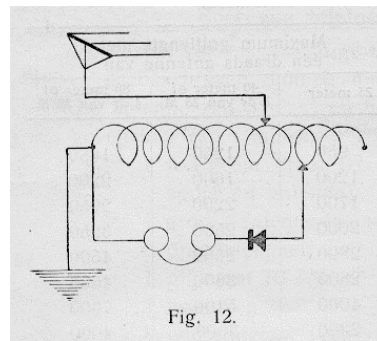
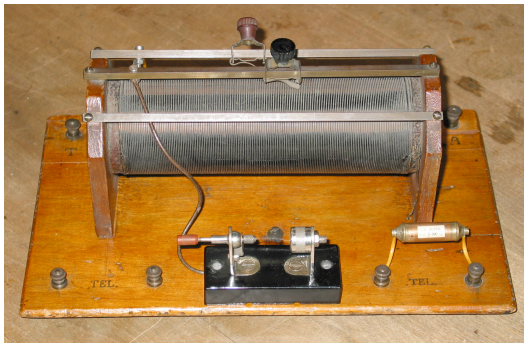


Kristalontvanger met glijspoel

E.H. Dooijes / juli 2009, revisie juni 2014

Deze kristalontvanger, vermoedelijk van Frans fabrikaat, vond ik op een veiling, achteloos in een doos gesmeten samen met andere verrassingen.

De fysieke toestand van het apparaatje liet te wensen over: het hout was op diverse plaatsen flink gekraakt, de toch al schaarse bedrading zat los of ontbrak, en de ebonieten kristalhouder was gebroken. Ook meende ik aanvankelijk dat het apparaat incompleet was, omdat er geen enkele condensator te bekennen was. Maar dat bleek een overhaaste conclusie. In Corver [1] vond ik schema's van kristalontvangers met precies de onderdelen die ik had gevonden. Om te functioneren was alleen nog een antenne, 'aarde' en een hoog-ohmige koptelefoon nodig.



Het idee is dat de werkzame zelfinductie van de spoel met een glijcontact zo wordt ingesteld dat, dat samen met de capaciteit van de antenne aan de resonantievoorwaarde is voldaan bij de frequentie van het gezochte radiostation.

Om te zien hoe dit werkt heb ik wat berekeningen gemaakt (zie verderop) die er op neer komen dat de *effectieve* (zie verderop) capaciteit van een 10 meter lange antenne bij 1 MHz ongeveer 132 pF is.

Uit de resonantievoorwaarde $\omega^2 LC = 1$ volgt dan $L = 191 \mu\text{H}$ voor afstemming van de antenne-schuifspoelcombinatie op 1 MHz.

De spoel op de foto heeft $n = 167$ windingen over een lengte van $l = 175$ mm, diameter $d = 60$ mm, draaddikte 1 mm.

Volgens de veel toegepaste benaderingsformule van Wheeler [2] is de zelfinductie van de hele (eenlaags) spoel te berekenen uit

$$L = \frac{d^2 n^2}{l + 0.45d} \quad (\text{binnen } 1\% \text{ nauwkeurig als } l > 0.4d)$$

waarin l en d worden uitgedrukt in meters, en L in μH .

Het resultaat is $L_{\text{max}} = 497 \mu\text{H}$. De met een R&S LARU *gemeten* waarde is $488 \mu\text{H}$.

In de bovenstaande formule (die overigens praktisch overeenstemt met de in het boek van Corver al in 1923 gepubliceerde formule) zien we dat de zelfinductie afhangt van het kwadraat van het aantal windingen.

Om in het bovengenoemde voorbeeld resonantie te krijgen moeten we de spoel verkleinen (dwz aftakken) tot n' windingen waarbij $(n'/n)^2 = 191/497$ met $n = 167$, waaruit volgt dat $n' = 104$ of ongeveer $2/3$ van de spoellengte.

Laten we nu eens kijken naar enkele praktische resultaten van Corver.

In de volgende tabel heb ik de zelfinducties van de spoelen uit de bovenstaande tabel van Corver berekend, en daarbij de antennecapaciteit die nodig is om af te kunnen

stemmen op de door Corver genoemde grootste bij de spoel passende golflengte, dat is de golflengte waarop wordt afgestemd als de aftakking helemaal naar het eind van de spoel geschoven wordt.

No.	Spoel					Maximum golflengte met één draads antenne van		
	d	l	d'	n	D	25 meter	40 meter of 2 dr van 25 M.	80 meter of 4 dr van 25 M.
1	6	18	0.7	13	45	950	1250	1650
2	5	35	0.6	15	85	1200	1600	2200
3	5	49	0.6	15	120	1700	2200	2950
4	6	14	0.3	28	75	2000	2500	3250
5	10	35	0.6	15	165	2800	3600	4500
6	8	67	0.7	13	220	2800	3600	4500
7	10	67	0.6	15	315	4000	5100	7000
*8	4.5	10.5	0.15	50	75	2300	3000	4000
*9	10.3	3.8	0.15	50	62	2100	2600	3500

* Deze spoelen zijn met te dun draad gedacht om er glijcontactspoelen van te maken. Over de constructie van spoelen van zoo dun draad zie volgend hoofdstuk.

Tenslotte heb ik uitgerekend wat de effectieve capaciteit is van de door Corver gebruikte horizontale antenne van 25 m lengte. Eigenlijk is het alleen een schatting; zie verderop hoe ik deze heb gemaakt.

spoel nr	zelfinductie μH	λ_{\max} m	C_{res} pF	C_{eff} pF	opmerkingen
1	958	950	270	294	
2	1855	1200	220	290	
3	2640	1700	310	286	
4	3337	2000	340	285	
5	7013	2800	310	284	'korte-antenne' aanname hier niet geldig
6	6893	2800	320	284	'korte-antenne' aanname hier niet geldig
7	14166	4000	320	284	'korte-antenne' aanname hier niet geldig
8	4489	2300	330	285	
9	4654	2100	270	285	

We zien dat de berekende effectieve antennecapaciteiten in kolom 5 aardig kloppen met de resonantie-capaciteiten in kolom 4. Het is duidelijk dat de effectieve capaciteit in het gebied waar de korte-antenne aanname geldig is nauwelijks afhankelijk is van de golflengte. (De 'korte-antenne' aanname houdt in dat de lengte van de antenne klein, maar ook weer niet te klein is t.o.v. de golflengte. De gebruikte vereenvoudigde formules zijn alleen onder die voorwaarde geldig).

Effectieve antennecapaciteit

Om de effectieve antennecapaciteit te schatten ik de volgende berekening gemaakt, gebaseerd op een aantal vereenvoudigende aannamen.

Met *effectieve* capaciteit bedoel ik de capaciteit die de afstemkring 'ziet' als de antenne er op is aangesloten. De reactantie van een korte antenne is altijd capacitief, maar de capaciteit is afhankelijk van de relatie tussen antennelengte en golflengte, en ook nog van omgevingsfactoren.

Als antenne en aarde tegelijk neem ik een vrije, korte dipool. Vrij betekent hier: niet in de buurt van objecten die de antenne kunnen beïnvloeden. Kort betekent volgens de gangbare definitie dat de totale lengte L tussen $1/50$ en $1/10$ van de te ontvangen golflengte λ ligt. De stroomverdeling langs de draad verloopt dan bij goede benadering lineair van het aandrijpgpunt (maximale stroom) naar de beide einden (stroom nul). Die aanname maakt de formules een stuk overzichtelijker terwijl ze toch een goede benadering geven.

NB het volgende verhaal geldt dus niet voor kortegolf-antennes, die meestal een geheel aantal halve golflengten lang zijn.

De impedantie in het aandrijpgpunt van zo'n korte dipool is $Z = R + jX$, waarin voor de reactantiecomponent geldt ([3] blz 410):

$$X = -120 \cdot \frac{\ln(L/a) - 1}{\tan(2\pi L/\lambda)} \quad (1)$$

Voor een complete vrije, korte dipool met totale lengte $L = 20$ m, $\lambda = 300$ m, doorsnede van de draad $a = 1$ mm vinden we een reactantie $X = -2427 \Omega$. Het - teken betekent dat de reactantie capacitief is.

Met frequentie $\nu = c/\lambda = 1$ MHz is de effectieve capaciteit $C_{\text{eff}} = 1/(\omega|X|) = 66$ pF, met $\omega = 2\pi\nu$ (de hoekfrequentie), en $c = 3 \cdot 10^8$ m/s (de lichtsnelheid).

In het geval van een korte *halve* dipool loodrecht op een geleidend oppervlak ('groundplane') is de aandrijpgpunt-impedantie de helft van bij een complete dipool. Dat is in te zien door te bedenken dat het geleidend oppervlak werkt als een spiegel waarin de virtuele andere helft van de dipool te 'zien' is. De effectieve capaciteit is dan juist tweemaal zo groot.

Voor een groundplane-antenne met lengte $L/2 = 10$ m vinden we dus $C_{\text{eff}} = 132$ pF, en uit de resonantievoorwaarde $\omega^2 LC = 1$ volgt dan $L = 191 \mu\text{H}$ voor afstemming op 1 MHz.

Een ontvangstantenne van 10 meter lang is, anders dan de vroegere zendmasten in Lopik, in de praktijk natuurlijk nooit uitgevoerd als verticale groundplane-antenne. Meestal is het een min of meer horizontale draad enkele meters boven de grond, met 'aarde' als 'tegenwicht'. Een theoretische analyse is dan niet te doen. Wel kunnen met een modern eindige-elementen-simulatieprogramma de parameters van zo'n antennesysteem worden berekend. Maar het is dan heel moeilijk te voorspellen wat de invloed zal zijn van (zelfs kleine) wijzigingen of onbekende factoren, zoals de hoogte en omgeving van Corver's antenne.

We zien echter in de tabel dat de voor een groundplane-antenne berekende effectieve antennecapaciteiten redelijk kloppen met de resonantie-capaciteiten in kolom 4. Blijkbaar is de groundplane-antenne een voor dit doel (!) bruikbare benadering van het geval van de horizontaal (op onbekende hoogte) opgehangen antenne. Ook is duidelijk dat de effectieve capaciteit in het gebied waar de korte-antenne aanname geldig is niet erg sterk afhankelijk is van de golflengte.

In Philips Electronenbuizen IV [4] wordt opgemerkt dat - in overeenstemming met het bovenstaande - de doorsnee capaciteit van de (middengolf) ontvangstantenne 200 pF is.

Telefooncondensator

Een bekende verbetering van het bovenstaande schema van Corver - in hetzelfde boek al aanbevolen - is het aanbrengen van een condensator over de (hoogohmige) koptelefoon. Deze dient om voor in de detector ontstane hoogfrequente mengproducten tussen draaggolf en zijbanden het circuit te sluiten.

Op de antieke condensator (bovenstaande foto) lezen we '3000 cm'. Als eenheid van capaciteit is dus, zoals wel vaker in die tijd, de 'centimeter' gebruikt.

Een 'centimeter' is de capaciteit van een geleidende bol met een *straal* van 1 centimeter, ten opzichte van een zeer ver weg gelegen omringend geleidend oppervlak. Er geldt dat 1 centimeter overeenkomt met 1.1 pF.

Behalve capaciteit werd trouwens ook zelfinductie destijds in centimeters uitgedrukt (1 cm is dan exact gelijk aan 1 nH), maar daar is men al voor het begin van het radio-tijdperk vanaf gestapt

Restauratie van de kristalontvanger

De vele barsten en breuken in het houten plankje zijn gelijmd met houtlijm. De kristalhouder is gelijmd met twee-componentenlijm. De bedrading is opnieuw aangebracht met blanco montagedraad, zonder soldeerverbindingen. De banen van de glijcontacten zijn voorzichtig schoongemaakt met een glasvezelborsteltje. De foto boven toont het resultaat. Inmiddels is het apparaatje niet meer in mijn bezit.

Referenties

- [1] J. Corver: Het draadloos amateurstation voor ontvangst van telegrafie en telefonie. Vierde, herziene druk. Veenstra, Den Haag 1923.
- [2] H.A. Wheeler: Simple inductance formulas for radio coils. Proc. I.R.E., vol. 16, pp. 1398-1400, Oct. 1928.
- [3] C.A. Balanis: Antenna theory, analysis and design. Second edition, Wiley 1997.
- [4] B.G. Dammers e.a.: Toepassing van de electronenbuis in radio-ontvangtoestellen en versterkers. Electronenbuizen IV, Meulenhoff 1947.