

De bierblikrolspoel

door Wim Kruyf PAoWV

De prijs die betaald moet worden voor een goede rolspoel op de doorsnee rommelmarkten is voor menigeen een drempel om zoiets aan te schaffen voor een nog te bouwen antennetuner.

Wim PAoWV beschrijft in dit artikel de consequenties van het gebruik van een uitschuifbare kern voor een spoel, welke als alternatief zou kunnen dienen voor de rolspoel.

Op de dag van de radioamateur 2010 in Apeldoorn stond traditiegetrouw PAoJBB met zijn Kiwa seinsleutels op de zelfbouw-tentoonstelling, hij toonde tevens een innovatief idee: namelijk een spoel met als kortsluitwinding een ingeschoven aluminium bierblik.

Een en ander werd bij zus en zoveel vermogen, opgesteld als onderdeel van een antennetuner, niet bepaald warm naar zijn zeggen, maar dat is tamelijk vaag.

Het idee is waard nader onderzocht te worden, want rolspoelen zijn moeilijk verkrijgbaar, prijzig, en het contactwielje blijft een zwak punt. Je kunt met geschakelde aftakkingen werken op een vaste spoel maar dat is lastig te automatiseren in een automatische antennetuner, en aan de schakelcontacten worden ook zware eisen gesteld. Een continu variabele spoel is dan een fraaiere oplossing.

De probleemstelling

Wat we willen weten is hoe de Q van de spoel met een ingeschoven aluminium bierblik als kern is, in vergelijking met de Q van een zelfde spoel waarvan een deel van de wikkeling is kortgesloten om dezelfde zelfinductie te bereiken. De Q bepaalt immers het rendement van een antennetuner.

Eenlaagluchtspoelen

Een tankkringspoel valt onder de categorie eenlaagluchtspoelen.

Daarvan kun je theoretisch de zelfinductie bepalen als de lengte diameter en het aantal windingen gegeven zijn. Dat is al in 1933 gebeurd en de resultaten zijn her en der te vinden waarbij 'der' hier Terman Radio Engineers Handbook eerste editie blz. 53 is. De onderliggende theorie gaat uit van een uniform verdeelde stroomhuid op de spoelkoker. Daaruit volgt dat voor een bepaalde spoelkoker de zelfinductie evenredig is met het kwadraat van het aantal windingen als de spoelkoker gelijke afmetingen houdt.

Dat blijkt ook uit de formule, als de dia-

meter en de lengte van de cilindervormige spoelkoker gegeven zijn is de zelfinductie $L = F \cdot n^2 \cdot D$. Factor F is een functie van D/l (diameter/lengte spoelkoker) en die is op een flink aantal decimalen nauwkeurig in tabellen te vinden.

Dat is allemaal een heel geprak in een zakjapanner en daarom heb ik de tabel verwerkt in een programma, dat de zelfinductie berekent als je het aantal windingen, de lengte en de diameter van de spoel opgeeft, de rekenarij is inclusief een tweedegraads Newton interpolatie tussen de tabelwaarden. Dat programma, dat draait in een DOS box op een windows operating system, is te vinden op mijn website www.xs4all.nl/~pa0wv/fnnd.exe. Het biedt ook nog de mogelijkheid een aftakking op de spoel aan te brengen.

Van het zendexamen weten we nog dat als je twee spoelen in serie zet L1 en L2 en die zijn niet gekoppeld, dat de totale zelfinductie van de serieschakeling dan L1 + L2 is. Zijn ze echter wel gekoppeld dan is de zelfinductie L1 + L2 + 2M met de wederzijdse inductie M = k·√(L1 · L2).

Wederzijdse inductie M henry wil zeggen

dat als er een toename van de stroom per seconde van 1 ampere is in de eerste spoel dat dan in de tweede spoel M volt wordt opgewekt. Serieverliesweerstand spelen daarbij dus geen rol.

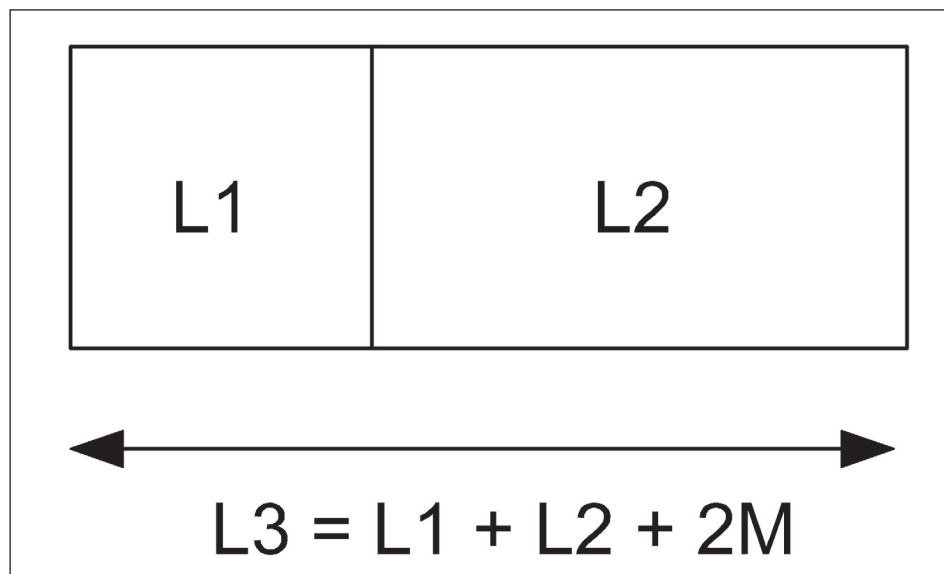
k is de koppelfactor, die geeft aan welk deel van de veldlijnen van spoel 1 door spoel 2 loopt. De grootte van k ligt dus altijd tussen 0 en 1.

Als we een kortgesloten winding met zelfinductie L1 in de buurt houden van een spoel L2 dan daalt de zelfinductie van de spoel L2 tot L2 (1 - k²). Dat is dus onafhankelijk van de grootte van L1, slechts de koppelfactor speelt een rol. Dat is te berekenen op de achterkant van een postzegel, als je verliesvrije spoelen aanneemt.

Om te kunnen rekenen aan de bierblikrolspoel moeten we dus om te beginnen de k weten. Die kun je natuurlijk nauwkeurig meten aan de hand van de zojuist gegeven formule, maar ik zit in mijn stoel, met een glas port en heb grote weerstand om op te staan, laat staan een blik bier te gaan zoeken, dus ik ga lui achterover zittend rekenen met het voordeel, dat ik de zendexamenkennis die een beetje aan het wegzakken is, weer wat opfris.

We stellen de diameter van het bierblik gelijk aan die van de spoel, dat is niet waar maar bijna waar, en als je het als waar aanneemt kunnen we eraan rekenen met de eenvoudige theorie, wat het inzicht verhoogt en tot conclusies leidt die hoogstwaarschijnlijk ook kloppen als het bierblik iets slanker is dan de diameter van de spoel. Wat in de praktijk uiteraard noodzakelijk is, omdat je hem anders niet als kern in de spoel kunt laten zakken. Als een en ander perspectieven biedt kun je altijd nog gaan meten als je het rekenwerk niet vertrouwt. Dan controleer je dus voor een of enkele gevallen terwijl het rekenwerk een veel wijdere strekking heeft.

Figuur 1



Uit de Termantabel kun je ook de k berekenen, zoals ik in CQ-PA dec. 2006 in een verhaal over de verliezen en het aanpassingsbereik van antenntuners met magnetisch gekoppelde spoelen heb bedacht en uitgevoerd.

De koppelfactor k van 2 spoelkokers, als die spoelen gelijke diameter hebben en de hartlijnen samenvallen, en ze elkaar raken, is te berekenen met de spoeltabel. Je weet namelijk uit de tabel spoel L1 en spoel L2 en de totale spoel L3, dus je kunt de k berekenen. Figuur 1 geeft een toelichting. De spoelen mogen een verschillende spoed hebben, maar voor de berekening van k moet je een gelijke spoed, doet er niets toe welke, in de berekening toepassen. Weet je eenmaal de k, dan is voor spoelen met verschillende spoed die k niet anders. Dat is de essentie van het rekenwerk.

Lastiger, maar met groeiend inzicht ook te doen, is de koppelfactor berekenen tussen de delen van een spoel die uit 3 delen bestaat, of van 2 spoelen die elkaar niet raken.

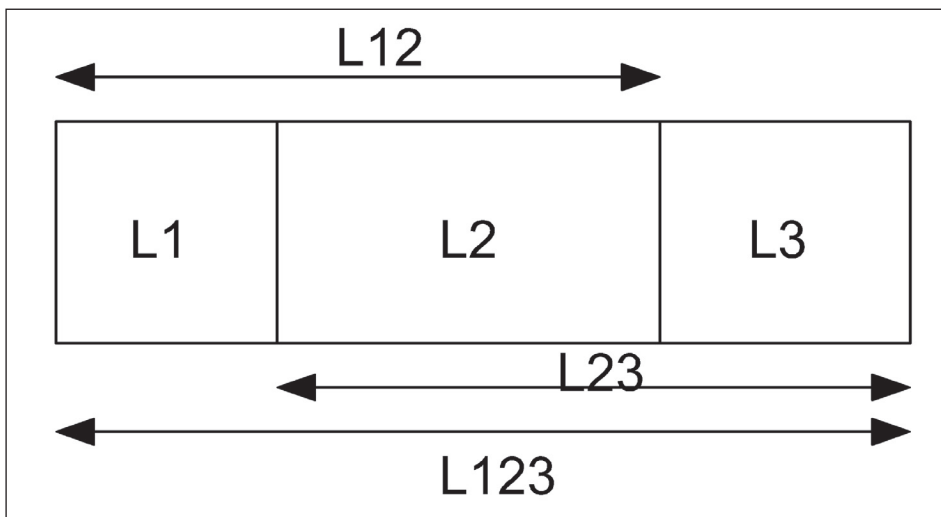
Dat is praktisch geen doen meer met een zakjapanner, maar door een programma te schrijven dat te vinden is op <http://www.xs4all.nl/~pa0wv/kf.exe> en dat ook in een dosbox draait, is die k direct te bepalen, als je in het midden van elke spoelkoker op de hartlijn een punt A aanneemt, en de afstand tussen de twee punten A van beide spoelen s noemt, dan volgt met dat programma direct de koppelfactor tussen de twee spoelkokers van gelijke diameter.

Figuur 2 licht dat toe. De spoelen mogen deels in elkaar geschoven zijn, daar houdt het programma kf.exe automatisch rekening mee, zodat een geval als figuur 5 ook er correct door berekend wordt.

Voor amateurs die met Linux werken is de broncode van de programma's die geschreven zijn in C ook op de website te

Fig. 2. Koppelfactor tussen L1 en L3 is k_{13} .

$$k_{13} = \frac{L123 - L12 - L23 + L2}{2\sqrt{L1L3}}$$



vinden onder GNU licentievoorwaarden. Dus gratis, niet aan knoeien, niet verkopen en mij niet aansprakelijk stellen als er iets niet lekker zou zitten of het niet aan je doel beantwoordt.

De rolspoel

We berekenen eerst de verliezen van een spoel met de diameter en de lengte van een halve liter aluminium bierblik waarvan een deel wordt kortgesloten. Die blikken zijn 65 mm diameter en 140 mm lang. Vreemd eigenlijk dat daar een halve liter in kan.

Ik ga uit van een Q van de spoel van 300; dat lijkt me een getal dat voor een forse spoel aardig met de praktijk overeenkomt. De spoel kan worden gewikkeld van 2,5 kwadraat installatiedraad dat van zijn isolatie ontdaan is.

Draad beetje uitrekken, dan wordt het mooi strak, vervolgens om het nog volle bierblik wikkelen, en de verkregen spiraal, die dan bij loslaten wat opspringt en wat grotere diameter dan het bierblik krijgt, vervolgens van 3 geboorde trotituul staafjes voorzien, en fixeren met in benzol opgeloste trotituul, een bezigheid die meewerkt om de AOW betaalbaar te houden. Opletten dat het bierblik er nog in kan.

Het boren van de staafjes kan het beste gebeuren door een gaatjesprint als boormal te gebruiken en om de 5 mm een 1 mm gaatje via de mal te boren, dat daarna op 2 mm (zonder de mal) wordt nageboord. Je hebt dan een spoel van 28 windingen.

Verliezen van rolspoel

Spoelverliezen ontstaan door weerstand die stromen omzet in warmte.

Een kortgesloten deel van de rolspoel wordt spanning in opgewekt door het niet kortgesloten deel, die spanning veroorzaakt een stroom die begrensd wordt door de zelfinductie van het kortgesloten deel en de weerstand ervan. De verliesweerstand van de spoel is evenredig met het aantal windingen.

Dit wetende kunnen we veronderstellen dat de hele spoel een Q van 300 heeft,

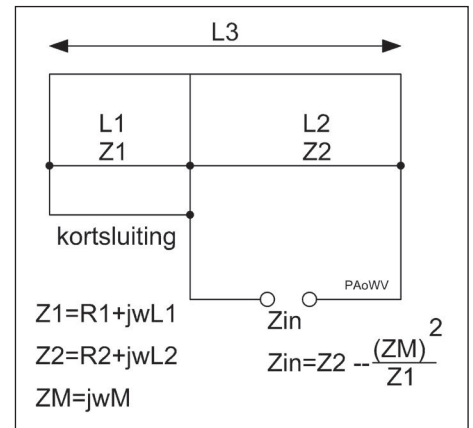
de Q berekenen van de spoel als we een deel kortsluiten. De $Q = \omega L/R_s$ met $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ waarin f de frequentie, en R_s de serieverliesweerstand van de spoel. Voor de metende medeamateurler: Je kunt de Q bepalen als je van de spoel met een mica C van pakweg 100 pF een kring maakt en je de 3 dB bandbreedte B van de kring meet, $Q = \text{resonantiefrequentie}/B$. De 3 dB bandbreedte is het verschil tussen de frequenties waarbij de maximale spanning tot 0,71 daarvan gedaald is.

Met verstandig gebruik van een signaalgenerator, een frequentieteller en een scope kom je dus een heel eind.

Als het deel dat we gaan kortsluiten L1 is, het niet kortgesloten deel L2 en de hele spoel L3, dan kunnen we met de spoeltabel L1, L2 en L3 vinden en hieruit de wederzijdse inductie M bepalen omdat $L3 = L1 + L2 + 2M$.

Weten we die dan kan vervolgens de spoel L1 worden kortgesloten, en de zelfinductie van het geheel worden bepaald, met de welbekende wetten van Kirchhoff die we gelukkig ook voor het zendexamen moesten kennen. De totaalimpedantie is dan te vinden als vermeld in figuur 3.

Fig. 3. Spoel met L3 met kortgesloten deel L1.

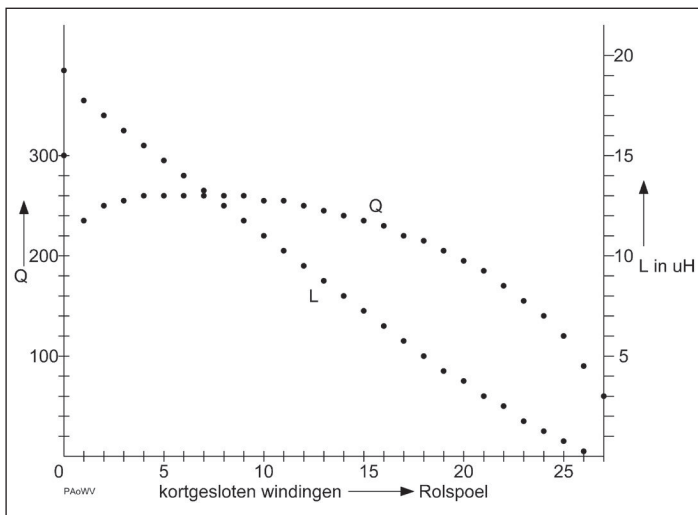


Een en ander is met het spoelwielje per winding berekend.

In grafiek figuur 4 staan de rekenresultaten, horizontaal het aantal kortgesloten windingen en vertikaal de Q van de verkregen spoel en de zelfinductie.

De bierblik-kern

Nu komt het bierblik aan de beurt. Van dat bierblik moeten we de verliesweerstand en de zelfinductie weten. De zelfinductie volgt uit de spoeltabel door op de koker 1 winding te leggen die de volle lengte van de koker beslaat. Dat is 0,0247 μH . Ik ga weer uit van 10 MHz. De indringdiepte door het skin effect volgt dan uit de formule $\sqrt{\rho/(f \pi \mu)} = 27$ micrometer. ρ is de soortelijke weerstand van aluminium, die is 1,65 keer die van koper; en μ is $4 \cdot \pi \cdot E^{-7}$. Volgens de formule $R_s = \rho \cdot l/O$ is de verliesweerstand van het blik dus $R_b = 1,54$ m Ω . De Q van het bierblik zelf op 10 MHz is dus ruim 1000.



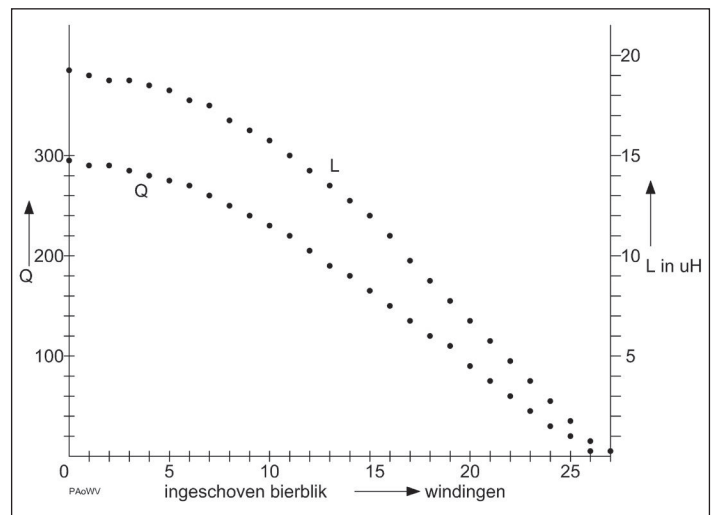
Figuur 4

Grappig op te merken, dat als de soortelijke weerstand rho van je materiaal 5% minder is (zilver t.o.v. koper) dat dan slechts 2,5% in weerstand scheelt, omdat de indringdiepte van slechter geleidend materiaal hoger is. Dat scheelt dus 2,5% in je Q, en dat is het prijsverschil niet waard, denk ik.

Aluminium heeft een 1,64 keer grotere soortelijke weerstand dan koper (Cu rho = 1,724 E⁻⁸), dus de Q daalt 28% als je aluminium in plaats van koper gebruikt voor een spoel.

Je bierblik verkoperen (of verzilveren) kan dus gunstig uitpakken.

Op dit punt kun je ook bekijken of de geschatte Q van 300 voor 28 windingen 2,5 kwadraat installatiedraad reëel is. Theoretisch zou die ruim 1400 kunnen worden. We hebben nu in figuur 5 de spoel van 140 mm lang en het bierblik van 140 mm er gedeeltelijk ingeschoven getekend. De zelfinductie van de spoel is te berekenen als we de zelfinductie van het bierblik



Figuur 6

weten, dat doen we inmiddels, alsmede de koppelfactor, tussen de bierblikkoker en de spoelkoker die we berekenen uit de Terman tabel wat kant en klaar gedaan wordt in het programma kf.exe. Figuur 5 geeft de daarin gebruikte met Kirchhoff afgeleide formule voor in elkaar geschoven spoelkokers.

Met de reeds gebruikte formule uit figuur 1 kunnen we dan de L en de Q berekenen. Die zijn eveneens in een aparte grafiek in figuur 6 geplot.

Conclusies

Door verder indraaien van het bierblik in de spoel daalt de Q naar schrikbarende lage waarden.

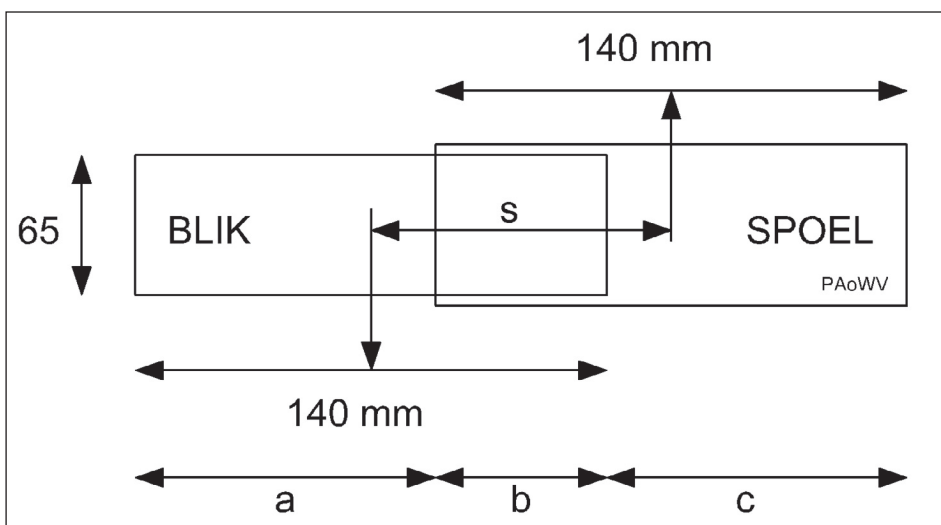
Bij een antennetuner kunnen hoge impedanties vaak aangepast worden door een flinke opslinging van de kring in de tuner, met zo'n lage Q is dat onmogelijk. Het aanpassingsbereik is dus beperkter dan met een rolspoel, en de verliezen zijn een stuk hoger voor het geval het blik flink in de spoel is gedraaid.

Het rekenen geeft inzicht, de stromen in het kortgesloten deel van de rolspoel of het bierblik zijn namelijk $k \sqrt{L_2/L_1}$ maal zo groot als in het gebruikte spoeldeel.

Bij een bierblik neemt k toe bij indraaien, en blijft L_2/L_1 constant en groot (omdat de zelfinductie van het bierblik L_1 heel klein is). De bierblikstroom neemt dus sterk toe.

Bij de rolspoel echter neemt bij het kleiner draaien van de zelfinductie L_2 af en gelijktijdig L_1 en de bijbehorende verliesweerstand in L_1 toe, zodat daar de verliesgevendende stromen afnemen bij het verkleinen van de zelfinductie van de rolspoel.

PAoWV



Figuur 5. Koppelfactor tussen blik en spoel is k_{bs} .

$$k_{bs} = \frac{L_{123} - L_1 - L_3 + L_2}{2\sqrt{L_{12} \cdot L_{23}}}$$

Let op:
 L_{123} = koker van $a+b+c$ mm
 L_1 = koker a mm lang

L_2 = koker b mm lang
 L_3 = koker c mm lang
 L_{12} = koker $a + b$ mm lang
 L_{23} = koker $b + c$ mm lang

Alle waarden L_{123} , L_1 , L_2 , L_3 , L_{12} en L_{23} worden berekend voor een vast aantal windingen per mm dat willekeurig gekozen kan worden.

Bestuursmededeling

Onlangs heeft het bestuur besloten om Stephan van de Heuvel, PD9Y, met ingang van 1 januari 2011 te benoemen tot Contentbeheerder van de VRZA-website als opvolger van Hans Nijman, PG9H.

Vanaf deze plaats bedankt het bestuur Hans voor zijn jarenlange inzet ten behoeve van de website en wenst Stephan veel succes en plezier in zijn nieuwe functie toe!

Namens het bestuur van de VRZA, Karel Spaas, PA3AKF, secretaris