

V. H. KOFOED
RADIOTEKNIK

TIL
UNDERVISNING OG
SELVSTUDIUM



ALEX. KAPPELS FORLAG
KØBENHAVN K.
1928



V. H. KOFOED
RADIOTEKNIK

TIL
UNDERVISNING OG
SELVSTUDIUM

1. UDGAVE



ALEX. KAPPELS FORLAG
KØBENHAVN K.
1928

RADIOTEKNIK

FORORD

Paa Foranledning af flere tekniske Skoler og Læreanstalter er denne Bog bleven skrevet med ret kort Varsel. Da den er skrevet for Læsere med meget forskellige Forkundskaber i Fysik og Matematik, har jeg i den korte Tid, der har været mig levnet til Arbejdet, søgt at gøre Bogen saa populær, at den kan læses af alle, medens der paa den anden Side ogsaa er medtaget en Del Stof, hvis Tilegnelse kræver Forkundskaber i Fysik og Matematik.

Endvidere har jeg søgt at tilrettelægge Stoffet saaledes, at det — læst i Kontinuitet — for Størstedelen skulde kunne tilignes af enhver ved Selvstudium.

I hvor høj Grad dette Arbejde er lykkedes, skal jeg lade andre om at afgøre, men naar der allerede paa dette Tidspunkt i det hele taget foreligger en Bog som denne til Undervisningsbrug, saa skyldes dette i første Række den elskværdige Hjælp og Imødekommenhed, jeg har fundet hos mange betydelige Radiofolk, som jeg herved beder modtage min bedste Tak.

Jeg føler mig i denne Sammenhæng særligt i Taknemmelighedsgæld til Hr. Professor Absalon Larsen (for Hjælp til Afsnittet om Motorforstyrrelser), til Kaptajn O. Ch. Thomsen, Ingeniør, cand. polyt. Gerhart Hansen og flere Firmaer i Radiobranchen, der med Klichèmateriale har bidraget til Bogens hurtige Fremkomst.

Et saa omfattende Emne som Radio kan naturligvis i det store og hele kun være behandlet mangelfuldt i en Bog paa halvtredie Hundrede Sider, og Hovedvægten er derfor lagt paa de Afsnit, der har særlig Tilknytning til Modtagerteknikken. Det er mit Haab, at de Læsere, der ønsker et Grundlag for videre Studium af Radioteknik, maa kunne finde det nødvendige Materiale i tilgængelig Form i denne Bog.

V. H. KOFOED.

Elektriske Svingninger og Bølger.

Svingningskredse og Enheder.

1. I de allerfleste Radioapparater — Modtagere, Sendere, Maale- eller Hjælpeinstrumenter — er den elektriske Svingningskreds en væsentlig og uundværlig Del. Svingningskredse er bygget op af Kondensatorer og Spoler, som alt efter Formalet kan være faste eller variable og være udført paa mang-

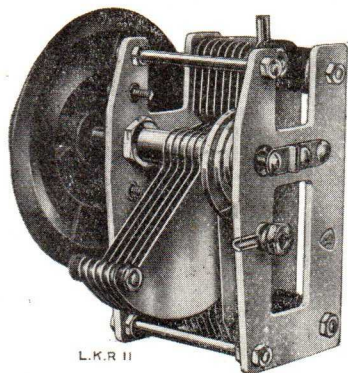


Fig. 1.

foldige forskellige Maader. Spolerne er oftest viklet af blank eller isoleret Kobbertraad og har — i Modsætning til Spoler, der anvendes i Lavfrekvensteknikken, — sjældent nogen Jernkerne. Kondensatorerne er næsten altid fremstillet af Metalplader adskilt ved Luftmellemrum eller ved et fast eller fly-

dende Isolationsstof. En af de almindeligste Typer er den variable Luftkondensator (Fig. 1), som anvendes i de fleste Modtagere, og som bestaar af et Sæt parallele faste Metalplader med passende Luftmellemrum, hvori et andet Pladesæt kan bevæge sig ud og ind. De to Pladesæt er isoleret fra hinanden ved en passende mekanisk Konstruktion, og Kapaciteten mellem de to Pladesæt ændres, naar de bevægelige Plader bevæges mere eller mindre ind mellem de faste.

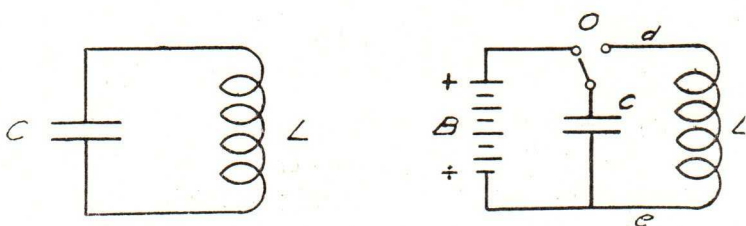


Fig. 2.

I Fig. 2 ses tilvenstre en Svingningskreds bestaaende af Kondensatoren C og Spole L, og til højre ses et Arrangement, hvormed man paa den simplest mulige Maade kan frembringe elektriske Svingninger. Man har ligeledes her en Svingningskreds med Spole L og Kondensator C, men med en eenpolet Omskifter O kan man afbryde Svingningskredsen og forbinde Kondensatorens to Pladesæt til hver sin Pol paa det elektriske Batteri B. Herved oplades Kondensatoren med Elektricitet, og slaas Omskifteren atter over til højre, saa Svingningskredsen igen bliver sluttet, vil Kondensatoren udlade sig gennem Spolen, og der vil opstaa elektriske Svingninger i Kredsen. Dette forstaas let, naar man erindrer sig Lovene for den elektriske Induktion.

Tænker man sig saaledes som vist i Fig. 3 en Svingningskreds, hvis Kondensator i et givet Øjeblik er opladet med positiv Elektricitet paa øverste — og negativ Elektricitet paa det nederste Pladesæt, saa ser man, at denne Tilstand ikke er stabil, men at den positive og negative Elektricitet vil søge

at forene sig ved en Udladningsstrøm gennem Spolen. Dette er antydnet i Fig 3(a), hvor Kondensatorens Ladninger er betegnet med + og -, og hvor Strømretningen gennem Spolen er antydnet ved enkelte Pile. Strømmen i Spolen vil frembringe

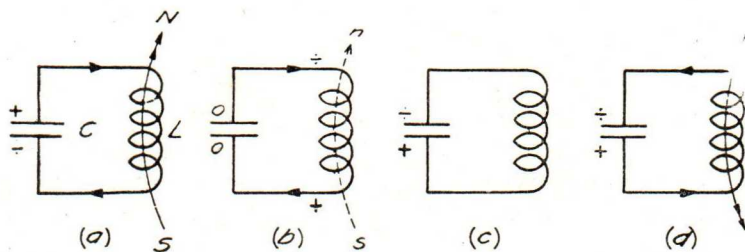


Fig. 3.

et magnetisk Kraftfelt, som er antydnet ved den opadgaaende Kraftlinie N—S, og dette magnetiske Felt vil opretholdes, saa længe der gaar Strøm i samme Retning i Spolen. Fig. 3 (b) fremstiller Situationen i det Øjeblik, hvor de to elektriske Ladninger paa Kondensatoren netop har udlignet hinanden. Da Kondensatorladningen nu er Nul, kan den ikke mere drive Strøm gennem Spolen, og de magnetiske Kraftlinier (s—n) vil derfor som antydnet paa Tegningen begynde at forsvinde. Naar Magnetfeltet forsvinder, induceres der imidlertid i Spolen en Strøm, som søger at opretholde Feltet; altsaa en Strøm med samme Retning som Udladningsstrømmen, og Spolen vil derfor begynde at sende positiv Elektricitet til den nederste og negativ Elektricitet til den øverste Kondensatorplade. Denne Strøm vedvarer, indtil Spolens Magnetfelt helt er forsvundet, og man har da den i Fig. 3 (c) viste Tilstand, hvor Kondensatoren er opladet og Strømmen gennem Spolen Nul. Denne Tilstand er naturligvis heller ikke stabil, og Kondensatoren vil nu igen søge at udlade sig, men med Strømretning som vist i Fig. 3 (d), og saaledes fortsættes en Tid med Strøm snart i den ene og snart i den anden Retning gennem Spolen. Der er altsaa opstaaet en Vekselstrøm gennem Spolen, eller som

man ogsaa udtrykker det: „Der er opstaaet elektriske Svingninger i Svingningskredsen“.

Man vil lægge Mærke til, at der under Svingningsforløbet kommer Øjeblikke, hvor Strømmen gennem Spolen er Nul, og hvor hele den i Kredsen arbejdende Energimængde forefindes som en elektrisk Ladning paa Kondensatoren, medens Kondensatorladningen i andre Øjeblikke vil blive Nul, saaledes at hele Energimængden da maa findes i det af Spolestrømmen frembragte magnetiske Felt.

Energimængden i Svingningskredsen bliver imidlertid ikke ved med at være den samme. Da der i Spolen og i Tilledningerne til Kondensatoren findes en større eller mindre ohmsk Modstand, saa vil noget af Energien ved hver Svingning omdannes til Varme, som bortledes til den omgivende Luft, og som Følge heraf vil Strømstyrken i Spolen og Kondensatorens Spænding aftage fra Svingning til Svingning. Dette For-

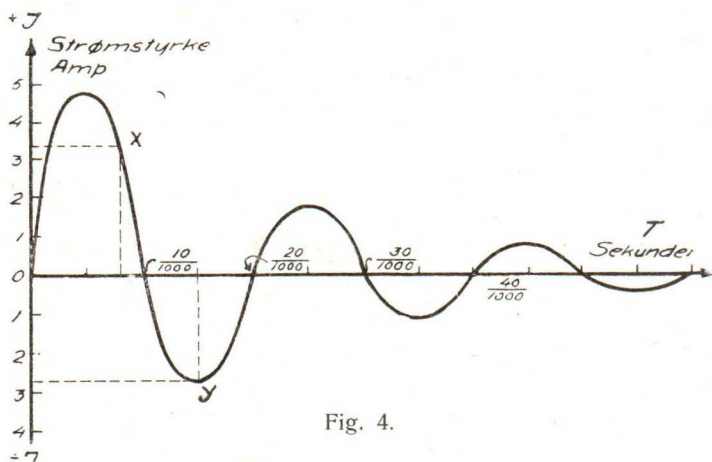


Fig. 4.

hold er fremstillet grafisk i Fig. 4, hvor Linien I, *Ordinatak- sen*, er inddelt i et Antal lige store Stykker, der hver svarer til Strømstyrken 1 Ampere, medens Linien T, *Abscisseaksen*, er inddelt i andre lige store Stykker, der f. Eks. hver svarer til $\frac{10}{1000}$ Sekund. Af Kurven kan man nu til enhver Tid finde Strømstyrken i Svingningskredsen. Spørges f. Eks. om Strøm-

styrken efter $\frac{7}{1000}$ Sekunds Forløb, oprejses en Linie vinkelret paa Abscisseaksen i det hertil svarende Punkt, og hvor denne Linie skærer Kurven (Punktet x), lægges en vandret Linie, som paa Figuren skærer Ordinataksen i et Punkt, svarende til 3,3 Ampere. Paa ganske tilsvarende Maade ses det af Linierne gennem Punktet y, at Strømmen efter $\frac{15}{1000}$ Sekunds Forløb nu gaar i modsat Retning i Spolen og er 2,7 Ampere. Til Tiderne 10, 20, 30, 40 o. s. v. Tusindedele Sekund efter at Svingningerne er begyndt, ses det, at Strømmen er Nul og i Færd med at skifte Retning i Spolen. Det Stykke af Kurven, der ligger mellem Punkterne 0 og $\frac{20}{1000}$ paa Abscisseaksen, kaldes en Periode. Man har saaledes ogsaa en hel Periode mellem Punkterne $\frac{20}{1000}$ og $\frac{40}{1000}$, mellem $\frac{40}{1000}$ og $\frac{60}{1000}$ o. s. v. Da disse Stykker i det valgte Eksempel hver svarer til Tiden $\frac{20}{1000}$ Sekund eller $\frac{1}{50}$ Sekund, har man altsaa 50 hele Perioder eller Svingninger i 1 Sekund, og man siger da, at *Frekvensen* eller *Periodetallet* er 50. Tiden for en Periode kaldes ofte blot *Perioden* og er $\frac{1}{50}$ Sekund.

Kaldes i al Almindelighed Frekvensen for f og Perioden for T , har man

$$f = \frac{1}{T}$$

De her viste og forklarede Svingninger kaldes *dæmpede Svingninger*, fordi Strømstyrken i Svingningskredsen aftager fra Periode til Periode.

I det forklarede Eksempel var Frekvensen kun 50. I Radioteknikken arbejdes med Vekselstrømme eller Svingninger med langt højere Periodetal, de saakaldte *højfrekvente Svingninger*, og hertil regnes som Regel Svingninger med Frekvenser over 10 000. De højeste Frekvenser, som hidtil er benyttet til traadløs Telegrafi, er af Størrelsesordenen 30 000 000 eller 3×10^7 .

Til de *lavfrekvente Vekselstrømme* henregnes Strømme med Frekvenser under 10 000, d. v. s. Vekselstrømme, som i en Telefon giver hørlige Svingninger. Som bekendt er det men-

neskelige Øre gennemsnitligt følsomt for Lydbølger med Frekvenser fra c. 25 til c. 10 000, men mange Mennesker opfatter nogenlunde let Frekvenser op til 15 000 eller mere.

2. Vi skal nu se lidt nærmere paa de Størrelser, som har særlig Betydning for den elektriske Foregang i Svingningskredsen. Som bekendt maales den elektriske Spænding i *Volt*, Strømstyrken i *Ampere* og Modstanden i *Ohm*. Afhængigheden mellem disse Enheder er givet i *Ohms Lov*, der lyder:

$e = r \times i$ eller sagt uden Symboler: *Spænding lig med Modstand gange Strømstyrke*. Dette er de saakaldte tekniske Enheder, som benyttes i de fleste praktiske Regninger, og hertil slutter sig den tekniske Enhed for Elektricitetsmængde: *en Coulomb*.

Hvis man i en Ledning i 1 Sekund har en Strømstyrke paa 1 Ampere, saa har en Elektricitetsmængde paa 1 Coulomb passeret et vilkaarligt Tværsnit i Lederen.

En Kondensators Kapacitet er et Maal for den Elektricitetsmængde, som Kondensatoren kan optage ved en bestemt Spændingsforskel mellem de to Pladesæt (Belægninger). Hvis man til en Kondensators Plader slutter en Strømkilde med en Spændingsforskel paa 1 Volt mellem Polerne, og det da viser sig, at Kondensatoren optager en Elektricitetsmængde paa 1 Coulomb, saa er Kondensatorens Kapacitet 1 Farad. Havde Kondensatoren f. Eks. kun optaget 0,7 Coulomb, havde Kapaciteten kun været 0,7 Farad. En Kondensator paa 1 Farad (1 F.) er imidlertid saa stor, at den vanskelig kan tænkes fremstillet i Praksis. Man benytter derfor oftere Betegnelsen Mikrofarad (MF.)*) 1 Mikrofarad er en Milliontedel Farad; altsaa $1 F = 10^6 MF$. Ved Regninger af forskellig Art benytter man ogsaa ofte den elektrostatiske Enhed for Kapacitet, Centimeter. Sammenhængen mellem disse Enheder er følgende:

$$\begin{aligned} 1 F &= 10^6 MF = 9 \times 10^{11} \text{ cm} \text{ og altsaa} \\ 1 MF &= 9 \times 10^5 \text{ cm eller } 900000 \text{ cm} \end{aligned}$$

*) En anden, hyppigt benyttet Forkortelse af Farad og Mikrofarad er Fd. og Mfd.

Hvis man prøver at sende en Strøm gennem en Kobbertraadsspole med mange Vindinger, vil det kunne paavises, at Strømmen ikke straks naar den Værdi, som man maatte vente efter Ohms Lov. Sagen er nemlig den, at der i Spolen frembringes et magnetisk Felt ved Strømmens Gennemgang, og dette Felt vil igen i Spolen inducere en elektromotorisk Kraft, som er modsat rettet den ydre Spænding, som driver Strømmen frem. Jo hurtigere Strømmen vokser op, og jo flere Vindinger, der er i Spolen, desto større bliver den omtalte mod-elektromotoriske Kraft, og denne giver derfor et Maal for Spolens induktive Egenskaber. *Hvis denne modelektromotoriske Kraft i Spolen er 1 Volt, naar Strømstyrken vokser jævnt med 1 Ampere i Sekundet, saa er Spolens Selvinduktion 1 Henry (1 Hy.).* Man udtrykker ogsaa Selvinduktionen i Centimeter og har da:

$$1 \text{ Hy.} = 10^9 \text{ cm.}$$

3. Vi har nu set, hvorledes man, som vist i Fig. 2, kan frembringe dæmpede Svingninger ved at udlade en Kondensator

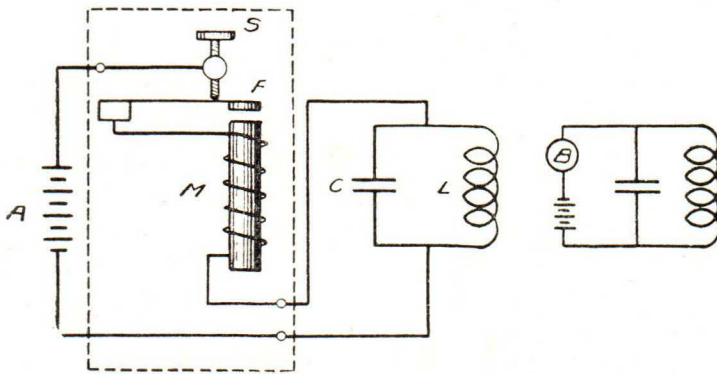


Fig. 5.

gennem en Spole. I Praksis vil man ikke bruge den her viste Metode, fordi det for det første vilde være ubekvem, stadigt at skulle haandtere den i Fig. 2 viste Omskifter, og for det

andet fordi man ved den langsomme Omskifterbetjening vilde faa omsat alt for smaa Energimængder til elektriske Svingninger. Man benytter derfor ofte den i Fig. 5 viste Metode til Frembringelse af svage, dæmpede Svingninger, navnlig i Laboratoriet. Man anvender her en Summer (Buzzer), der er indrettet omtrent som et elektrisk Ringeapparat, saaledes som Tegningen til venstre i Fig. 5 viser. Strømmen fra Elementet A passerer Kontaktskruen S, Metalfjederen F, Magnetviklingen M og Svingningskredsens Spole L. Fjederen F kommer nu i en svingende Bevægelse, hvorved den skiftevis slutter og afbryder Strømmen ved Kontaktskruen S, og da den samme intermitterende Strøm flyder i Spolen L, vil der ved hver Strømafbrydelse opstaa en dæmpet Svingningsrække i Svingningskredsen L—C. Det viste Arrangement fremstilles som Regel rent skematisk, som Tegningen til højre i Fig. 5 viser.

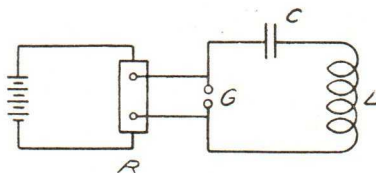


Fig. 6.

Endelig kan man ogsaa frembringe dæmpede Svingninger paa den i Fig. 6 viste Maade. Her er R en Induktionsrulle eller et andet Apparat, som kan frembringe elektriske Gnister, og disse Gnister lader man slaa over mellem Kuglerne i Gnistbanen G. Det indses imidlertid let, at man ikke vil faa nogen Gnist, før Strømmen fra R har ladet Kondensatoren C op til en passende høj Spænding, og før Gnisten slaar over har man heller ikke nogen lukket Svingningskreds, idet Kredsløbet er brudt ved Gnistbanen G. Men i samme Øjeblik, Gnisten slaar over ved G, dannes en ledende Strømvej mellem Kuglerne i Gnistbanen, og man vil da faa en dæmpet Svingningsrække i den lukkede Svingningskreds L — C — G. Svingningerne vil naturligvis kun vedvare i den Tid, Gnisten

eksisterer, saa hvis Gnisten dør bort efter et Tidsrum af f. Eks. en Titusindedel Sekund, og hvis Svingningernes Frekvens er 100 000, saa frembringes der altsaa for hver Gnistoverspring højest 10 hele Svingninger. Antager man nu, at Gnistfrembringeren kan give 500 Gnister i Sekundet, saa faar man altsaa i hvert Sekund 500 dæmpede Svingningstog med 10 Svingninger i hvert. Dette Forhold er grafisk frem-

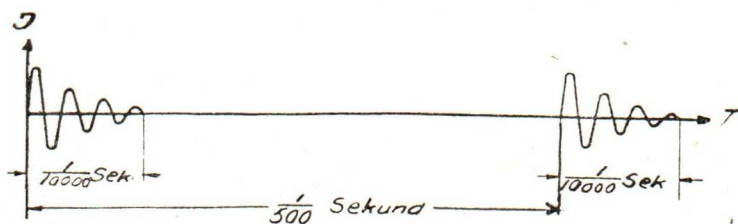


Fig. 7.

stillet i Fig. 7, hvor der af Pladshensyn kun er vist to Svingningsrækker, svarende til to Gnistoverspring med $1/500$ Sekunds Tidsforskel.

4. Som tidligere omtalt dæmpes Svingningerne mere eller mindre paa Grund af Energitaab i Svingningskredsen. Denne Dæmpning er naturligvis først og fremmest afhængig af den ohmske Modstand i Spole og Ledninger. Endvidere er den afhængig af Kondensatorens Godhed, idet der kan finde Tab Sted ved Afledning mellem Pladesættene, ligesom et uegnet Isolationsmateriale mellem Pladerne kan give Anledning til andre Energitaab, (dielektriske Tab). Atmosfærisk Luft mellem Pladerne giver de mindst muligt Tab, men gennembrydes lettere ved høje elektriske Spændinger, end mange af de faste Isolationsstoffer. Man vil endvidere finde, at Dæmpningen bliver desto større, jo større Kapacitet, Kondensatoren har, og jo mindre Spolens Selvinduktion er. Med stor ohmsk Modstand, stor Kapacitet og lille Selvinduktion i Svingningskredsen kan Dæmpningen blive saa stor, at der slet ikke vil opstaa Svingninger i Kredsen ved de foran forklarede Metoder. Kaldes Kredsens samlede ohmske Modstand R , Konden-

satorens Kapacitet C og Spolens Selvinduktion L , saa skal R være mindre end

$$2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

for at der overhovedet kan opstaa frie Svingninger i Kredsen. (R i Ohm, L i Henry og C i Farad).

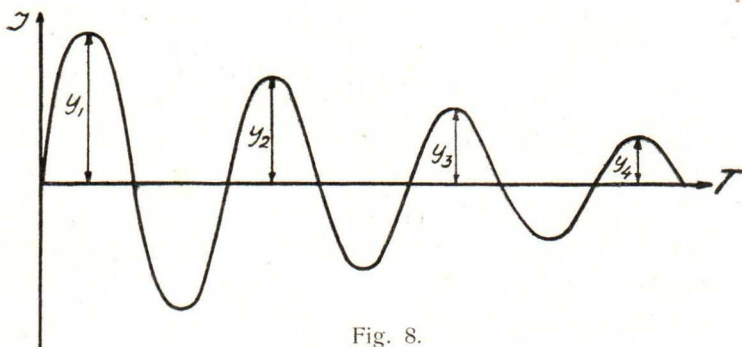


Fig. 8.

Fig. 8 viser Svingningerne i en svagt dæmpet Svingningskreds, og man ser, hvorledes Strøamplituderne bliver mindre og mindre for hver Periode. Kaldes den største Strøstyrke i hver positiv Halvperiode for y_1, y_2, y_3, y_4 , o. s. v., saa har man:

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{y_2}{y_3} = \frac{y_3}{y_4} \text{ o. s. v.}$$

Hvert af disse Forhold giver altsaa et Maal for Dæmpningen og kaldes *Dekrementet eller Dæmpningsforholdet*. Den naturlige Logaritme til et af disse Forhold kaldes *det logaritmiske Dekrement*.

5. Lige i Begyndelsen af en dæmpet Svingningsrække finder man naturligvis den største Energimængde i Svingningskredsen, idet denne Energi under Svingningsforløbet lidt efter lidt gaar tabt, hovedsageligt som Varme.

Kaldes Kodensatorens Kapacitet C og den størst forekom-

ne elektriske Spændingsforskel mellem Pladerne for e_{\max} , saa er den paa Kondensatoren ophobede Energimængde

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot e_{\max}^2$$

hvilket altsaa er hele den i Svingningskredsen værende Energimængde.

Denne Energimængde vil, bortset fra Strømvarmetab, et Øjeblik senere have sit Sæde i Spolen og i dennes Magnetfelt, og den kan derfor ogsaa udtrykkes ved Spolens Selvinduktion L og ved den største Strømstyrke i_{\max} , idet man har:

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i_{\max}^2$$

I disse Udtryk maales Spændingen e i Volt, Strømstyrken i i Ampere, Kapaciteten C i Farad, Selvinduktionen L i Henry og Energimængden W i Watt.

6. Som allerede nævnt, opstaar der dæmpede Svingninger i en lukket Svingningskreds, naar denne paa en eller anden Maade faar en pludselig elektrisk Impuls. Nu er Spørgsmaalet: Med hvilken Frekvens vil disse Svingninger opstaa, og hvoraf vil Frekvensen afhænge?

Det viser sig, og kan iøvrigt let udledes fra den almindelige Vekselstrømsteknik, at Frekvensen næsten udelukkende er afhængig af Kredsens Kapacitet C og Selvinduktion L . Maales disse Størrelser i henholdsvis Farad og Henry, bliver Frekvensen:

$$f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L \cdot C}}$$

Hvis man maaler Kapacitet og Selvinduktion i cm. bliver

$$f = \frac{3 \cdot 10^{10}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Man ser, at jo større Kapacitet og Selvinduktion bliver,

desto lavere bliver Frekvensen. Er saaledes $L = 1$ Hy. og $C = 1$ Farad, saa bliver f omtrent lig $\frac{1}{6}$, hvilket altsaa vil sige, at man kun faar $\frac{1}{6}$ Periode i 1 Sekund, eller at en hel Periode varer 6 Sekunder. Vælger man derimod Kapacitet og Selvinduktion meget lille, kan Frekvensen blive overordentlig høj, f. Eks. paa mange Millioner.

Dæmpede Svingninger, som opstaar ved en enkelt elektrisk Impuls i en Svingningskreds, kaldes frie Svingninger, og deres Frekvens er det, som vi vedtager at kalde Svingningskredsens Egenfrekvens.

7. Da elektriske Strømkredse naturligvis altid besidder ohmsk Modstand, saa indvirker enhver Svingningskreds mere eller mindre dæmpende paa alle elektriske Svingninger. Man har imidlertid Højfrekvensgeneratorer af forskellig Art, hvormed man er i Stand til at tilføre Svingningskredsen smaa Energimængder i hver Periode som Erstatning for den Energi, der tabes i Kredsen, og man opnaar herved elektriske Svingninger af konstant Styrke, de saakaldte *kontinuerlige Svingninger*.

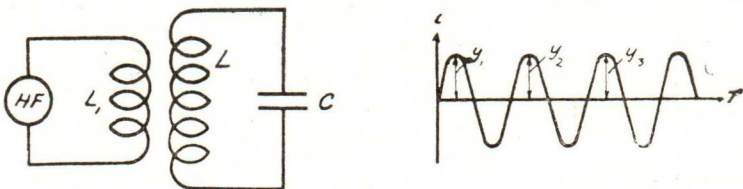


Fig. 9.

Rent skematisk er dette vist i Fig. 9, hvor man til venstre ser Højfrekvensgeneratoren for kontinuerlige Svingninger, som sender højfrekvent Vekselstrøm gennem Spolen L_1 . Denne Spole overfører ved Induktion sin Energi til Kredsen $L-C$, og i denne Kreds opstaar da de saakaldte udæmpede eller kontinuerlige Svingninger, som er grafisk fremstillet til højre i Figuren. Man ser her, at alle Maksimalamplituderne y_1 , y_2 , y_3 , o. s. v. er lige store, og Svingningerne vil saaledes fortsætte med uforandret Styrke, saa længe der tilføres tilstræk-

kelig Energi fra Højfrekvensgeneratoren.

Generatorer til Frembringelse af kontinuerlige højfrekvente Svingninger bliver nærmere omtalt i Bogens senere Af-snit.

8. De Svingningskredse, der hidtil har været omtalt, har kun bestaaet af en enkelt Spole og af en enkelt Kondensator, men de kan ligesaa godt bestaa af forskellige Kombinationer af flere Spoler og Kondensatorer. Har man to Spoler med Selvinduktion L_1 og L_2 forbundet i Serie (Se Fig. 10. [1]),

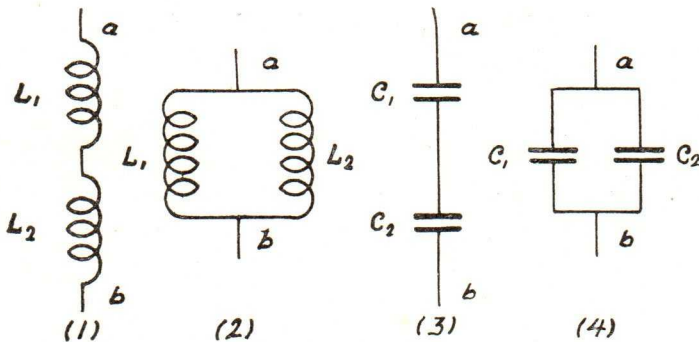


Fig. 10.

saa er den samlede Selvinduktion L , maalt fra a til b: $L_1 + L_2$, forudsat, at Spolerne er anbragt induktionsfrit i Forhold til hinanden. Under samme Forudsætning vil Spolerne i Parallelforbindelse (Fig. 10. [2]) tilsammen give en mindre Selvinduktion L , maalt fra a til b. Her har man til Bestemmelse af L

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

For Kondensatorer er Forholdet det omvendte, idet man for Serieforbindelse (Fig. 10 [3]) faar den samlede Kapacitet C , maalt fra a til b af

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

medens man for Parallelforbindelsen, Fig. 10 [4] faar: $C = C_1 + C_2$.

To Spoler, som sættes tæt sammen, anbringes lettest induktionsfrit i Forhold til hinanden paa den Maade, at den ene Spoles Viklingsplan staar vinkelret paa den anden Spoles Viklingsplan og ud for Midten af denne Spole.

Elektromagnetiske Bølger.

9. I den traadløse Telegrafi og Telefoni benytter man sig af den Omstændighed, at det er muligt, at faa de elektriske Svingninger til at udstraale Energi (Bølger), som kan modtages og paavises i stor Afstand fra Senderen. Den lukkede Svingningskreds, som vi hidtil har omtalt, udstraaler imidlertid meget lidt Energi; vil man have en kraftigere Energiudstraaling, maa man benytte den aabne Svingningskreds eller Antennen.

Den aabne Svingningskreds bestaar ligesom de lukkede af Kapacitet og Selvinduktion. Kun har den aabne Kreds en meget stor Afstand mellem Kondensatorens to Belægninger, saaledes at man mellem disse Belægninger faar et elektrisk Felt af stor Udstrækning. En saadan aaben Svingningskreds dannes i Praksis af Antenne og Jordforbindelse. Antennen bestaar som Regel af vandret ophængte Metaltraade, der ved Enderne er isolerede med Porcelænsæg eller lignende, og fra disse Traade fører en Metaltraad, Nedføring, ned til Sender eller Modtager, hvorfra der igen gaar en Forbindelse til Jord. I denne aabne Svingningskreds er Jorden den ene og Antennetraadene den anden Kondensatorbelægning. Selvinduktionen udgøres dels af eventuelle Spoler i Sender eller Modtager og dels af selve Nedføringstraadene og Antennetraadene. Man maa nemlig huske paa, at ogsaa retliniede Ledninger har Selvinduktion, som man ganske vist i Lavfre-

kvensteknikken som Regel kan se bort fra, men som man i Højfrekvensteknikken i meget høj Grad maa regne med, idet den induktive Modstand vokser med den benyttede Frekvens.

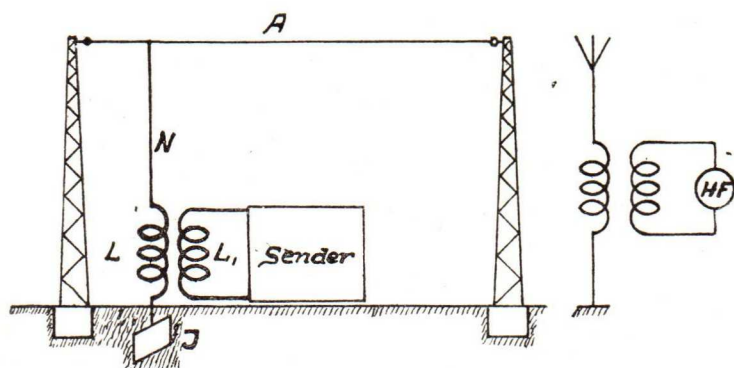


Fig. 11.

I Fig. 11 er til venstre vist en Antenne A, udspændt mellem to Master. Nedføringen N gaar til Spolen L, der atter er forbundet til Jordpladen J.

Fra Senderen sendes nu de højfrekvente Svingninger ved Induktion mellem Spolerne L og L_1 over i Antennesystemet. Dette Arrangement er vist rent skematisk til højre i Fig. 11.

Naar der sendes elektriske Svingninger op i Antennen, saa vil der fra denne udstraale elektromagnetiske Bølger i alle Retninger, og disse Bølger farer afsted med Lysets Hastighed, 300 000 km i Sekundet. Kaster man en Sten mod en stillestaaende Vandflade, saa ser man, at der dannes Bølgeringe uden om Nedslagsstedet, og at disse Bølgeringe vider sig ud i større og større Ringe, saa at Bølgebevægelsen snart er forplantet ud over hele Vandoverfladen. Paa lignende Maade kan man tænke sig, at de elektromagnetiske Bølger breder sig ud til alle Sider som Ringe omkring Antennen, kun er der her ikke Tale om Overfladebølger, men om rumlige Bølger, der ikke alene holder sig til Jorden, men ogsaa breder sig i Højden.

Disse Bølger bestaar af hurtigt varierende elektrostatiske og magnetiske Felter, og de har den Egenskab, at hvor de paa deres Vej træffer ledende Legemer, frembringer de i disse svage elektriske Svingninger i Takt med Svingningerne i den udstraalende Antenne.

Ligesaa vel som man kan tale om Afstanden mellem to Bølgetoppe paa en Vandoverflade, kan man i Radioteknikken tale om Afstanden mellem to positive Halvbølger, den saakaldte „Bølgelængde“, der sædvanligvis betegnes med det græske Bogstav λ .

Lad os foretage et lille Tankeeksperiment som det, der er

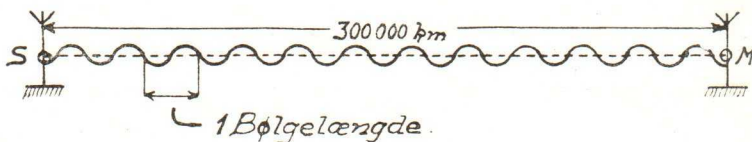


Fig. 12.

vist i Fig. 12. Her er S og M en Sender og en Modtager, der er anbragt 300 000 km fra hinanden. Senderen S begynder pludseligt at udsende Bølger med Frekvensen f , hvilket altsaa vil sige, at den i 1 Sekund udsender f hele Bølger, og vi antager endvidere, at den efter 1 Sekunds Forløb lige saa pludselig standser sin Udsendelse. Da Bølgerne nu forplanter sig med en Hastighed af 300 000 km i Sekundet, saa vil efter 1 Sekunds Forløb den først frembragte Bølge netop være naaet over til M, medens den sidst frembragte Bølge først lige har forladt Senderen S. Paa hele den 300 000 km lange Strækning befinder der sig altsaa i det betragtede Øjeblik f hele Bølger, og hver Bølge maa derfor have en Længde

$$\lambda = \frac{300000}{f} \text{ Kilometer.}$$

Da man som oftest udtrykker Bølgelængden λ i Meter, har man i al Almindelighed, idet f er Frekvensen

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{f} \text{ m.}$$

10. Hvis der opstaar frie Svingninger i en Svingningskreds med Selvinduktion L cm og Kapacitet F cm, saa faar, som tidligere omtalt, disse Svingninger en Frekvens f udtrykt ved

$$f = \frac{3 \cdot 10^{10}}{2 \cdot \pi \sqrt{L_{\text{cm.}} \cdot C_{\text{cm.}}}}$$

Vil man endvidere ogsaa udtrykke Bølgelængden λ i cm, har man

$$\lambda_{\text{cm.}} = \frac{3 \cdot 10^{10}}{f}$$

og af dette og Udtrykket for Frekvensen findes let denne simple Formel:

$$\lambda_{\text{cm.}} = 2 \cdot \pi \sqrt{L_{\text{cm.}} \cdot C_{\text{cm.}}}$$

Dette er det simpleste Udtryk for Bølgelængden, og det er særligt let at huske, da baade Bølgelængde, Selvinduktion og Kapacitet er maalt i Centimeter.

Til praktisk Brug kan dette Udtryk med tilstrækkelig Nøjagtighed skrives som:

$$\lambda_{\text{cm.}} = 6,28 \sqrt{L_{\text{cm.}} \cdot C_{\text{cm.}}}$$

Resonans. Kobling.

11. Naar en Vekselstrøm sendes gennem en rent induktiv eller en rent kapacitiv Modstand (Spole eller Kondensator), saa vil der opstaa en Faseforskydning paa 90° mellem Strøm og Spænding; det vil sige, at Strømmen gennem Kondensatoren eller Spolen er Nul i det Øjeblik, hvor Spændingen mellem Kondensatorens Plader eller mellem Spolens Ender har sin

højeste Værdi. Ser vi paa Tegning a i Fig 13, hvor en Kondensator og Spole er forbunden i Serie med en Vekselstrøms-generator G, saa maa det naturligvis være den samme Strøm,

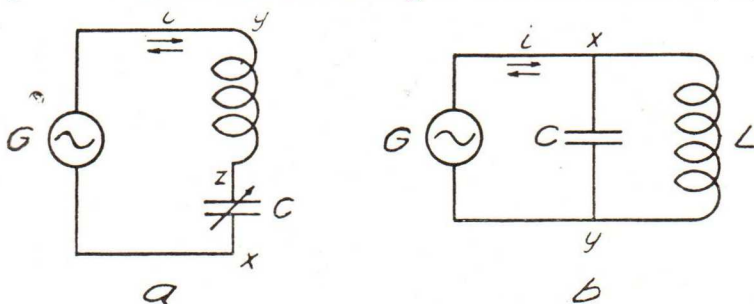


Fig. 13.

der passerer Spole og Kondensator, hvorimod man i Fig. 13, b ser at Kondensator og Spole her i hvert Øjeblik maa have den samme Spænding.

Vi skal ikke her komme nærmere ind paa Forholdet mellem Strøm og Spænding i de to Kredse. Disse Forhold behandles i den almindelige Vekselstrømsteknik,*) og vi skal derfor kun nævne følgende Fakta:

Modstanden, som en Spole med Selvinduktion L byder den elektriske Strøm, er $\omega \cdot L$, hvor ω er lig $2 \cdot \pi \cdot f$ (f er Frekvensen).

Modstanden gennem en Kondensator med Kapacitet C er derimod $\frac{1}{\omega \cdot C}$

Hvis Spole og Kondensator i Fig. 13 byder Vekselstrømmen den samme Modstand, saa har man altsaa:

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}, \text{ eller } \omega^2 = \frac{1}{L \cdot C}$$

$$\text{heraf faaes: } \omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \text{ eller } f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L \cdot C}}$$

*) Nærmere om Uledelsen af disse Formler vil f. Eks. kunne findes i Leth & Ree's Vejledning for Elektroinstallatører. 2. Del.

Man ser, at det fundne Udtryk er det samme, som tidligere er opgivet for Frekvensen af de i en Svingningskreds opstaaede frie Svingninger, og man siger i de foreliggende Tilfælde, at *Strømkredsen er i Resonans med den paatrykte Frekvens.*

12. I Fig. 13 a er Kondensatoren vist variabel, for at man med den kan afstemme Kredsen til Resonans med Generatorfrekvensen. Har man opnaaet Resonans, opfører de to Kredse sig forskelligt. I a vil Strømkredsen praktisk talt slet ingen Modstand yde mod Vekselstrømmen, saa man vil raa en meget kraftig Strøm gennem Spole og Kondensator, medens Spændingen maalt mellem Punkterne x og y, og dermed Generatorspændingen omtrent falder til Nul. Derimod vil der optræde betydelige Spændinger mellem Punkterne x og z og mellem z og y.

I Fig. 13 b vil man i Tilfælde af Resonans næsten ikke kunne faa Generatoren til at drive Strøm gennem Svingningskredsen L — C.

Denne Svingningskreds virker som en umaadelig høj Modstand mod Generatorstrømmen, og man vil derfor maale Generatorens fulde og normale Spænding mellem Punkterne x og y. Derimod vil der indenfor selve Svingningskredsen L — C løbe meget kraftige Strømme mellem Spole og Kondensator med den samme Frekvens, som Generatoren giver.

Hvis man nu forstemmer Svingningskredsen, d. v. s. ændrer den Indstilling af Kondensatoren, hvor man havde Re-

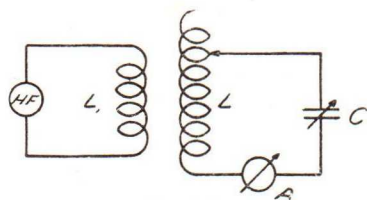


Fig. 14.

sonans, saa vil Generatoren komme til at afgive mere og mere Strøm, medens Strømmen indenfor selve Svingningskredsen aftager stærkt.