

In het artikel "Kondensatoren" in deze uitgave hebt u al uitgebreid kunnen lezen dat er belangrijke kwaliteitsverschillen tussen de diverse typen zijn. Daarnaast speelt ook de wijze van toepassen, vooral in scheidingsfilters, een grote rol. Vandaar dat we een compleet artikel wijden aan de manier waarop u kondensatoren het beste kunt inzetten in de verschillende takken van het filter.

Toepassen van filterkondensatoren

De boxenbouwer die geld en plaats genoeg heeft, hoeft van dit artikel eigenlijk alleen maar de volgende zin te lezen: Voor het verkrijgen van een optimale kwaliteit in de filter-sekties kunnen het beste overal MKP-kondensatoren worden toegepast. Nou, dat zal in de praktijk bijna nooit lukken. Ten eerste wordt dat voor de meesten onder ons onbetaalbaar, vooral als er grote capaciteitswaarden in de bassekties zitten. Ten tweede worden de afmetingen van het scheidingsfilter met MKP's, vooral bij een uitgebreider filter, zo groot dat het filter vaak niet eens meer in een wat kleinere kast onder te brengen is. Voor de luidsprekerbouwer is het nu juist de kunst om het filter zodanig op te zetten dat voor een aanvaardbare prijs een zo goed mogelijk scheidingsfilter wordt verkregen. In dit verhaal vertellen we u dan ook precies waar u op moet letten.

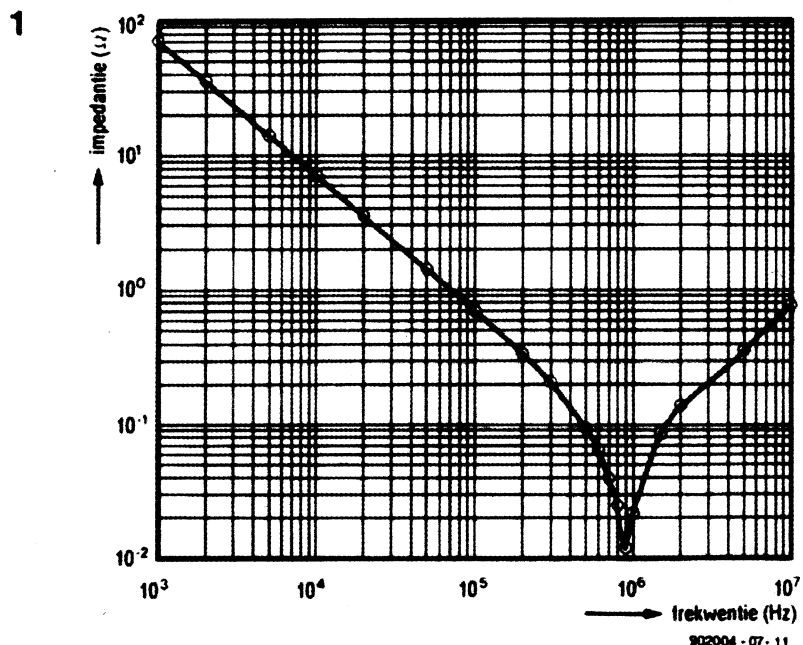
Het impedantiegedrag

Bij een scheidingsfilter moeten we ons altijd goed realiseren dat de gebruikte componenten nooit

ideaal zijn. Een spoel heeft niet alleen een inwendige weerstand, maar ook nog een hysteresisverschijnsel. Bovendien hebben spoelen met een kern nog de nadelen dat de inductie vaak frequentieafhankelijk is en dat bij grotere spanningen aardig wat vervorming wordt geproduceerd (sterk afhankelijk van het soort kern). In een volgende special zullen we een onderzoek publiceren dat we momenteel verrichten aan luidspreker-spoelen. Kondensatoren hebben ook zo hun onvolkomenheden: een inwendige weerstand, geen ideaal condensatorgedrag en

bij de elko's ook vervormingsverschijnselen. Vermogensweerstand zijn in een filter nog de meest ideale componenten, met een zelfinductie die gewoonlijk niet groter is dan 1 à 2 μH en een te verwaarlozen parasitaire capaciteit.

Om te laten zien hoe een condensator zich zou moeten gedragen, beginnen we met een impedantiecurve van een condensator zoals die ook al in het condensatoren-artikel is afgebeeld (figuur 1). Bij een ideale condensator zou de curve op de gebruikte logaritmische schaal een continu dalende



Figuur 1. Het impedantieverloop van een MKP-kondensator van 2,2 μF . De bolletjes geven de meetpunten aan.

rechte lijn moeten zijn (zoals de kurve in figuur 1, tot goed 200 kHz). Bij een echte kondensator zal die lijn door de aanwezige zelfinductie vanaf een bepaalde frekwentie weer omhoog gaan lopen, dan is er van de capacatieve werking geen sprake meer. Het minimum dat bereikt wordt bij de resonantiefrekwentie komt ongeveer overeen met de inwendige serie weerstand van de kondensator. Zolang de dalende lijn in de impedantiecurve mooi recht blijft aflopen, werkt de kondensator dus zoals het hoort. Tot hoe ver dat is, hangt af van de serie weerstand en de zelfinductie van een bepaald type kondensator. In figuur 2 zien we de gemeten impedantiecurve van een gewone elko. Boven 10 kHz is al geen sprake meer van een fatsoenlijk kondensator-gedrag en dit exemplaar zich dan meer gedragen als een weerstand van zo'n 2 Ω . Bipolaire elko's doen het al een stuk beter, zoals figuur 3 en 4 laten zien. In principe zijn bipolaire kondensatoren wat hun capacatieve werking betreft dus bruikbaar in het hele audio-gebied. Een gewone elko is niet aan te bevelen; als je die bijv. inzet in een laagdoorlaatfilter op 5 kHz, dan verloopt de verkregen filterkurve tussen 10 en 20 kHz al niet meer zoals het hoort.

Serieweerstand

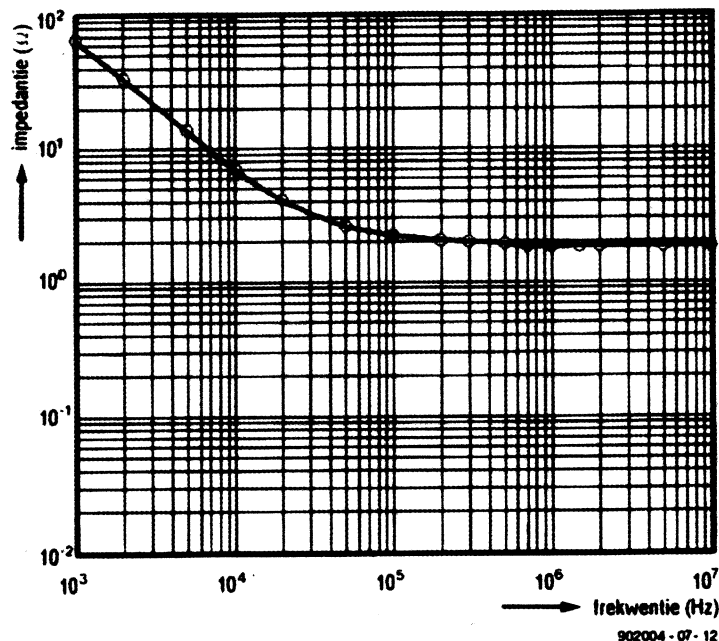
We hebben zonet al verteld dat het afwijken van de getoonde kurves van de ideale lijn onder andere (bij elko's in zeer sterke mate) veroorzaakt wordt door de inwendige serie weerstand R_s . In tabel 2 van het kondensator-artikel is deze voor verschillende frekwenties gemeten. Ook in de figuren 1...4 ziet u naar welke minimale weerstand een bepaalde kondensator

Figuur 2. De impedantiecurve van een gewone unipolaire elko is niet best. Boven 10 kHz neemt de capacatieve werking rapide af.

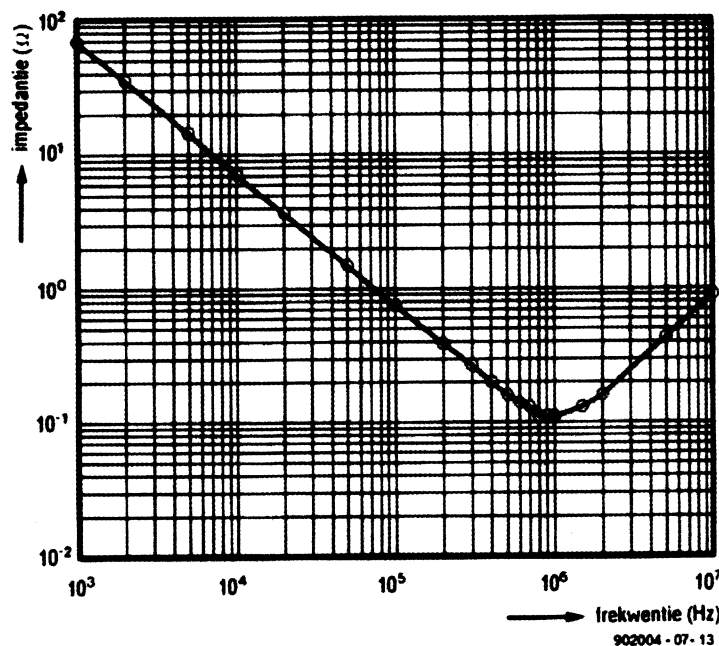
Figuur 3. Een gladde bipolaire elko doet het veel beter dan de elko uit figuur 3.

Figuur 4. De hier gemeten bipolaire elko met ruwe folie heeft duidelijk een hogere inwendige weerstand dan het exemplaar uit figuur 3.

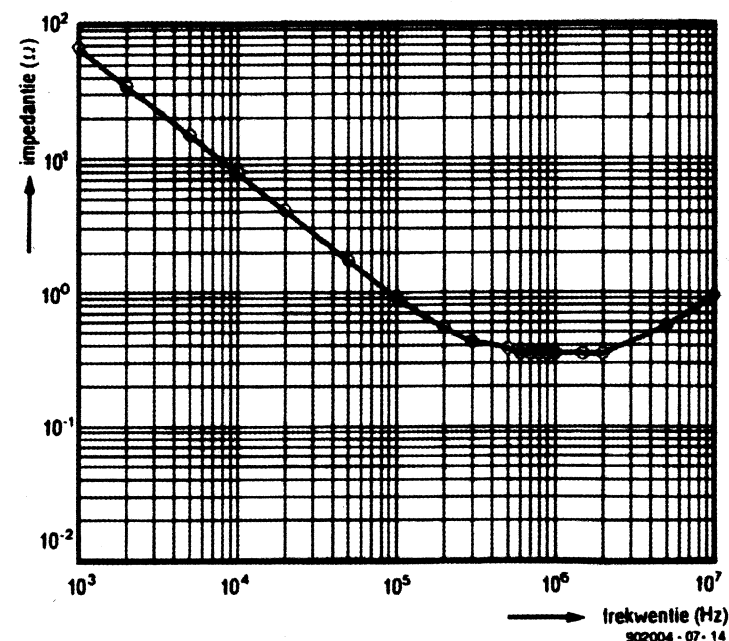
2



3

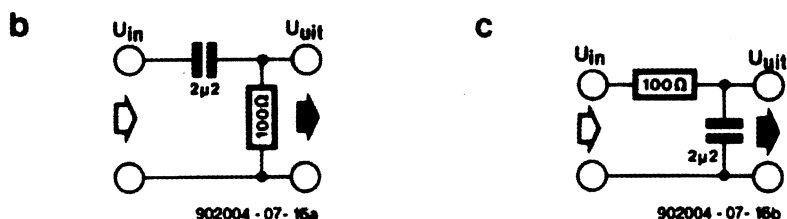
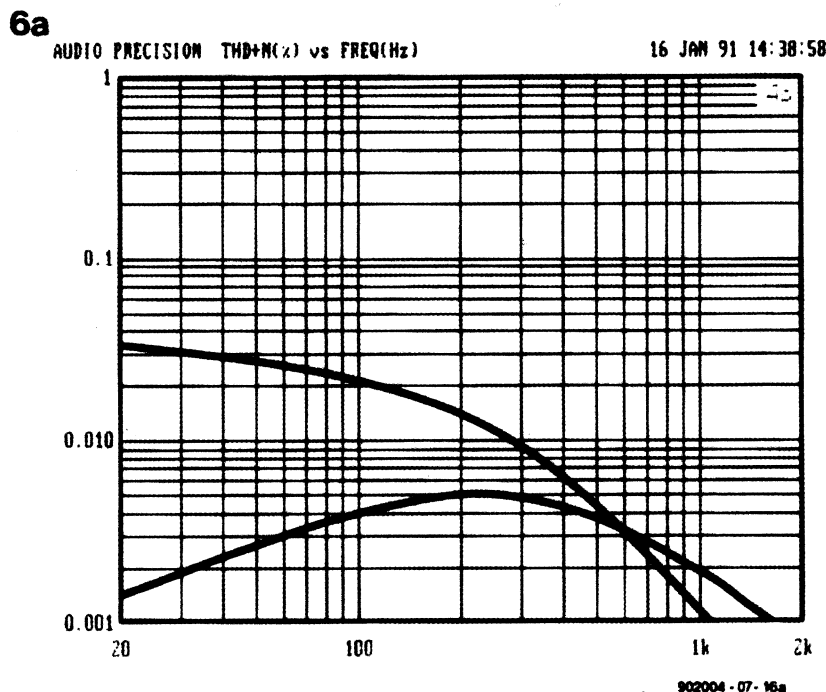
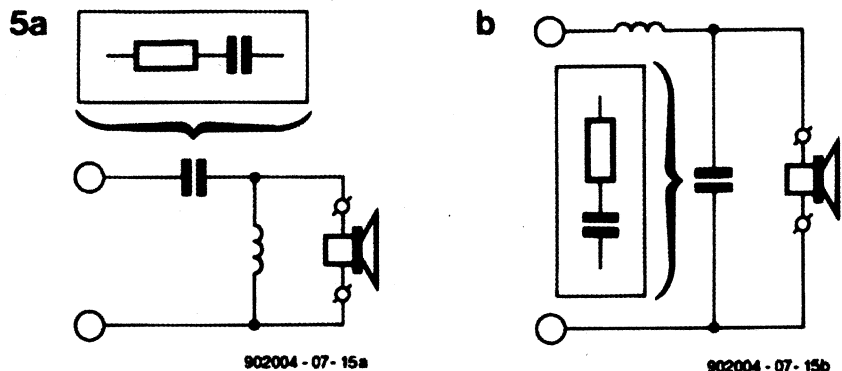


4



gaat. Die weerstand staat in serie met de capaciteit en met alle navolgende componenten in het filter. Laten we als voorbeeld het filter in figuur 5a nemen. De inwendige weerstand van de seriekondensator vormt samen met de luidspreker een spanningsdeler en zorgt dus voor een verzwakking. Als u de inwendige weerstand van bipolaire elko's bekijkt, dan begrijpt u nu waarschijnlijk wel waarom er een duidelijke klankverandering optreedt als een serie-elko in een filter wordt vervangen door een film-kondensator. De door de serieweerstand van de elko veroorzaakte verzwakking verdwijnt dan praktisch geheel en de aangesloten luidspreker speelt wat harder mee dan voorheen. Dat kan circa 0,5 tot enkele dB's verschil geven. Uit eigen proefnemingen van de auteur bleek dat nivo-veranderingen vanaf 0,1 dB bij een luidspreker in een meerwegsysteem nog waarneembaar zijn, vooropgezet dat het gaat om een luidsprekersysteem dat je heel goed kent (elke dag naar luistert)! Er zijn nogal wat hobbyisten die graag filters van fabrieksboxen opwaarderen door de aanwezige condensatoren te vervangen door betere exemplaren. Dat is beslist niet altijd verstandig! Een goede fabrikant houdt rekening met de inwendige weerstand van de gebruikte condensatoren (zoals KEF). Als u daaraan iets verandert, dan maakt u gewoon een nieuwe afstemming van het systeem. Logisch dat het dan anders klinkt, maar of het er zo beter op wordt? Betere condensatoren in een bestaand filter zetten heeft natuurlijk wel zin om vervorming en diëlektrische absorptie te verminderen, maar om het goed te doen zou u de serieweerstand van een verwijderde elko moeten kunnen opmeten in zijn werkgebied en een weerstand van die waarde in serie met de nieuwe condensator plaatsen.

Het probleem met de serieweerstand geldt niet alleen voor kondensatoren in serietakken, maar ook in parallel-takken. Alleen heeft die serieweerstand hier andere gevolgen. Het filterverloop wordt bepaald door de combinatie van de voorgaande spoel en de parallel-kondensator (zie voorbeeld figuur 5b) met zijn inwendige weerstand. Door hier een C



met een andere R, in te zetten, wijzigt het filterverloop en dat hoort u ook weer.

Vervorming

Vooral door elko's kan een behoorlijke harmonische vervorming geproduceerd worden. Nu neemt deze vervorming flink toe als de spanning over een elko groter wordt. Om dat te illustreren, ziet u in figuur 6a twee vervormingskurves, eentje van een filter volgens figuur 6b en eentje volgens figuur 6c (ingangsspanning: 3 V_{eff}). Het hoogdoorlaatfilter blijft meer vervorming te produceren dan het laagdoorlaatfilter. Dat heeft twee oorzaken. Ten eerste wordt de wisselspanning over de condensator in het sfergebied van

het hoogdoorlaatfilter bij lagere frekwenties steeds groter, waardoor de elko meer vervorming gaat produceren. Bij het hoogdoorlaatfilter heeft de elko in het doorlaatgebied weinig invloed op het signaal, omdat de verhouding

Figuur 5. Aan de hand van een eenvoudig hoogdoorlaatfilter (a) en laagdoorlaatfilter (b) kunnen we zien welk effect de serieweerstand van de condensator heeft op de werking van het filter.

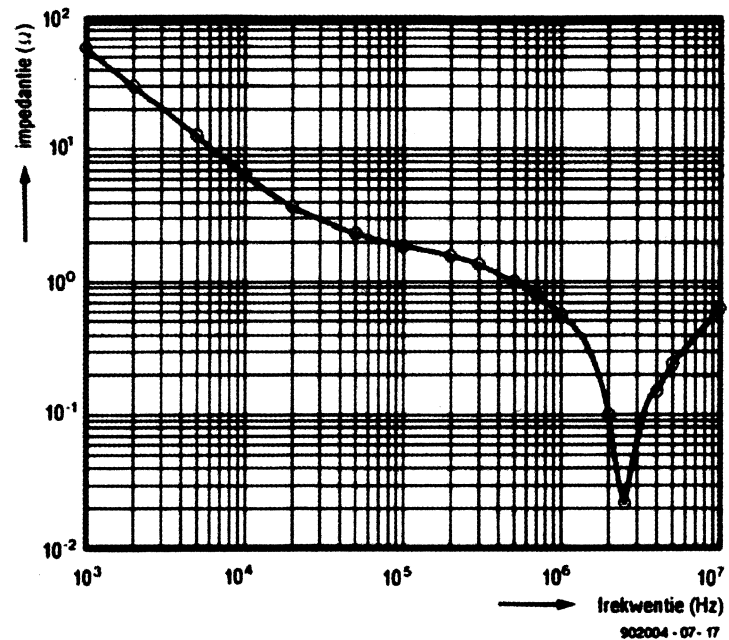
Figuur 6. De harmonische vervorming van een hoogdoorlaatfilter volgens b (bovenste kurve) en een laagdoorlaatfilter volgens c (onderste kurve).

elko-impedantie/weerstand vrij groot is. Bovendien worden hogere harmonischen door de elko zelf gedeeltelijk gedempt vanwege de laagdoorlaatfunctie. Uit dit verhaal kunnen we konkluderen dat u bij het toepassen van elko's deze het beste in een parallel-tak kunt opnemen en niet in een serietak.

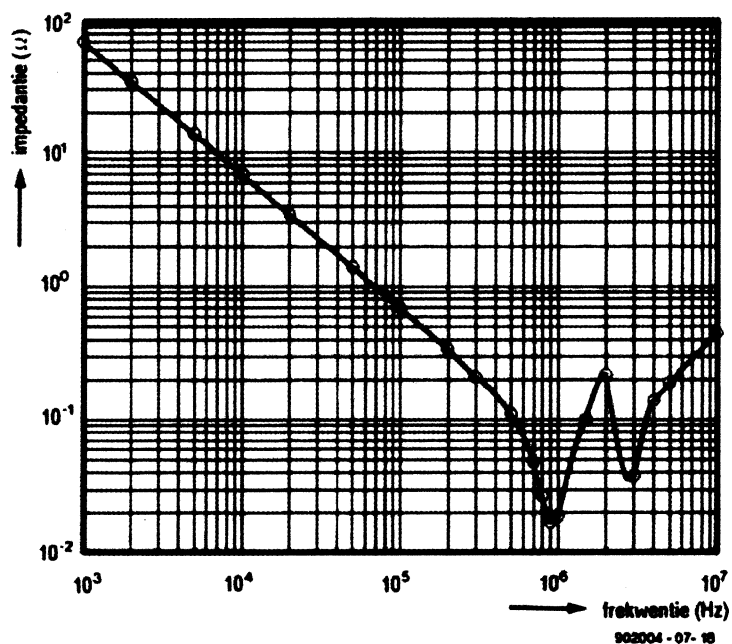
Parallel schakelen

In veel filters van hobbyisten en in zogenaamde high-end luidsprekerboxen zie je dikwijls dat de condensatoren (zowel elko's als film-C's) worden ge-bypassed met kleine condensatoren. Dat wordt zogenaamd gedaan om het impulsgedrag te verbeteren. Deze maatregel heeft praktisch geen effect en dat kunnen we duidelijk laten zien. In figuur 7 is het gemeten impedantiegedrag te zien van een parallelschakeling van een 2,2- μ -elko met een 0,22- μ -MKT. Het niet-lineaire gedrag van de elko blijft, want de MKT-kondensator heeft door zijn kleine waarde pas effect boven 0,5 MHz. Zoiets is fijn voor ontkoppeling van een voedingslijn in een versterker, maar niet in een luidsprekerfilter. Laten we het impedantiegedrag nog even nalopen. De totale serie-weerstand van de parallelschakeling blijft ongeveer gelijk aan de R_s van de elko, aangezien de MKT-C in het audio-gebied door zijn relatief kleine waarde een vrij grote reaktantie heeft (reken zelf maar uit: $X_C = 1 / 2\pi fC$). De serie-weerstand verandert door deze maatregel dus nauwelijks. Harmonische vervorming door de elko blijft ook, om dezelfde reden als hiervoor. En dan hebben we nog de diëlektrische absorptie in de elko. Aangezien het hier een ladingverplaatsingsafwijking betreft, kan die niet zo gemakkelijk worden beïnvloed door een kleine film-C met een fractie van de waarde van de elko. Ons advies: nooit condensatoren met zo'n grote verhouding parallel schakelen. Het heeft pas zin als je aan een elko bijvoorbeeld een MKT of MKP van dezelfde waarde parallel schakelt. Een vuistregel zou hier kunnen zijn: de kleine C moet minstens één derde van de waarde van de grote C hebben. Ter illustratie toont figuur 8 nog de gemeten impedantiecurve van twee parallel geschakelde MKT-konden-

7



8



satoren met een verhouding van 1:10. De kleine condensator begint pas zijn invloed te vertonen bij een paar megahertz. Ook weer leuk voor voedingsontkoppeling in versterkers.

Diëlektrische absorptie

De DA is al ter sprake gekomen bij het artikel "Kondensatoren". Dit fenomeen is volgens deskundigen voor een groot deel verantwoordelijk voor de "klank" van condensatoren. DA manifesteert zich als een soort frequentie-afhankelijke dynamiekkompressie. Tevens treedt er een geluidsverstroebeling op door de energieopslag. Een interessant verschijnsel hierbij is dat DA geen aan-

toonbaar verband heeft met de harmonische vervorming van een condensator. Een elko met nauwelijks meetbare vervorming kan bijvoorbeeld toch een slechte DA hebben.

Zoals we al verteld hebben, heeft parallel schakelen van een C met veel DA en eentje met weinig DA weinig zin, of je moet een elko en

Figuur 7. Het parallel schakelen van een kleine film-kondensator aan een elko levert niet veel op.

Figuur 8. Als een film-kondensator wordt ge-bypassed met een kleiner exemplaar, dan verbetert alleen het hoogfrequent-gedrag, in dit geval boven 2 MHz.

een film-kondensator van praktisch dezelfde waarde parallel schakelen. De totale DA van deze combinatie bedraagt nog maar de helft t.o.v. een elko met dezelfde capaciteit als deze parallelschakeling. Een andere mogelijkheid is het parallelschakelen van meerdere kleinere elko's. Uit onze metingen bleek namelijk dat de dielektrische absorptie van kleine bipolaire elko's veel geringer is dan die van grotere exemplaren van 47 en 100 μF (zie ook weer tabel 2 in het andere condensator-artikel). De beste oplossing is ook hier weer: zoveel mogelijk elko's vermijden.

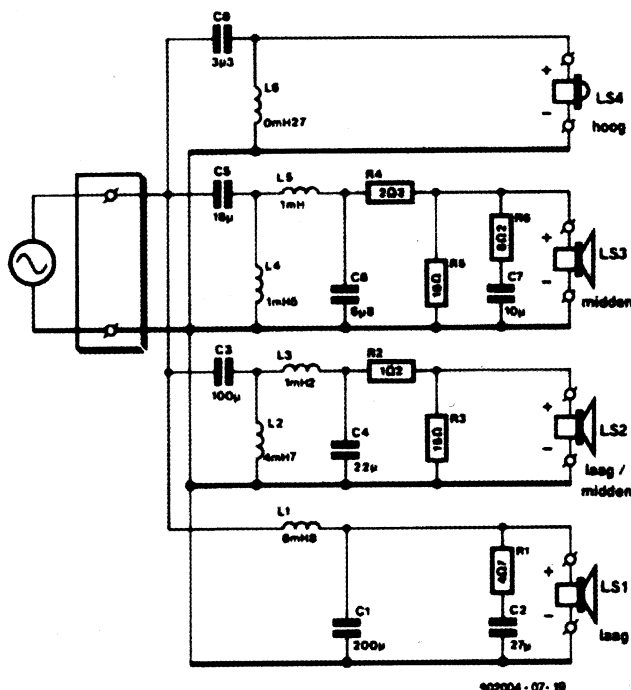
Een voorbeeld

We sluiten dit verhaal af met een praktisch voorbeeld. In figuur 9 is het schema van een denkbeeldig vierweg-systeem afgebeeld. We lopen daarbij de condensatoren stuk voor stuk na.

In het bas gedeelte zien we meteen een flinke capaciteit achter de spoel, namelijk C1. Gewoonlijk neemt men daarvoor twee bipolaire elko's van 100 μF . Film-C's zouden op deze plaats een erg dure oplossing vormen. Het gaat al een stuk beter (en ook nog betaalbaar) als meerdere bipolaire elko's van een kleinere waarde parallel worden geschakeld. Vooral de DA daalt daardoor flink. Negen stuks van 22 μF zouden het hier goed doen. Wilt u het nog beter hebben, dan moet een gedeelte van de capaciteit in MKT worden uitgevoerd (minstens één derde van die 200 μF). De condensator in het impedantiecompensatienetwerkje, C2, zit in serie met een redelijk grote weerstand. Daardoor zullen zijn vervorming en DA maar gedeeltelijk meespelen in de bassektie. Ook de inwendige weerstand is door de aanwezigheid van R1 niet echt kritisch. Een half ohm of zo bij die 4,7 Ω doet hier niet veel kwaad, op het filterverloop zal dat praktisch geen invloed hebben. Een bipolaire elko kan hier dus wel.

Het daaropvolgende laag/midden-filter begint met een condensator van 100 μF . Hier is kwaliteit belangrijk, omdat deze C in serie met de luidspreker staat. We zouden in dit geval aanraden om toch op zijn minst te kiezen voor een parallelschakeling van twee 33- μ -elko's (of eentje van 68 μ) en een

9



MKT-C van 33 μ . Een verhouding van 1:1 zou nog mooier zijn. Daarmee wordt de DA redelijk klein gehouden, terwijl ook de serieweerstand vrij laag blijft. Perfect (maar prijzig) is natuurlijk een MKT-C van 100 μF . De tweede condensator in deze sectie is C4. Vervorming en serieweerstand spelen in deze tak een minder grote rol dan bij C3, maar DA van deze condensator kan toch roet in het signaal gooien. Als het filter niet te duur mag worden, kunt u hier een bip. elko inzetten. Beter is op deze plaats ook weer een parallelschakeling van bijv. een 10- μ -elko en een 12- μ -MKT-C.

Dan komen we bij het filter voor de derde luidspreker. Hierbij geldt de volgende algemene opmerking. In midden- en hoog-sekties vallen kwaliteitsverschillen meestal eerder op dan in de lagere secties, evenals nivoveranderingen door de serieweerstanden van de condensatoren. Als u geld wilt uitgeven aan betere condensatoren, dan kunt u dat het beste in de hoogste secties besteden. Voor C5 gelden eigenlijk dezelfde opmerkingen als voor C3. Omdat we hier met een niet al te grote waarde te maken hebben, lijkt ons een 18- μ -MKT- of MKP-type wel verstandig (een parallelschakeling van een MKT- en MKP-kondensator heeft weinig zin, zonde van de MKP!). C6 is weer een parallelcapaciteit. Kwaliteit telt dan iets minder zwaar, maar toch... Omdat het hier een betrekkelijk

kleine waarde betreft, gaat onze voorkeur uit naar een MKT-kondensator. C7 zit weer in een compensatienetwerkje en is niet zo kritisch (zie het commentaar bij C2). Een bipolaire elko is goed genoeg (mag met gladde of ruwe folie zijn).

De laatste condensator in het filter is C8. Dit moet zonder meer een film-kondensator zijn. Een MKP-C kan hier misschien net nog wat meer details via de tweeter laten horen dan de MKT-C.

Dat was het hele filter. We hebben hierbij alleen maar gewerkt met MKT-C's, MKP-C's en bipolaire elko's. MKC-kondensatoren (polycarbonaat) hebben we niet genoemd. Dat heeft niets te maken met de kwaliteit (ze zijn beter dan MKT-exemplaren), maar met de verkrijgbaarheid. Er zijn niet veel handelaren die MKC-C's voeren. Kunt u er aan komen, pas ze dan gerust toe.

Aan de hand van deze beschrijving kunt u zelf nu inschatten welk soort condensator op een bepaalde plaats in uw eigen filter moet worden toegepast. En houd daarbij rekening met de prijsverhouding filter-luidsprekers. Die moet ook een beetje blijven kloppen!

(902004-7)

Figuur 9. Aan de hand van dit scheidingfilter laten we zien welke kondensatoren het beste in de verschillende secties kunnen worden toegepast.