplaren* som med regelbundna tidsmellanrum känner av spänningen. Här visas tre sampel. (Man inser att det kan behövas tätare sampling än så, men vi nöjer oss med det här för tydlighets skull.)

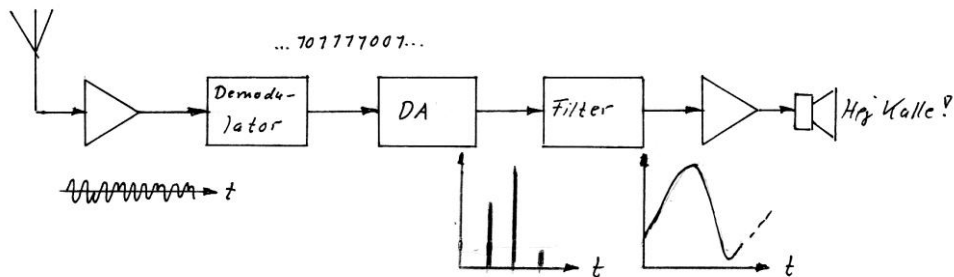
Sedan gäller det att uttrycka de samplade spänningarna som binära tal. Vi delar in hela spänningsintervallet i sju områden så att den lägsta spänningen

är 000 och den största 111; det kan motsvara 0 volt till 7 volt. Man ser att det första samplet är 101 o.s.v. Signalen har nu digitaliserats, vilket gjorts i *AD-omvandlaren*, *analog till digitalomvandlaren*. Den kallas så eftersom den ursprungliga spänningen, som kan anta alla möjliga värden inom sitt område, sägs vara *analog*.



Figur A1.4 Sändare för digitala signaler. Schemat visar några av de viktiga stegen i signalbehandlingen. I verkligheten tillkommer olika slags filtrering och dessutom måste sändaren kunna ta hand om flera mobila enheter samtidigt.

Den digitaliserade signalen går till modulorn. Där förs den samman med och får modulera bärvågen till ett resultat, liknande det i figur A1.3. Sedan förstärks signalen på lämpligt sätt och förs till basstationens antenn där den blir till elektromagnetisk strålning, s.k. mobilstrålning. Frekvensen kan vara 1-2 GHz. Hur basstationen samtidigt kan sända till flera mobiltelefoner är en annan sak!



Figur A1.5 Mobilmottagare. De triangelformade enheterna är olika slags förstärkare.

I mottagaren är processen i mångt och mycket den omvända. De svaga signalerna från mobilradioantennen förstärks och *demoduleras* sedan. Demodulation är modulation på andra hållet och resulterar i att den ursprungliga, modulerande signalen återskapas. Bärvågen är alltså borta och bara den digitala signalen, de binära talen, återstår.

I *DA-omvandlaren*, *digital till analogomvandlaren*, görs den digitala signalen om till de ursprungliga samplen. Om samplen är någorlunda täta kan de behandlas så att ljudsignalen återskapas. Det görs i speciella signalfilter.

Skillnaden mellan analoga och digitala signaler (t.ex. spänningar) är att de digitala bara kan anta ett begränsat antal värden inom sitt område. Ovan är det åtta olika, 000-111, vilket nog verkar ge rätt dålig upplösning. Indelningen kan göras allt finare med längre binära tal, kanske med åtta eller sexton siffror. En binär etta eller nolla kallas en *bit* (binary digit), så i de båda senare fallen fås 8 eller 16 bitars upplösning.

Anta att man väljer 16 bitars upplösning. För någorlunda bra resultat krävs också tät sampling; vi väljer 10000 sampel per sekund, eller *sampleffrekvensen* 10 kHz. Eftersom varje sampel alstrar 16 bitar blir det $16 \cdot 10000 = 160 \cdot 10^3$ bitar per sekund. Det blir *160 kilobit/sekund* eller *160 kbps*, ett vanligt mått på datahastighet, eller *bithastighet* (engelska *bit rate*).

Figur A1.6 Reklamskylt för bredband?

Bilden tagen av förf. utanför en databutik i Köpenhamn.

Höga bithastigheter ställer särskilda krav på sändare, mottagare och speciellt överföringsutrustningen. De gamla tvåtrådiga telefonledningarna begränsar kapaciteten, som ändå har kunnat ökas betydligt med speciella modulationmetoder. För s.k. bredbandsöverföring krävs emellertid moderna ledningar, t.ex. optiska kablar.

Vid radiosändning gäller den allmänna regeln att större bithastighet kräver större bandbredd, d.v.s. utrymme på frekvensskalan. Se sida 13.

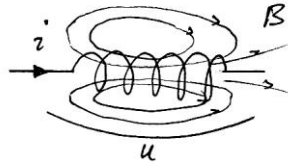


Texten till figur A1.6 ovan förklarar begreppet *bredband*. Ju större överföringskapacitet som krävs, desto större frekvensutrymme tar signalerna upp vid radiosändning. Det är inte alltid så mycket ett tekniskt problem som ett resursproblem: Frekvensutrymmet är begränsat och konkurrensen om plats för olika aktiviteter är stor.

Vi kan ta TV-sändningar som exempel. Från början amplitudmodulerades bildsignalerna, medan ljudet frekvensmodulerades. Eftersom AM är störningskänsligt blev resultatet inte sällan snöiga bilder. Rörliga bilder kräver betydligt mer frekvensutrymme än ljud, så att hela TV-signalen behövde en bandbredd på ca 7 MHz. Jämför med FM-bandets 200 kHz. Denna kanaluppdelning har i stort sett bibehållits i de digitala sändningarna, men genom finurliga modulationsmetoder och annan teknik, som bildkomprimering, har kvaliteten kunnat förbättras, som var och en som sett på HDTV, *High Definition TV*, kan konstatera.

A2 Spolar, kondensatorer och högtalarfilter

Kondensatorer och spolar är oundgängliga i elektriska kretsar. Vi studerar hur de kan användas i högtalarfilter. Spolarna kallar vi induktorer eftersom det bara är deras induktiva egenskaper som är intressanta här, och antar att de är lindade med så tjock tråd att resistansen är praktiskt taget noll. Figur A2.1 visar en induktor med spänning $u(t)$ och ström $i(t)$.



Figur A2.1 Induktor.

Om resistansen är noll blir spänningen också noll enligt Ohms lag. Hur kan det då över huvud taget bildas någon spänning över induktorn? Strömmen genom den ger upphov till ett magnetfält med ett flöde som är proportionellt mot strömmen. Enligt induktionslagen induceras en spänning vid varje flödesändring, $e = N d\Phi/dt$, om samma flöde går genom alla de N varven. Då får vi $e = L di/dt$, där L en konstant som beror på spolens uppbyggnad. L är induktansen. Spänning över induktorn är den inducerade spänningen, varför vi kallar den u ,

$$u = L \frac{di}{dt}$$

Anta att strömmen är sinusformad, $i(t) = \hat{i} \sin \omega t$, med \hat{i} som dess toppvärde eller *amplitud*. Derivering ger spänningen

$$u(t) = L \hat{i} \omega \cos \omega t$$

med amplituden $\hat{u} = L \hat{i} \omega$. Nu kan vi bilda ett slags växelströmsmotstånd för spolen, dess *reaktans* X_L . Som för resistansen bör den vara spänningen genom strömmen, d.v.s.

$$X_L = \frac{\hat{u}}{\hat{i}} \tag{A2.1}$$

en "Ohms lag" för induktorer. X_L blir $\hat{u}/\hat{i} = L \hat{i} \omega / \hat{i} = \omega L$ eller

$$X_L = \omega L \tag{A2.2}$$

Induktorns motstånd mot växelström är inte konstant som för en resistor (R), utan ökar med strömmens frekvens. Det är ett annat sätt att uttrycka att induktorn är "strömtrög". Högre frekvens medför ju snabbare flödesändring-

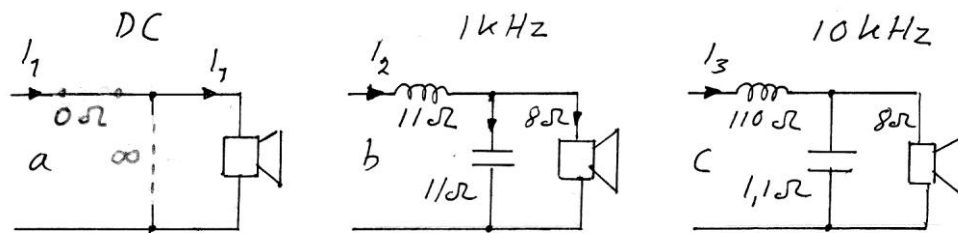
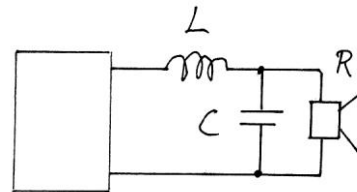
ar och därmed större inducerad, motverkande spänning. För att undvika förväxling kallas X_L ofta *induktiv reaktans*.

För kondensatorn leder liknande resonemang till en *kapacitiv reaktans* X_C som är

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (\text{A2.3})$$

där C är kondensatorns kapacitans. Detta är kondensatorns växelströmsmotstånd, som också har enheten Ohm eftersom den är kvoten mellan spänning och ström. Här ser vi att reaktansen minskar med ökande frekvens, tvärt om mot den induktiva reaktansen X_L . För likström, $\omega = 0$ rad/s, är X_C oändlig, d.v.s. kondensatorn spärrar likström. Men i det fallet är $X_L = 0$ ohm, så att induktorn inte gör något motstånd alls. (Trådens resistans finns emellertid kvar och verkar enligt Ohms lag.)

Figur A2.2 Ett högtalarfilter. $L = 1,8$ mH, $C = 14$ μ F. Ökningen av frekvensen och därmed X_L gör att $I_3 < I_2 < I_1$. Gränshänsen är 1 kHz. Den lägsta möjliga frekvens som förstärkaren kan lämna är några Hertz eller så, varför likströmmen i fall a får ses som ett undre grännsfall.



För att se vad det här kan användas till studerar vi högtalarfiltret i figur A2.2. Från förstärkaren går strömmen genom induktorn L och delar sedan upp sig mellan kondensatorn C och högtalaren. Den senare har standardresistansen $R = 8$ ohm.

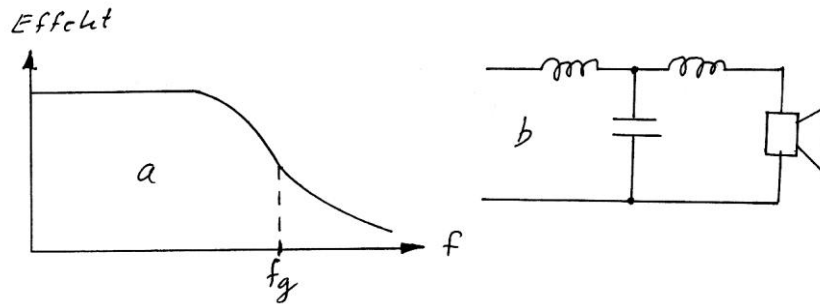
I fall a antas att förstärkaren lämnar likström. Då är induktorns reaktans noll och kondensatorns oändlig, det senare liktydigt med ett avbrott. Strömmen går oförhindrad genom högtalaren.

I fall b är frekvensen 1 kHz och X_L och X_C har de angivna värdena. Nu hindrar induktorn strömmen så att $I_2 < I_1$. Dessutom är X_C ungefär lika stor som R , varför bara ungefär hälften av I_2 går genom högtalaren. Både induktor och kondensator medverkar alltså till att strömmen genom högtalaren minskar och att ljudstyrkan går ned.

I fall c har frekvensen ökat ytterligare och induktorn hindrar strömmen ännu mer. $I_3 \ll I_1$. För kondensatorns del är $X_C \ll R$, vilket gör att större delen

av I_3 tar vägen genom kondensatorn, som erbjuder den lättaste vägen. Högtalarens effekt har nu minskat avsevärt.

Uppenbarligen har filtret den verkan att låta signaler vid låg frekvens passera, men hindrar vid högre, mer vid ökad frekvens. Filtret är ett *lågpassfilter*, LP-filter, i hifi-sammanhang kallat *basfilter*.



Figur A2.3 Filterkurva och filter av högre ordning.

Figur A2.3a visar resultatet grafiskt som en filterkurva med högtalarens effekt som funktion av frekvensen. Den frekvens vid vilken effekten gått ned till hälften kallas filtrets *gränshfrekvens*. Fysiologiskt fungerar det så att våra hörselorgan börjar märka av minskningen då effekten gått ned ungefär till hälften. (I andra riktningen har det den kanske oväntade följden att den som hör en bergbormaskin i arbete inte märker någon större skillnad om ytterligare en sätter igång.)

Filtret i figur A2.2 är av *andra ordningen* eftersom det har två reaktiva komponenter. De flesta högtalarfilter är av tredje ordningen och kan se ut som i b ovan. Sådana filterkurvor är brantare så att filtren bättre separerar de olika frekvensområdena, basen, mellanregistret och diskanten. Det kan tilläggas att s.k. equalizers, med vilka de olika frekvensområdenas genomslag kan ställas in, också innehåller filter av olika slag.

UPPGIFTER

Kapitel 1

- Om morsekoden.
 - Skriv HAPPY BIRTHDAY TO YOU, {namn du gillar}! på morsekod med punkter och streck.
 - Jämfört med mycket annat tar morsetelegrafering rätt lång tid, åtminstone vid handtelegrafering. Det finns därför många förkortningar, t.ex. Q-förkortningarna. QRN står för en sorts störningar, QTH Hjo betyder att man vistas i staden vid Vättern o.s.v. En inofficiell, skämtsam förkortning är QLF, som antyder att telegrafisten telegraferar riktigt illa. Vad kan bokstäverna tänkas stå för?
- Se sida 6. Anta att batteriet på Atlantkabelns sändarsida lämnar spänningen 100 V och att jorden och mottagarens galvanometer har försumbar resistans. Koppartråden har diametern 2,0 mm. Beräkna
 - strömmen i kabeln
 - den totala koptarmassan
 - vad koptaren skulle kosta idag.

- Hur lång tid tar radiovågor?
 - Enligt Maxwells teori är de elektromagnetiska vågornas hastighet i vacuum

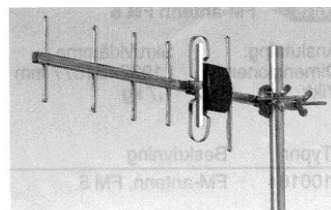
$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

där μ_0 är den magnetiska permeabiliteten och ϵ_0 den elektriska dielektricitetskonstanten, båda i vacuum. Beräkna hastigheten!

- Beräkna tiden för en radiosignal från en geostationär satellit till jorden. Dessa satelliter går 36 tusen kilometer ovanför jordytan.
 - Uppskatta tiden för en radiosignal från Grimeton till New York.
- Komplettera tabellen på sida 9 om radioområdets uppdelning från UHF till VLF genom att beräkna motsvarande våglängder.

- Beräkna våglängden för
 - SAQ
 - ”mobilstrålning” på 0,9 GHz.

- Bilden visar en Yagiantenn för mobiltelefoni, avsedd för platser med dålig mottagning. Den är av halvstågtyp, d.v.s. spröten är en halv våglängd långa, i detta fall ca 17 cm. Antennen har riktverkan och är i detta fall känsligast i sin längdriktning åt vänster. Dess antennvinst G uppges vara 9 dB. G definieras som



$$G = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0}$$

där P_0 är effekten som en referensantenn skulle avge och P den som den här avger till mottagaren. Beräkna

- a) den frekvens som antennen är avsedd för
- b) förhållandet P/P_0 .

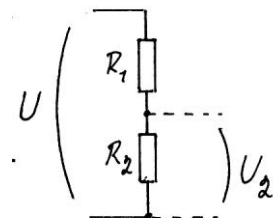
7. Hur många sändare ryms samtidigt på
 - a) FM-bandet 97-109 MHz
 - b) mellanvågsbandet?

Kapitel 2

8. Se figur 2.7. Använd grafen för att rita den inducerade spänningen $e(t)$.
9. De i stort sett vertikala nedledarna från antenntornen i Grimeton avger alla elektromagnetiska vågor. De skulle därför kunna interferera med varandra så att bukar och noder bildas i utbredningsmönstret. Antennsystemet skulle då få viss riktverkan med maxima åt vissa håll och minima åt andra. Så sker emellertid inte. Varför?
10. Hur skulle den varvtalsreglering som beskrivs i figur 2.8 fungera om varvtalet minskades när frekvensen går under 17,2 kHz och vice versa?
11. Se figur 2.6. Markera polariteten hos 125 volt likspänningen till magnetiseringslindningen så att det magnetiska flödet får den visade riktningen.

Kapitel 3

12. En mottagare för FM-bandet är inställd på frekvensen 102,4 MHz. Vilka är de två frekvenser som lokaloscillatorn kan ha.
13. En resonanskrets ska ha resonansfrekvensen 0,8 kHz då dess kondensator har kapacitansen 1 μF . Beräkna spolens induktans.
14. Se figur 3.8. Potentiometern P_2 som fungerar som volymkontroll har ett uttag som glider längs motståndsbanan då man vrider på ratten. Hela dess resistans är 10 k Ω , varav en del ligger ovanför uttaget och resten under. På så vis fungerar potentiometern som två motstånd R_1 och R_2 i serie.



Om ingen eller en försumbar ström tas ut vid uttaget går samma ström genom R_1 och R_2 .

a) Visa att detta innebär att

$$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{s.k. spänningsdelning})$$

b) Förklara hur detta gör anordningen lämplig som volymkontroll.

15. Använd (3.2) för att beräkna varvtalet hos spolen med de angivna dimensionerna så att dess induktans blir 20,5 mH.

16. Se sida 35, första stycket. Beräkna det önskade varvtalet!

17. Se sida 37.

a) Visa att den angivna formeln $f_0 = k / N$ gäller.

b) Anta att man med 220 varv fått den något för höga resonansfrekvensen 17,7 kHz. Beräkna det varvtal som ger det rätta värdet, 17,2 kHz.

18. Om frekvensblandning.

Blandningen innebär att två signaler rörs

ihop så att de på något sätt multipliceras.

Den enhet där de förs samman har därför

ett gångertecken i sig. Anta att de är

$u_1(t) = \sin 2\pi f_1 t$ och $u_2(t) = \sin 2\pi f_2 t$.

(u_1 kan också skrivas $u_1(t) = \sin \omega_1 t$ med

$\omega_1 = 2\pi f_1$ och motsvarande för u_2 .)

Utsignalen är $u(t) = u_1(t) \cdot u_2(t) = \sin 2\pi f_1 t \cdot \sin 2\pi f_2 t$. Uppgiften är att

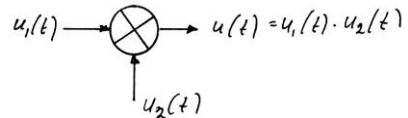
trigonometriskt omforma uttrycket för $u(t)$ så att det övergår i en summa

av två termer som båda är sinusformade och varav en har skillnadsfrek-

vensen $f_1 - f_2$ (vi kan anta att $f_1 > f_2$).

(Ledning: Ett sätt är att använda en av trigonometrins summaformler baklänges.)

Anta sedan att $f_1 = 17,2$ kHz och $f_2 = 16,4$ kHz. Vilka frekvenser innehåller utsignalen?



Appendix 1

19. Binära tal

Skriv som vanligt tal

a) 10_2

b) 101010_2

Skriv som binärt tal

c) 6

d) 10

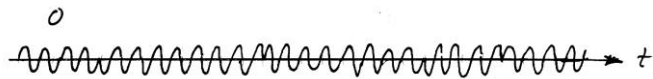
e) 28

f) 0,5 (använd decimalpunkt i svaret)

g) $\frac{1}{4}$ (dito)

20. Fasmodulering.

a) Här är bärvågsperioden 0,41 ns. Beräkna bärvågsfrekvensen.

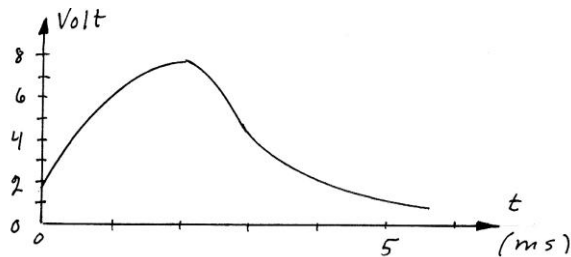


b) Skriv upp följden av ettor och nollor om den första biten är 0.

c) Vilken är bithastigheten? (Den är överdrivet hög här; det brukar gå många fler bärvågsperioder på en bit.)

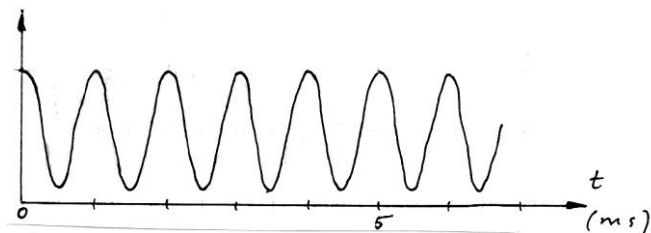
21. Samplingsfrekvensen är 1 kHz.

a) Vilka värden i volt har de fem första sampelnen? Samplingen börjar vid tiden $t=0$ s.



b) Skriv upp de bitar som AD-omvandlaren skapar av dessa sampel. Obs. att AD-omvandlaren avrundar nedåt till jämnt tal så att t.ex. 4,8 V ger bitarna 100.

22. Här ser du en sinusformad signal som ska samplas. Signalen har frekvensen 1 kHz.



Enligt *samplingsteoremet* måste samplingsfrekvensen överstiga ett visst värde för att processen ska fungera.

a) Fundera över kurvan ovan och föreslå en regel för minsta samplingsfrekvensen. Anta för enkelhets skull att det första sampelnet tas då $t = 0$ ms.

b) Vilken är samplingsfrekvensen om tiden mellan sampelnen är $\frac{3}{4}$ ms?

c) Pröva ditt förslag i a genom att sampla enligt b. (Fortfarande med första sampelnet vid $t = 0$ ms.)

23. En DVD har samplingsfrekvensen 44,1 kHz. Anta att varje sampel ger 24 bit. Hur många bit innehåller en skiva för en timmes speltid? (Kanske lämpligt att svara i Gbit.)

24. Man skickar över innehållet i skivan i uppgift 23 på en datalänk med maximala kapaciteten enligt skylten på sida 41. Hur lång tid tar det?

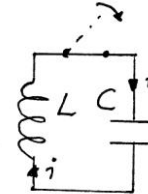
Appendix 2

25. Man ansluter en kondensator med kapacitansen $1 \mu\text{F}$ till nätspänningen 230 V, 50 Hz. Beräkna den ström I som pendlar genom kondensatorn. 230 V är spänningens effektivvärde. För effektivvärdena gäller också $X_C = U / I$.

26. En induktor har induktansen $12 \mu\text{H}$ och en kondensator kapacitansen 500 pF . Beräkna den frekvens vid vilken deras reaktanser har samma värden.

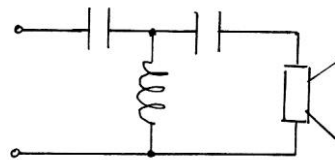
27. Induktanser för spolar kan beräknas som $L = N\Phi/I$, där N är antalet varv, Φ det magnetiska flödet genom spolen och I strömmen genom dess lindning. Använd lagen för att beräkna induktansen hos en lång, smal spole. Dess längd är 10 cm och diameter $1,0 \text{ cm}$. Spolen är tätt lindad med koppartråd av diametern $1,00 \text{ mm}$.

28. En induktor med induktansen L är sammankopplad med en kondensator med kapacitansen C till en resonanskrets. Om kondensatorn laddas och switchen sedan sluts kommer kretsen i svängning på sin resonansfrekvens f_0 .

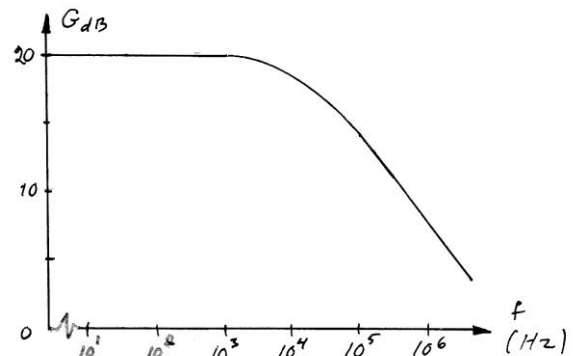


Sammankopplingen gör att de båda komponenterna har både samma spänning och samma ström. Använd detta för att ta fram uttrycket (3.1), sida 30, för resonansfrekvensen.

29. Förklara hur det här högtalarfiltret fungerar.



30. Mikrofoner lämnar en viss, liten effekt som förstärks för att ge ljud i högtalare. Förstärkare, inte bara i audiosammanhang, är därför oftast effektförstärkare. Vi kallar effekten in till en förstärkare P_{in} och uteffekten P_{ut} . Effektförstärkningen är $G = P_{ut}/P_{in}$.



Mycket ofta anges effektförstärkningen i decibel, dB. Definitionen är

$$G_{dB} = 10 \log_{10} G$$

- Hur stor är G i grafens horisontella del, alltså vid låga frekvenser? Om $P_{in} = 1 \text{ mW}$, hur stor är då P_{ut} ?
- Beräkna G_{dB} då uteffekten är hälften av den i a. Hur mycket har då G_{dB} gått ned?
- När uteffekten gått ned till hälften av den vid låga frekvenser har kurvan nått gränshfrekvensen f_g . Ta fram den ur grafen. Obs. att frekvensaxeln är graderad logaritmiskt. f är då inte linjär, som man ser, men $\log f$ är det, d.v.s. intervallet $10\text{-}100 \text{ Hz}$ tar lika mycket plats på axeln som $100\text{-}1000 \text{ Hz}$ o.s.v.