

Radiotelegrafie: het logaritmisch decrement bij de Dennert & Pape 36, Telefunken Simon van der Salm

Dit artikel refereert aan het artikel van Guus Craenen, dat in oktober 2014 verscheen in de RST-Brief. Zie [1]. Dit artikel wordt in deze MIR 69 besproken. Zie [2]. In dit artikel worden enige radiotelegrafische begrippen besproken die tot de context horen van deze specialistische rekenliniaal.



De naam Telefunken

[1] verwijst naar de historie van *Telefunken*. De goed gekozen firmanaam verwijst naar de toenmalige zendtechniek met vonkzenders, een radiotechniek die aan het einde van de negentiende eeuw ontstond, met name door het werk van Marconi, zich gedurende de eerste twee decennia van de twintigste eeuw in hoog tempo ontwikkelde, maar al weer snel verdween toen betere technieken beschikbaar kwamen. De Telefunken-liniaal van Dennert & Pape werd halverwege deze periode op de markt gebracht. Kennelijk voorzag hij in de behoefte om een aantal steeds weer terugkerende berekeningen snel te kunnen uitvoeren.

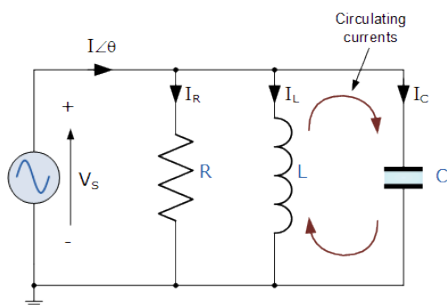
Merkwaardige eenheden

De D&P-36 is op zichzelf van belang, maar ook omdat hij past in het historische beeld van de radiotechniek van het begin van de twintigste eeuw. Eén van de eigenaardigheden van die radiotechniek was het gebruik van lengte-eenheden voor de elektromagnetische grootheden. Zo zien we dat op de Telefunken-liniaal zelfinductie en capaciteit werden uitgedrukt in *centimeter* en niet in de hedendaagse SI-eenheden henry en farad. Verder zien we in [1] dat de formule voor de golflengte niet de lichtsnelheid $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bevat, maar direct de golflengte in cm geeft.

Het gebruik van deze afwijkende eenheden duidt op de nogal onhandige en onderling inconsistente uitbreidingen van het gram-, centimeter-, seconde-eenhedenstelsel (g.c.s.) met elektromagnetische en elektrostatische eenheden.

In verband met vonkzenders speelt het begrip *logaritmisch decrement*, aangeduid met \mathcal{G} een belangrijke rol. De Telefunken-liniaal geeft daarvoor een berekening aan de hand van de *formule van Bjerknæs*. Deze formule drukt echter capaciteit niet uit in de lengte-eenheid cm, maar zeer ongebruikelijk in graden. Dus, op de Telefunken-liniaal wordt capaciteit in twee verschillende en ongebruikelijke eenheden uitgedrukt.

Radiotechniek tussen 1910 en 1920



Rond 1910 werd radio uitsluitend gebruikt in de vorm van radiotelegrafie. Een hoogfrequent aan-uit-sigitaal (hf) werd uitgezonden door een vonkzender en een eenvoudige detector (coherer) ving het signaal aan de radiozijde op. Op deze wijze stuurde men in morse gecodeerde berichten van zender naar ontvanger. Vooral de naam van *Marconi* is met deze techniek verbonden, denk aan het woord *marconist*.

Fig. 1. Een parallel-resonantiekring

Marconi bracht de veldentheorie daadwerkelijk in de praktijk. De theorie van elektromagnetische golven was al in 1873 beschreven door *Maxwell* en rond 1890 experimenteel bevestigd door *Hertz*.

Een belangrijke ontdekking was dat de parallelschakeling van een spoel en een condensator (maar ook de serieschakeling) voor een heel specifieke frequentie f_0 een resonantie-effect vertoont dat voor het functioneren van zenders en ontvangers essentieel zou blijken te zijn. Zie fig.1.

In 1906 ontwierp *Lee de Forest* de triode, een elektronenbuis waarmee elektrische signalen kunnen worden versterkt. Zie fig.2.

Fig. 2. Triode van Lee de Forest, ± 1912

De Oostenrijkse ingenieur *Meissner* combineerde in 1913 resonantiekring en triode in een schakeling, de *Meissnerterugkoppeling*, een oscillator die een stabiel, continu hoogfrequent signaal van één frequentie kan produceren met een relatief groot vermogen. Zie [4].

Men ontdekte dat de amplitude van het hf-signaal kon worden gevarieerd in het ritme van een laagfrequent signaal (lf), waardoor continue informatie elektromagnetisch kon worden overgedragen: *amplitudemodulatie* (AM) zag het licht. Radiotelegrafie ging al snel over in radiotelefonie.

Opmerkelijk is dat ook aan de ontvangstkant gebruik werd gemaakt van een resonantiekring, maar daar om de radio selectief te maken voor één specifieke afstemfrequentie.

De Nederlander H. Schotanus à Steringa *Idzerda* was de eerste die de nieuwste technieken met elkaar wist te combineren tot een bruikbaar product. Op 5 november 1919 verzorgde hij (mogelijk) de eerste openbare en commerciële radio-uitzending ter wereld. Zie [3].

Resonantiefrequentie

Sommige berekeningen met de Telefunkenliniaal van 1911 zijn gebaseerd op formules die het frequentieafhankelijke gedrag van de resonantiekring in fig.1 beschrijven in relatie tot de golflengte van het uitgezonden signaal. De resonantiefrequentie van een parallelkring van spoel met een zelfinductie L en een condensator met een capaciteit C is afgeleid door *Thomson* (de latere Lord Kelvin):

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

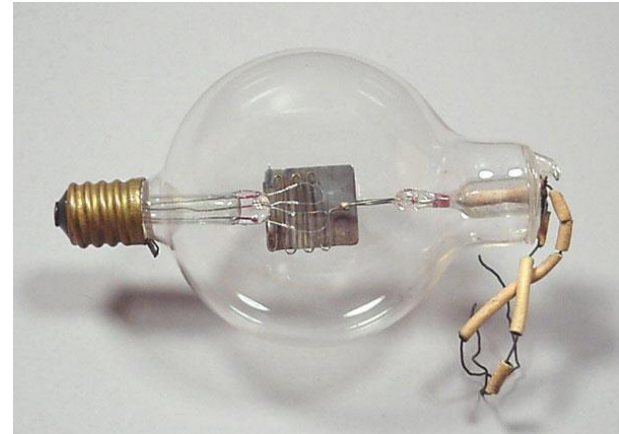
De golflengte van de uitgezonden elektromagnetische golf bedraagt dus:

$$\lambda = 3 \cdot 10^8 \cdot 2\pi\sqrt{LC} \text{ m} \quad (2)$$

Althans dat is de met het SI-eenhedenstelsel samenhangende formule die we tegenwoordig gebruiken.

Het g.c.s.-eenhedenstelsel

Interessant aan de Telefunkenliniaal is dat zelfinductie L en capaciteit C worden uitgedrukt in de eenheid cm. Dat stamt uit de tijd dat men nog worstelde met elektrostatische en elektromagnetische eenheden. Men werkte met het g.c.s.-eenhedenstelsel (gram, centimeter, seconde) en men trachtte de elektrische eenheden te herleiden tot de drie basiseenheden van het g.c.s. Er ontstonden verschillende uitbreidingen van het g.c.s.-stelsel, die onderling inconsistent waren. Later ontdekte men dat een afzonderlijke



elektrische grootheid als basisgrootheid moet worden gekozen om een coherent en consistent eenhedenstelsel te vormen. Zo is de *ampère* gekozen als basiseenheid in het SI.

Omgerekend naar SI-eenheden geldt:

$$\begin{aligned} L : 1 \text{ elektromagnetische cm} &\hat{=} 1 \text{ nH} \\ C : 1 \text{ elektrostatistische cm} &\hat{=} 1,112\,650 \sim \text{pF} \end{aligned} \quad (3)$$

Zie [5], p.75 -76.

De cm-golflengte

Opmerkelijk is dat de formule van Thomson voor c.g.s.-eenheden, waarvan de Telefunkenliniaal gebruik maakt, direct de golflengte in cm geeft:

$$\lambda = 2\pi\sqrt{LC} \text{ cm} \quad (4)$$

De lichtsnelheid c zit in de toegepaste eenheden verscholen, met name in het product van elektrische en magnetische permeabiliteit van vacuüm. Het gebruik van de cm als eenheid van zelfinductie en capaciteit maakt het werken met de formule van Thomson gemakkelijk. Zie formule (1) in [1].

Het logaritmisch decrement \mathcal{G}

Bij het steeds uitschakelen van vonkzenders voor telegrafie had men te maken met uitdempende radiogolven. Zie fig. 3. Dat uitslingerverschijnsel wordt veroorzaakt doordat de zender een resonantiekring vormt die, na uitschakelen, zijn energie moet kwijtraken. De snelheid waarmee dat gebeurt, is afhankelijk van de ohmse verliesweerstand R en zelfinductie L in de schakeling.

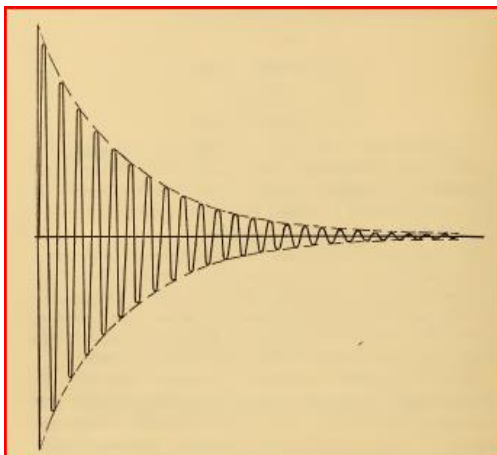


Fig.3. Uitslingerverschijnsel van een resonantiekring.

De amplitude van het sinusvormige signaal neemt af volgens $e^{-\alpha t}$, waarbij de constante α wordt bepaald door verliesweerstand R en zelfinductie L van de resonantiekring.

Onder het *logaritmisch decrement* van de golfreus verstaat men de exponent van de demping tijdens één periodesduur:

$$\mathcal{G} = \alpha \cdot T_0 = \frac{\alpha}{f_0} \quad (5)$$

Uitgedrukt in de materiaalconstanten van de kring is dat:

$$\mathcal{G} = \frac{R}{2f_0L} \quad (6)$$

Zie [6], p. 139 en [7] p. 423-424.

In de praktijk zitten deze materiaalconstanten in allerlei onderdelen van de zender verscholen, zodat het moeilijk was een goed idee te krijgen van hun exacte waarden. Daarom ontwikkelde men rond 1910 apparatuur om het logaritmisch decrement direct te kunnen meten. Een dergelijke meter is de *decrementer*, waarvan [7] een complete verhandeling uit 1914 geeft. Zie fig.4 voor een principeschema.

Bjerknes ontdekte een eenvoudige, benaderende formule waarmee snel het logaritmisch decrement is te berekenen.

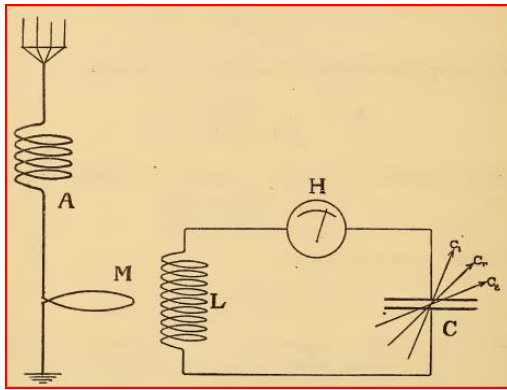
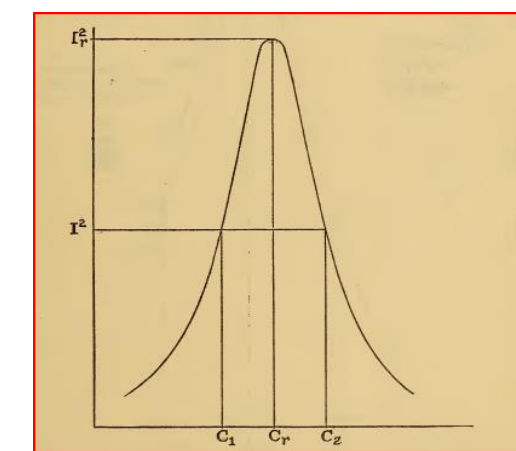


Fig.4. De decremeter: een resonantiekring losjes gekoppeld aan het antennecircuit van een zender. Een nauwkeurige, logaritmische variabele condensator met gradenverdeling vormt het belangrijkste onderdeel. H is een hittedraadmeter waarvan de uitslag evenredig is met het kwadraat van de stroom.

Men verstemt twee maal de kring, één keer links van f_0 en één keer rechts, totdat het kwadraat van de stroom de helft is van het kwadraat van de stroom bij resonantie. Zie fig. 5. Uit slechts de condensatorwaarden C_1 en C_2 bij twee verstemmingen van de kring ten opzichte



van de resonantiefrequentie f_0 , waarbij het kwadraat van de stroom nog de helft is van het kwadraat van de stroom bij resonantie is het decrement af te leiden:

$$g = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_r} \quad (7)$$

Zie [1], formule (2).

Door het lineaire verband tussen de gradenverdeling op de wijzerplaat van de variabele condensator en de capaciteit, zijn de drie capaciteiten C in (7) recht evenredig met de graden op de schaal. Het is deze gradenverdeling waarvan de Telefunken-rekenliniaal gebruik maakt en daarom worden de capaciteiten in graden uitgedrukt.

Fig.5. Het verstemen van de resonantiekring

Referenties

- [1] Craenen, G, *Telefunken-Rechenschieber für drahtlosen Nachrichtenverkehr*, 0412_SUHP029.pdf Rechenschieber-Brief 29, ab 31. März 2014: <http://www.rechenschieber.org/Telefunken.pdf>.
- [2] Salm, S. van der, bespreking van *Telefunken-rechenschieber für drahtlosen Nachrichtenverkehr* door Guus Craenen, MIR 69, oktober 2015.
- [3] Boer, P.A. de, à *Steringa Idzerda, de pionier van de radio-omroep*, De Muiderkring N.V., Bussum, 1969.
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Meissner_oscillator
- [5] Fenna, D., *Oxford Dictionary of Weights, Measures and Units*, Oxford University Press, Oxford, 2002.
- [6] Terman, F. E., *Radio Engineers' Handbook*, 1st edition, McGraw-Hill Book Company, Inc, New York, London, 1943.
- [7] Kolster, F.A., *A Direct-reading Instrument for Measuring the Logarithmic Decrement and Wave length of Electromagnetic Waves*, Bulletin of the Bureau of Standards, Washington, Vol. 11, 1914. Zie de website: http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/bulletin/11/nbsbulletinv11n3p421_A2b.pdf.

Figuren:

1. <http://www.electronics-tutorials.ws/accircuits/parallel-resonance.html>
2. http://uv201.com/Tube_Pages/deforest_audion.htm
3. [7] p.422.
4. [7] p.428.
5. [7] p.429.