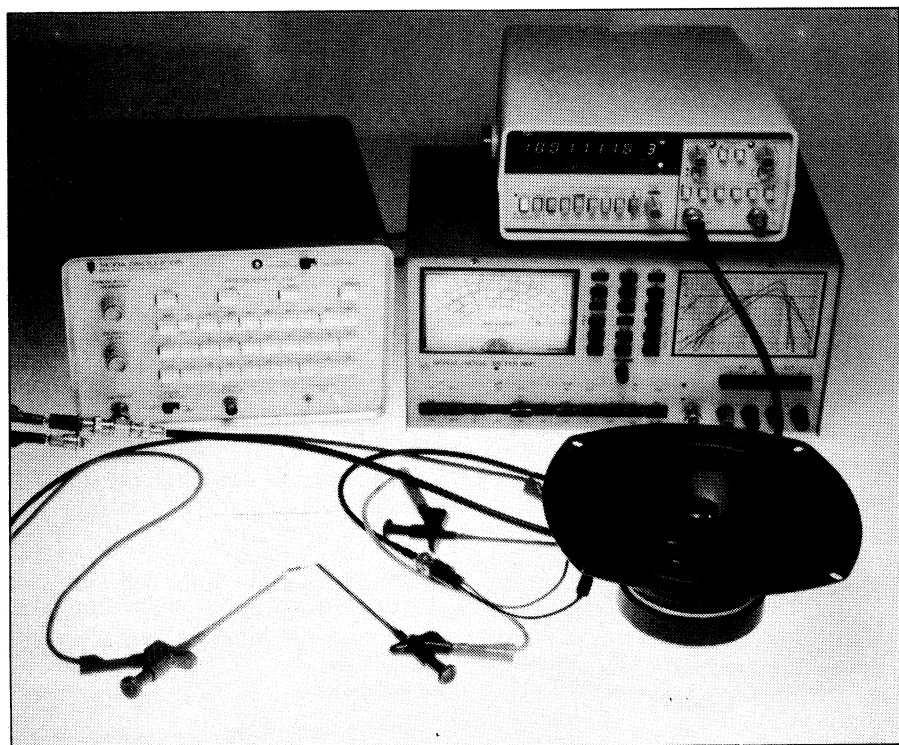


# LUIDSPREKER-IMPEDANTIES

komplexe belastingen meten, berekenen en compenseren

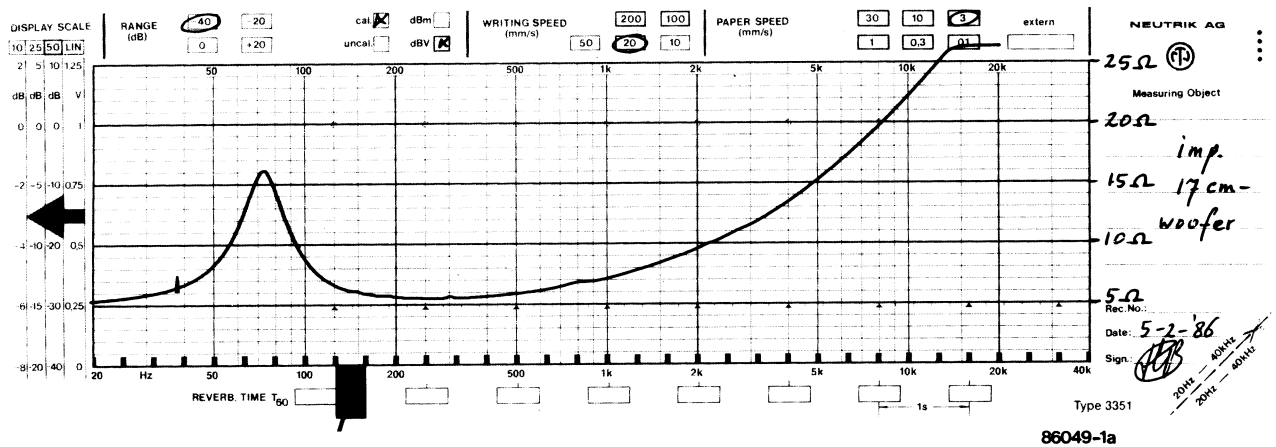
*Een luidspreker leidt een vrij complex leven. Aan de ene kant zet hij de meest uiteenlopende signaalvormen om in luchtrillingen, en aan de andere kant vormt hij letterlijk een complexe belasting voor eindversterker en scheidingsfilter. Die impedantie kan gemeten en ook gecorrigeerd worden, zodat een meerweg-luidsprekersysteem met passief scheidingsfilter optimaal kan functioneren. In het volgende verhaal laten we zien hoe een dynamische luidspreker zich gedraagt, wat zijn vervangingschema is en hoe je daarmee kunt rekenen.*

Een luidspreker lijkt op zich een heel simpel ding. Een chassis met daarin een spoel met een magneet en een konus van papier of een exotische kunststof. Zo'n luidspreker bouw je gewoon in een kast en klaar is je geluidsweegever. Jammer, was het maar zo eenvoudig. In het hoofdstuk "De akoestische box" valt bijvoorbeeld te lezen hoe een gesloten kast moet worden berekend aan de hand van de gegevens van de toegepaste luidspreker. Dat is dus de akoestische zijde van het verhaal. Aan de andere kant, namelijk de aansluitklemmen van de luidspreker, moet men rekening houden met het elektrische gedrag van de luidspreker. Een 4- $\Omega$ -type is namelijk echt geen 4  $\Omega$ , dat is een wijd verbreid misverstand. De impedantie van een luidspreker is ontzettend belangrijk in verband met de aanpassing van het passieve filter dat voor de luidspreker wordt gehangen. We moeten hierbij gelijk opmerken dat de luidspreker-impedantie bij een actief systeem praktisch geen rol speelt. Zolang de eindtrappen maar niet in moeilijkheden worden gebracht door een te complexe last

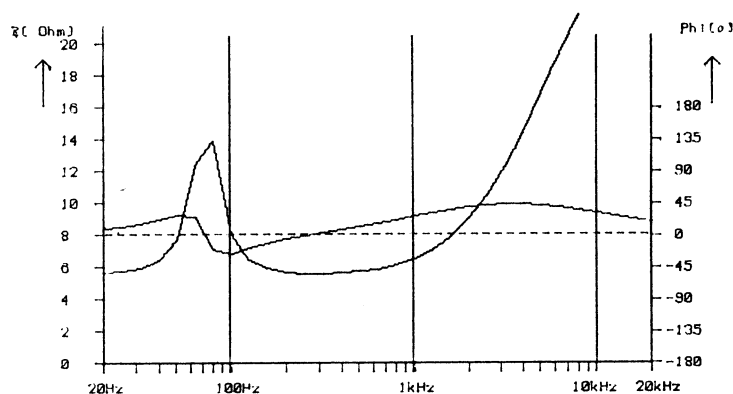
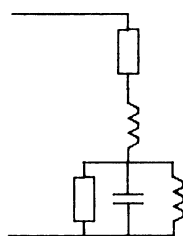


*Foto. Elke dynamische luidspreker bevat de hier goed zichtbare elementen: konus, spreekspoel, magneet, centrering en ophanging. De zelfinductie van de spreekspoel is verantwoordelijk voor de oplopende impedantie in het hoog. De soepelheid (kompliantie) van de ophanging en de bewegende massa bepalen samen het resonantiepunt.*

1a



b



of een te lage impedantie, funktioneert alles prima. De filters zijn hierbij niet rechtstreeks verbonden met de verschillende luidspreker-systemen. Maar zoals gezegd, bij een passief systeem oefent de luidspreker-impedantie een sterke invloed uit op de werking van het ervoor geschakelde scheidingsfilter. Voor een beter begrip zullen we eerst eens gaan kijken naar het soort belasting dat zo'n dynamische luidspreker vormt.

## Het impedantie-verloop

Een luidspreker gedraagt zich deels ohms, inductief of capacitef. Dat hangt af van de frekwentie waarbij je gaat meten. Voorts wordt een gedeelte van het impedantie-verloop ook nog beïnvloed door het type behuizing en de afmetingen van de kast waarin de luidspre-

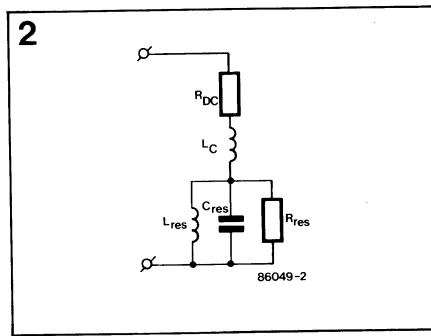
ker is gemonteerd. Een luidspreker die vrij op een tafel ligt heeft dus een ander impedantieverloop dan diezelfde luidspreker ingebouwd in een gesloten kast van 10 liter. In figuur 1 zien we het gemeten impedantieverloop van een 17-cm-bas-luidspreker. Een aardig heuveland-schap, heel anders dan die nominale  $8 \Omega$  die door de fabrikant wordt opgegeven. Elke "gewone" dynamische luidspreker geeft dit verloop te zien, ook een dome-tweeter. Alleen kunnen de heuvels hoger of lager zijn en bij andere frekwenties liggen. Twee dingen springen bij het impedantieverloop in het oog: de piek onderaan en het langzaam oplopen van de curve bij de hogere frekwenties. De piek ontstaat door de resonantie die elke dynamische luidspreker vertoont bij één bepaalde frekwentie; het oplopen in het hoog komt door de zelfinductie van de luidsprekerspoel. Helemaal niet prettig voor het filter

*Figuur 1. Figuur a toont een impedantiecurve die is opgenomen met een professioneel meetinstrument. Na het berekenen van het vervangings-schema hebben we het impedantieverloop van dit schema met een netwerk-analyse-programma op de computer nagebootst. Het resultaat ziet u in figuur b. Dat komt heel aardig overeen met de curve uit figuur a, nietwaar?*

dat we ervoor willen hangen, want dat is berekend op een ohmse belasting. Daar moet dus iets aan gedaan worden. Voordat het zover is, zullen we eerst de impedantiecurve van de luidspreker moeten opmeten. Maar om te beginnen gaan we kijken waarom die luidspreker zo'n vreemd impedantieverloop heeft.

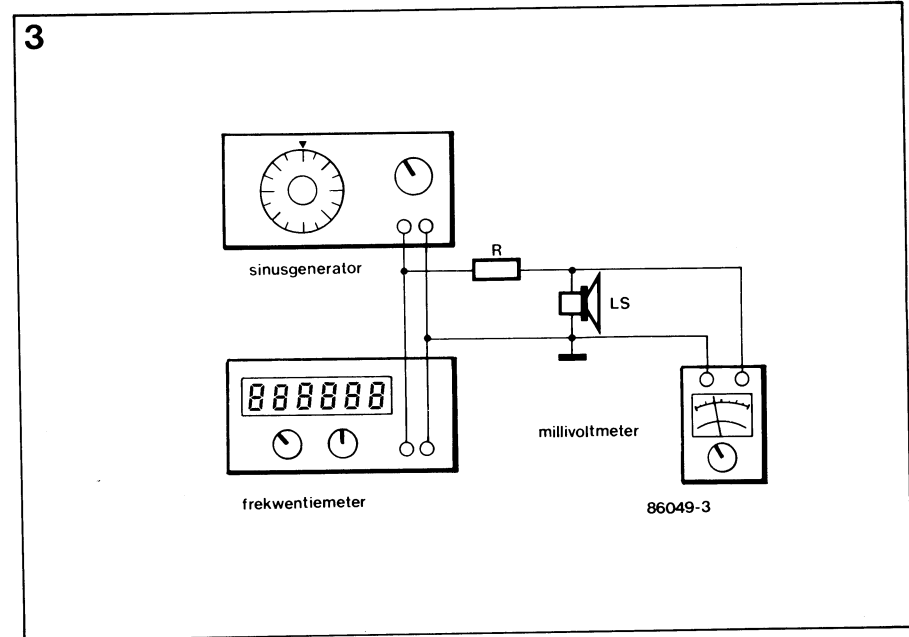
## Het vervangingsschema

Je kunt voor een luidspreker twee verschillende vervangingsschema's geven, een mechanisch en een elektrisch. Voor een luidsprekerzelfbouwer is het tweede het meest interessant, aangezien dit noodzakelijk is om een impedantiekorrektie te kunnen uitvoeren en vervolgens een korrekt werkend scheidingsfilter te kunnen ontwerpen. We laten dat mechanische vervangingsschema dan ook voor wat het is en stappen meteen over naar het elektrische vervangingsschema (figuur 2). Met slechts enkele componenten kan de hele curve uit figuur 1 nauwkeurig worden nagebootst. Laten we maar eens het verband leggen tussen de curve en het vervangingsschema. De spreekspoel van de luidspreker heeft een zekere gelijkstroomweerstand, die verantwoordelijk is voor de minimumimpedantie in het verloop. Uit de gemeten curve kunnen we dus afleiden dat de  $R_{dc}$  van onze luidspreker ongeveer  $5,5 \Omega$  bedraagt. Helemaal nauwkeurig is dit niet; eigenlijk moet de gelijkstroomweerstand worden gemeten met een goede weerstandsmeter. In het hoog loopt de impedantiecurve omhoog, een typisch zelfinductiegedrag. En dat klopt ook, want de spreekspoel bestaat uit een aantal windingen op een dragermateriaal, dat vormt dus een soort spoel. Dan blijft nog de piek in het laag over. Die wordt veroorzaakt door de eigen resonantie van het luidsprekersysteem (net zoals een massaveer-systeem een resonantiepunt heeft). De plaats en de hoogte van de piek zijn niet alleen afhankelijk van de gebruikte luidspreker, maar ook van het type kast waarin de luidspreker is gemonteerd. Ligt de resonantie van een losse luidspre-



Figuur 2. Dit is het elektrische vervangingsschema van een luidspreker. Dat is dus heel wat anders dan een gewone weerstand!

Figuur 3. Met deze meetopstelling kan men het impedantieverloop zelf meten. Benodigd: een sinusgenerator, een frekwentiemeter en een AC-millivoltmeter.



ker bijvoorbeeld op 25 Hz, dan verschuift deze naar boven als de luidspreker in een gesloten kast wordt gemonteerd (bijv. naar 40 Hz). Plaatsen we de luidspreker in een basreflex-kast, dan verschijnen, afhankelijk van de afstemming van het geheel, twee resonantiepieken. Maar zover gaan we hier niet, we beperken ons tot het meest voorkomende geval van één resonantiepiek. Zo'n piek kan elektronisch worden nagebootst door een parallel-RLC-kring. Deze kring is in serie geschakeld met de reeds besproken gelijkstroomweerstand en de zelfinductie van de luidsprekerspoel. Daarmee is ons vervangingsschema in figuur 2 compleet en kunnen we gaan kijken hoe de verschillende componentenwaarden van het vervangingsschema worden berekend.

## Rekenen aan de luidspreker

Voordat er gerekend kan worden, moeten we een impedantiecurve hebben waar we van uit kunnen

gaan (zoals die in figuur 1). Die kan men opnemen met behulp van een wisselspanningsstroombron, een frekwentiemeter en een wisselspanningsmeter. In figuur 3 is een dergelijke opzet gegeven. De stroombron bestaat gewoon uit een sinusgenerator (met een vrij lage uitgangswaarde, bijv.  $60 \Omega$ ) en een weerstand. Als de weerstand vrij groot is ten opzichte van de luidspreker-impedantie, dan ontstaat een tamelijk ideale stroombron waarmee uitstekend gewerkt kan worden. De luidspreker wordt tussen de weerstand en massa opgenomen, en over de luidspreker meten we de wisselspanning. Even een voorbeeld: stel dat de generator wordt ingesteld op een uitgangsspanning van  $3,3 V_{eff}$ . De weerstand kiezen we dan  $3k3$ , zodat precies  $1 \text{ mA}$  door de luidspreker loopt. Elke millivolt over de luidspreker vertegenwoordigt in dat geval precies  $1 \Omega$ . U ziet al, we hebben hiervoor een gevoelige millivoltmeter nodig. Men kan nu de impedantie bij verschillende frequenties meten en daaruit een complete karakteristiek samenstel-

len, maar in feite hebben we slechts enkele meetwaarden nodig, zoals uit de volgende berekeningen zal blijken. Nog een opmerking: meet de luidspreker altijd in de behuizing waarin hij gebruikt zal worden, anders ontstaan foutieve meetresultaten.

Eerst wordt de gelijkstroomweerstand gemeten. Doe dat met een nauwkeurige weerstandsmeter, of zoek met de zojuist beschreven meetopstelling het impedantieminimum in het dal van de karakteristiek ( $R_{dc}$ ). Dat laatste is niet zo nauwkeurig, maar het komt toch heel aardig in de buurt. Meet vervolgens de impedantie ( $Z_{res}$ ) met de bijbehorende frekwentie ( $f_{res}$ ) van de resonantiepiek. Bereken eerst de "echte" impedantiepiek:

$$Z_{max} = Z_{res} + R_{dc}$$

Dan worden de  $-3$ -dB-impedanties van de piek berekend:

$$Z_{-3\text{ dB}} = R_{dc} + \frac{Z_{max}}{\sqrt{2}}$$

Meet nu bij welke frekwenties naast de piek ( $f_l$  onder  $f_{res}$  en  $f_h$  boven  $f_{res}$ ) die impedanties voorkomen. De bandbreedte van de piek is:

$$B = f_h - f_l$$

Vervolgens kunnen de "komponentenwaarden" worden berekend:

$$L_{res} = B \cdot \frac{Z_{max}}{2 \cdot \pi \cdot f_{res}^2}$$

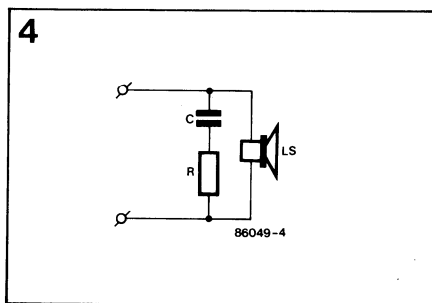
$$C_{res} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot Z_{max} \cdot B}$$

$$R_{res} = Z_{max}$$

De gelijkstroomweerstand  $R_{dc}$  hadden we al gemeten, dus nu blijft alleen nog de zelfinductie  $L_c$  over. Voor basluidsprekers gaat dat als volgt: meet bij welke frekwentie ( $f$ ) in het oplopende gedeelte de impedantie  $2 \cdot R_{dc}$  bedraagt. Dan is de zelfinductie

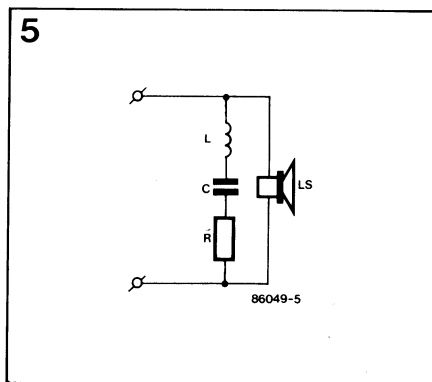
$$L_c = \frac{\sqrt{3} \cdot R_{dc}}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

Bij midden- en hoogtoners loopt de impedantie meestal niet zo sterk op. Daar meten we de zelfinductie op een iets andere manier: meet bij



*Figuur 4. Met dit RC-netwerkje kan het oplopen van de impedantiemerkarakteristiek in het hoog worden gekompenseerd.*

*Figuur 5. Een RLC-netwerk is nodig om de resonantiepiek te compenseren.*



welke frekwentie ( $f$ ) in het oplopende gedeelte de impedantie  $\sqrt{2} \cdot R_{dc}$  bedraagt. Nu is de zelfinductie

$$L_c = \frac{R_{dc}}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

## En nu nog compenseren

Voor een goede werking van het passieve filter dat men straks voor de luidspreker gaat hangen, moet de luidspreker-impedantie over het hele bruikbare gebied van de luidspreker zo konstant mogelijk blijven. Eén compensatie is zeker noodzakelijk, en dat is die voor het oplopende gedeelte van de impedantiemerk. Bij basluidsprekers en bas/middentoners loopt de impedantie daar namelijk zeer sterk op. Met behulp van een RC-netwerk over de luidspreker kan de curve in dat gedeelte heel gemakkelijk worden rechtgetrokken (zie figuur 4). Ook de berekening van het compensatienetwerk is eenvoudig als we de waarden van de kompo-

nenten in het vervangingsschema van de luidspreker kennen:

$$R = R_{dc}$$

$$C = \frac{L_c}{R_{dc}^2}$$

U hoeft niet bang te zijn dat de impedantie van de speaker hierdoor lager komt te liggen, de minimale impedantie blijft gelijk aan  $R_{dc}$ .

Tenslotte blijft nog de compensatie van de resonantiepiek. We moeten hierbij vertellen dat dit meestal niet nodig is, omdat die piek een heel eind buiten het doorlaatgebied van het voorgeschakelde filter ligt. Verder is het impedantieverloop bij midden- en hoogtoners ook al een stuk rustiger. Hier kan men als vuistregel aanhouden, dat de impedantie niet hoeft te worden gecorrigeerd als ze niet groter wordt dan 1,5 maal de minimale impedantie. Maar voor die keer dat het toch noodzakelijk is, volgen hier de formules voor het compensatienetwerk uit figuur 5:

$$R = R_{dc} + \frac{R_{dc}^2}{R_{res}}$$

$$L = \frac{R}{R_{res}} \cdot L_{res}$$

$$C = \frac{R_{res}}{R} \cdot C_{res}$$

Daarmee hebben we dan een gekompenseerde luidspreker die zich vrij nauwkeurig als een normale ohmse weerstand gedraagt. En dat is wat filters het liefste zien aan hun uitgang. U ziet: compenseren is niet zo moeilijk. Met enkele metingen en een paar formules kom je een heel eind!

Het gebruik van

$Z_{\max} (= Z_{\text{res}} + R_{\text{dc}})$  t.o.v.  $Z_{\text{res}}$  en

$R_{\max} (= R_{\text{res}} + R_{\text{dc}})$  t.o.v.  $R_{\text{res}}$

is niet 100% konsekwent.

Vooraf bij de L en C berekening (zonder serie  $R_{\text{dc}}$ ) ben ik  
het er NIET mee eens.

m.a.w. als je de formules gaat gebruiken voor kompensatie  
berekeningen moet je goed opletten of je alleen de Z van het  
LC deel moet hebben of de totale Z, anders kom je op FOUTE  
waardes uit!!!!

PE1ABR