

AKTIEVE LS-TEGEN- KOPPELING

R. Conell

In de moderne elektronica is het begrip tegenkoppeling niet meer weg te denken. Ook bij luidsprekers kan met tegenkoppeling worden gewerkt, hoewel dit niet veel wordt toegepast. In dit artikel wordt beschreven hoe men kan experimenteren met een zelfgebouwde tegenkoppeling voor een basluidspreker.

knutselen met luidsprekers

Figuur 1. Het blokschema van het hele systeem met een gemodificeerde luidspreker.

In het verleden zijn er enkele fabrikanten geweest die zich hebben bezig gehouden met actieve luidsprekersystemen (o.a. Philips met zijn motional-feedback-systeem). Echt populair zijn ze echter nooit geworden. Tegenwoordig vindt men alleen nog maar actief tegengekoppelde luidsprekers in topklasse-boxen, die voor de gewone man echter niet te betalen zijn. Actieve luidsprekers hebben enkele opvallende voordelen ten opzichte van hun passieve soortgenoten. Zo kan de vervorming in het basgebied sterk worden verminderd (niet-lineair gedrag) en kan de kastinhoud worden verkleind door het frekwentie-korrigerende gedrag van de tegenkoppeling.

Ook in- en uitslingerverschijnselen kunnen veel beter in de hand worden gehouden. Men kan van een "gewone" luidspreker een actieve component maken met behulp van een piëzo-opnemer, een flinke basluidspreker en wat elektronica. Hierbij moet de luidspreker "geopereerd" worden om het nieuwe orgaan erin te kunnen onderbrengen. Sinds de publikaties van de Australiër Thiele en de Amerikaan Small kan vrij exact worden berekend hoe een luidspreker zich in een gegeven behuizing zal gedragen, en ook wat de ideale kast is voor een zeker type luidspreker. Een luidspreker in een gesloten kast gedraagt zich volgens Small als een tweede-orde-

hoogdoorlaatfilter, terwijl basreflex- en transmission-line-kasten volgens Thiele overeenkomen met vierde- tot zesde-orde-filters. Hieruit kan men al konkluderen dat een gesloten systeem per definitie een kortere basweergave zal geven dan een open systeem. De werking van een filter wordt bepaald door de kwaliteitsfactor Q en de resonantiefrekwentie f . Dat geldt ook voor een compleet luidsprekersysteem (met kast), alleen spreekt men hier van Q_{tc} (de totale Q van het gesloten-kast-systeem) en f_c . Voor een "ideaal" bassysteem zouden we graag de volgende specs hebben:

$$Q_{tc} = 0,5 \dots 0,7$$

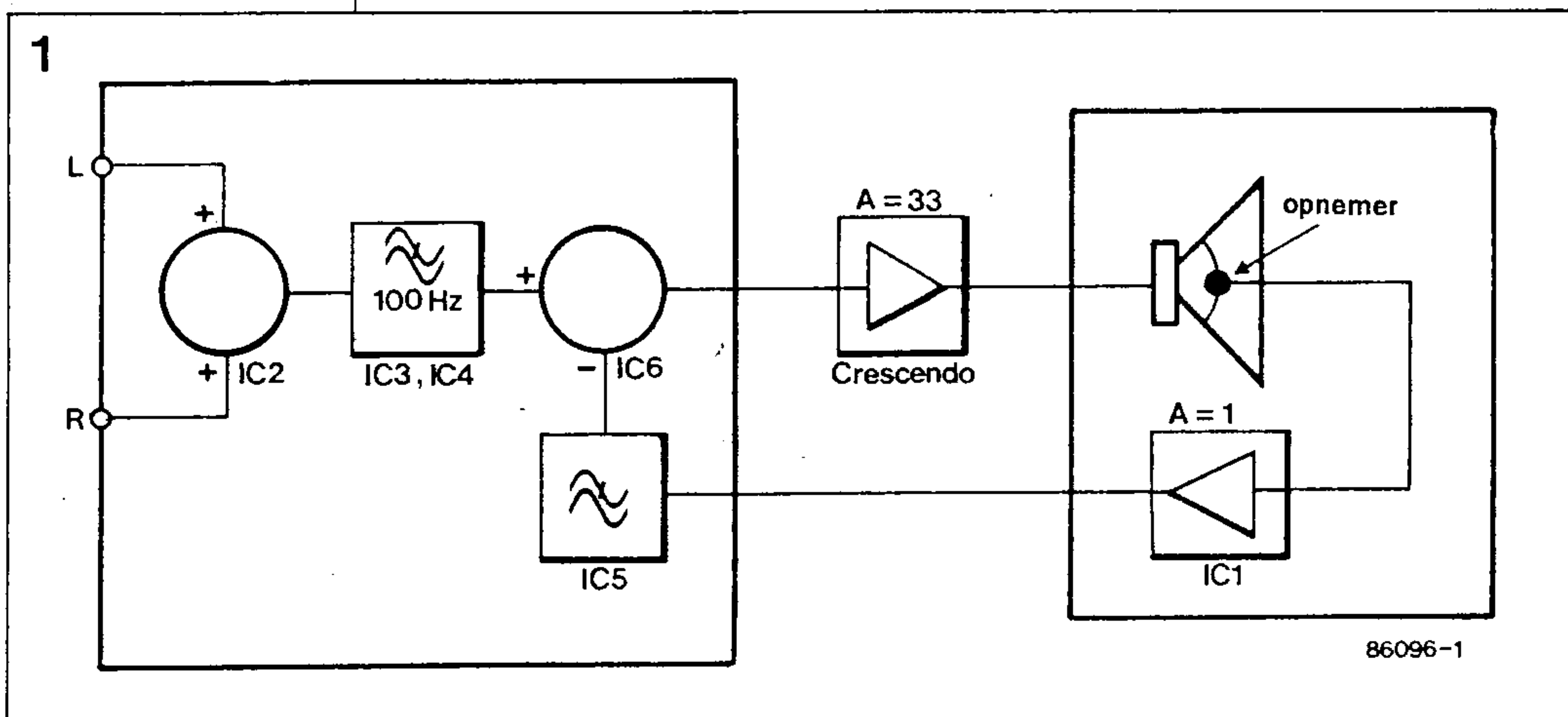
$$f_c < 30 \text{ Hz}$$

$$\text{kastinhoud} < 100 \text{ l}$$

$$\text{frekwentiebereik} > 300 \text{ Hz}$$

$$\text{vervorming} < 1 \%$$

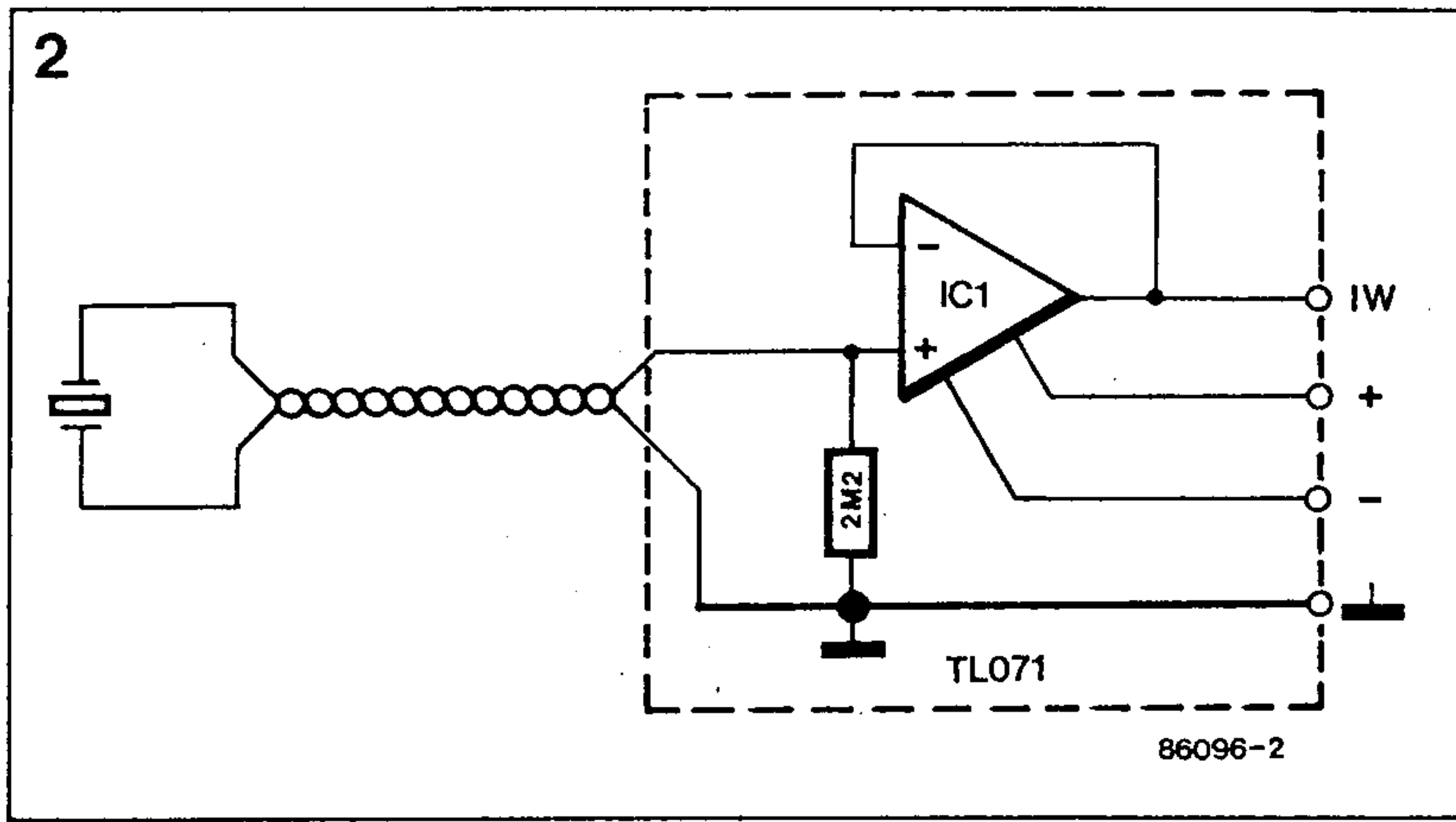
Bij een passieve luidspreker is het haast niet mogelijk om te voldoen aan alle hier gestelde eisen. Bij een actief systeem is dat mogelijk zonder al te veel problemen. Aan het volgende praktische voorbeeld laten we zien hoe zo'n systeem kan worden opgezet, welke moeilijkheden er om de hoek komen kijken en welke voordelen het systeem biedt ten opzichte van een passief systeem.



Eerst een blokschema

Voor onze regeling moet een versnellingsopnemer met een geringe massa op de konus worden gemonteerd, waarna het uitgangssignaal van de opnemer kan worden teruggevoerd naar het ingangssignaal van de eindversterker. Figuur 1 geeft het blokschema van de gehele schakeling. Er zijn drie "grote" blokken. Het eerste blok bevat de regelektronica, het tweede blok is de eindversterker en het derde blok bevat het luidsprekergedeelte.

Met de eindtrap zijn we snel klaar. Dat mag elke eindversterker zijn met een redelijk vermogen en een spanningsversterking van 32 à 33 keer. Een mini-Crescendo levert ongeveer het minimum aan vermogen dat we nodig hebben. Het luidsprekergedeelte bestaat uit een luidspreker waarop de versnellingsopnemer is gemonteerd, plus een impedantie-aanpassing tussen de elektronica en de opnemer. De regelektronica bestaat uit een optelschakeling voor het linker en rechter signaal, een laagdoorlaatfilter dat alleen signalen beneden 100 Hz laat passeren en een aftrekschakeling voor het gefilterde ingangssignaal en het korrektiesignaal van de opnemer. Verder zit er



Figuur 2. De buffer voor de opnemer wordt direkt op het luidsprekerchassis gemonteerd.

nog een korrektienetwerk tussen de opnemer en de aftrekversterker. Dan gaan we nu eens kijken naar de praktische kant van deze opzet.

Optellen, aftrekken en filteren

Dat is in het kort de werking van de in figuur 3 afgebeelde schakeling. IC2 verzorgt het bij elkaar optellen van de twee stereo-signalen. Na de potmeter voor de nivo-instelling (P1) volgt een 24-dB-Besselfilter met een kantelpunt van 100 Hz. Een dergelijk type filter is o.a. ook toegepast bij de actieve subwoofer die in december 1985 is gepubliceerd. Bij IC6 worden het gefilterde audiosignaal en het korrektiesignaal bij elkaar opgeteld. Het korrektiesignaal

is eerst door IC5 gefilterd, versterkt en geïnverteerd. Tenslotte volgen nog twee passieve laagdoorlaatsekties (R16/C11, R17/C12) voor het onderdrukken van oscillatieeigeningen, en een buffer (IC7). In figuur 2 is de buffer getekend die zo dicht mogelijk bij de opnemer wordt gemonteerd. Deze bestaat uit een opamp en één weerstand. Tot zover het elektronische gedeelte.

Het opereren van de luidspreker

De luidspreker moet nu nog worden "geactiveerd". Als opnemer wordt het piëzo-element uit een piëzo-tweeter gebruikt. Het membraan van de tweeter wordt aan de rand losgesneden met een scherp mes, waarna de aansluitdraden

Figuur 3. Het subwoofer-filter met de tegenkoppel-elektronica.

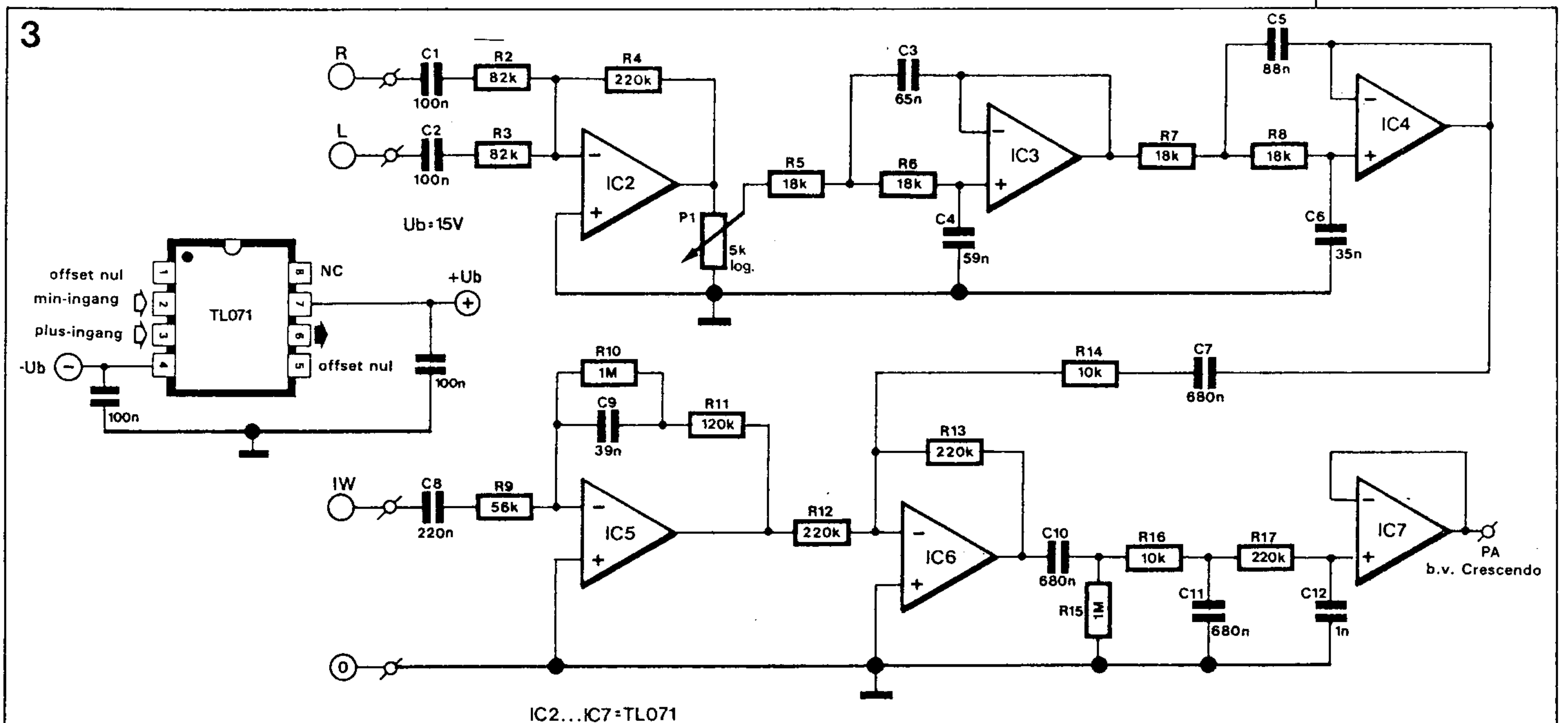


Foto 1. In principe is elke piëzo-hoogtoner geschikt als opnemer. Hier hebben we de AD2200PT van Philips genomen. Het verwijderde piëzo-element is duidelijk te zien.

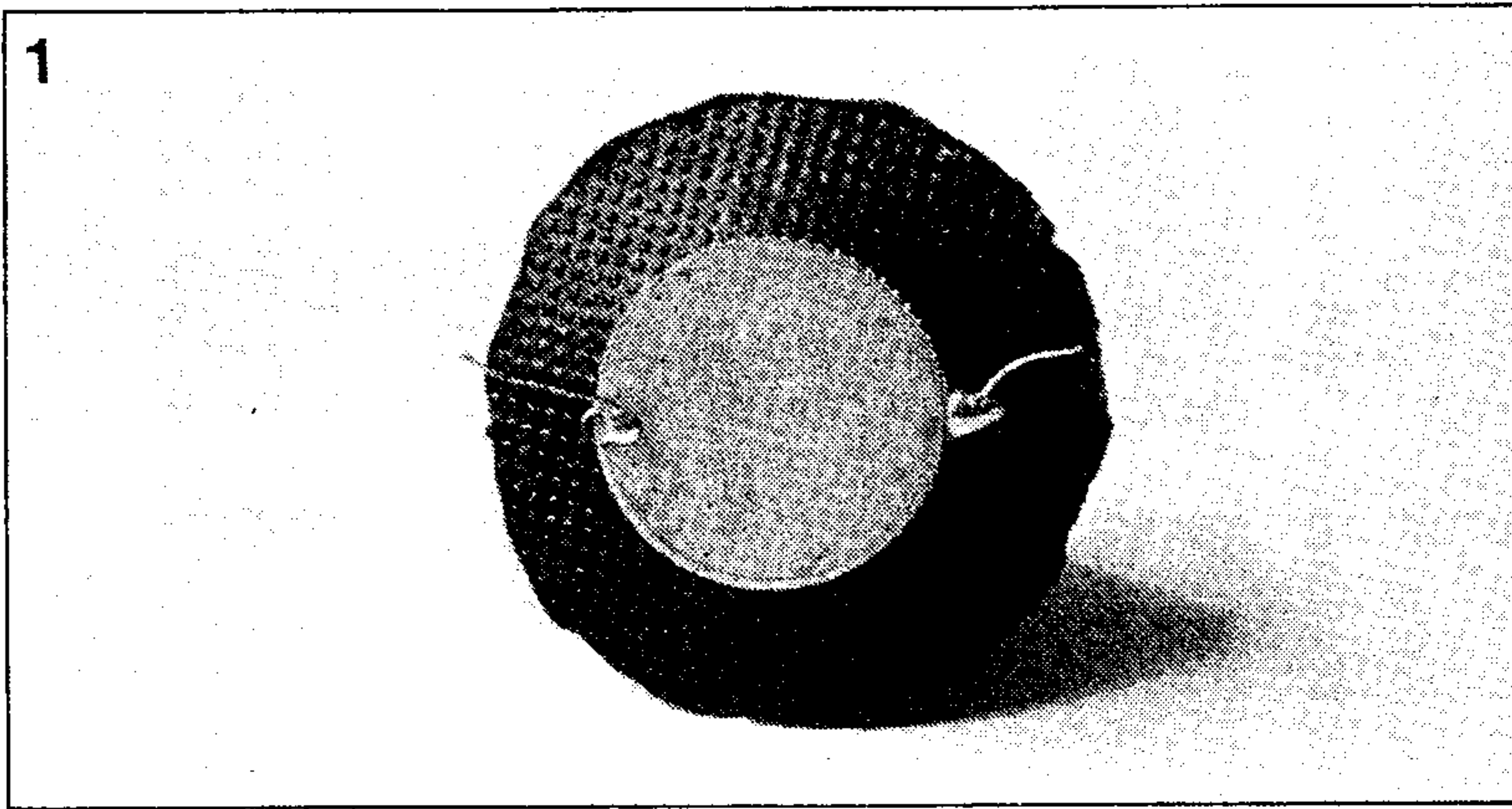


Foto 2. Zo wordt de stofkap van de konus losgemaakt.

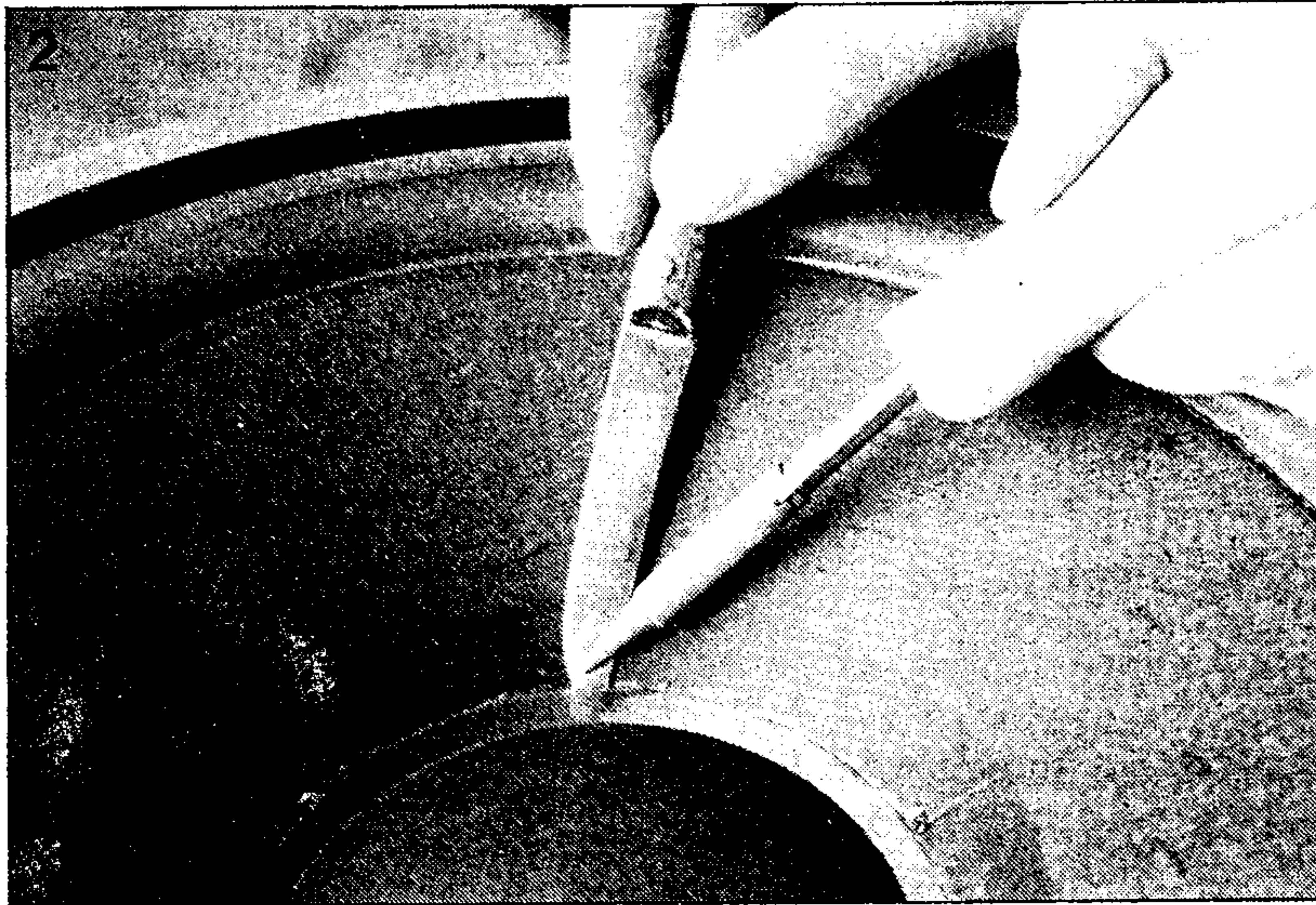


Foto 3. De stofkap wordt aan de binnenzijde verstevigd met behulp van een laag epoxyhars. Hierin wordt meteen de opnemer gedrukt.

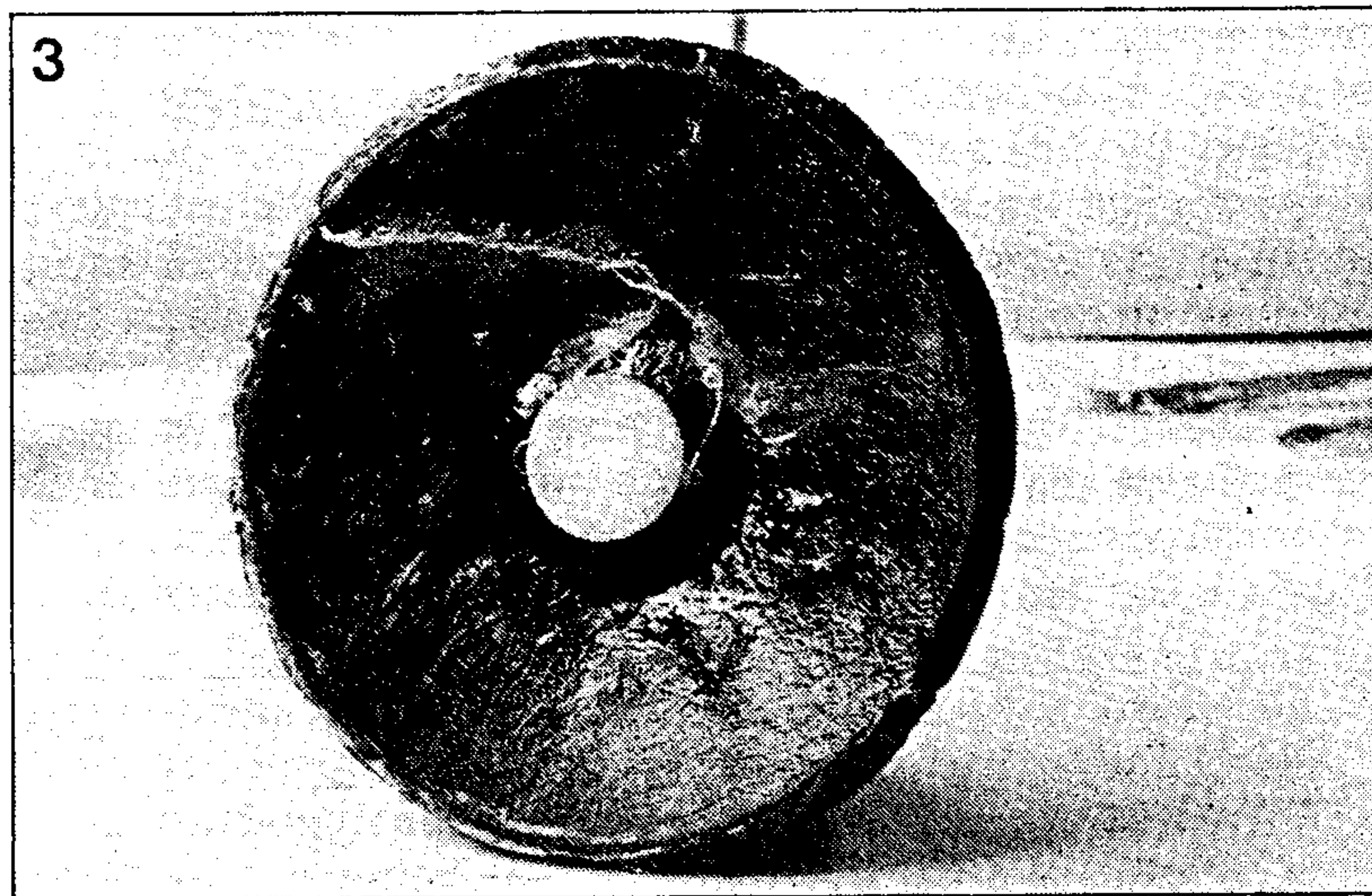
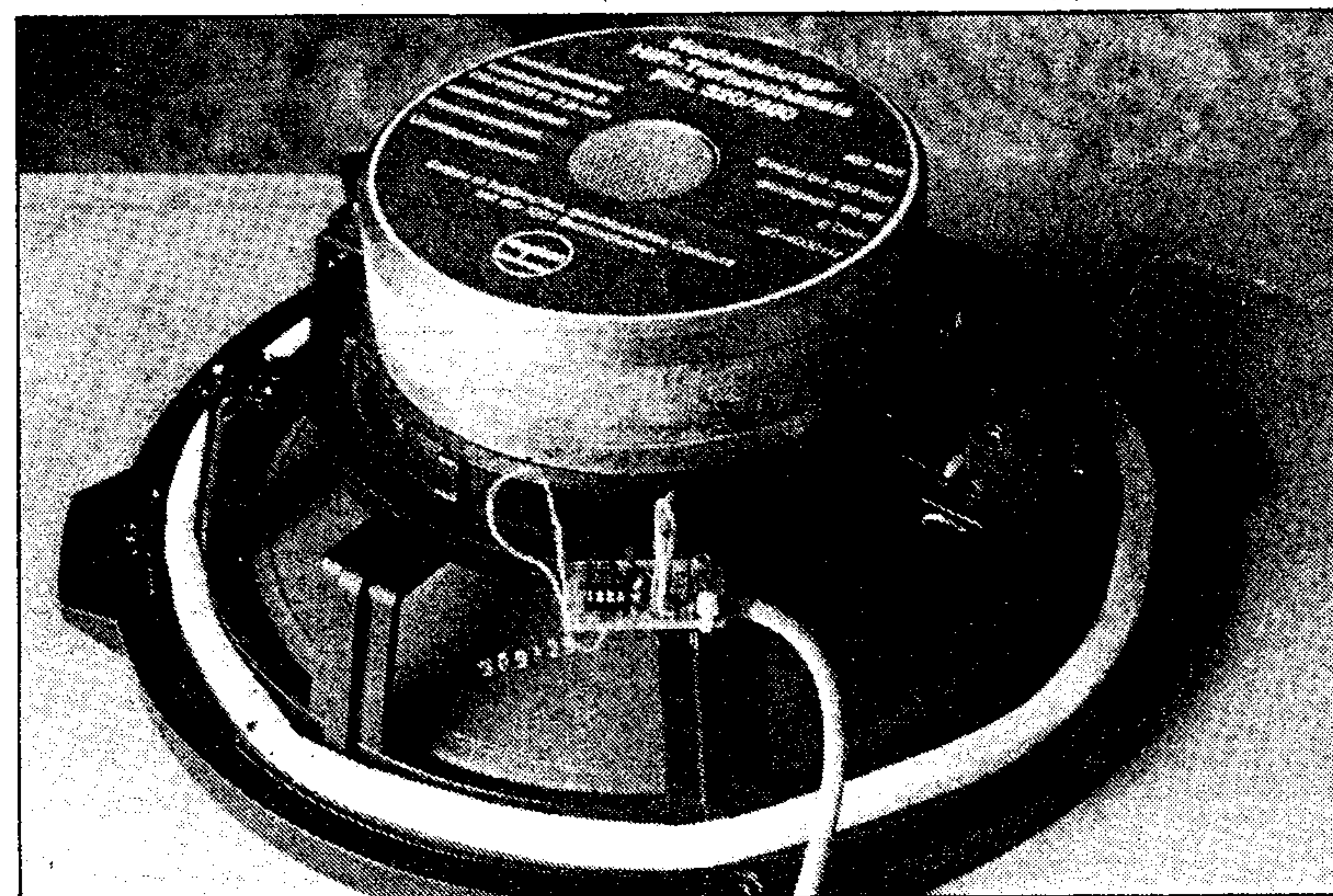


Foto 4. De geactiveerde luidspreker.



worden afgeknipt bij de aansluitpunten (niet bij het kristal!) Het zo ontstane plaatje (foto 1) wordt op dezelfde maat gesneden als het piëzo-plaatje. Klaar is de versnellingsopnemer. Voor de luidspreker is gekozen voor het type PSL 320/400 van Isophon. Mocht u nog niet zoveel vertrouwen hebben in uw eigen knutselvaardigheid, probeer het dan eerst eens met een oude luidspreker. Voor de montage van de piëzo-opnemer hebben we twee mogelijkheden: op of onder de stofkap lijmen. De laatste heeft onze voorkeur (uit optisch oogpunt), die zullen we dan ook even wat nader bekijken. De stofkap bij de Isophon-luidspreker is vastgeplakt met een thermoplastische lijm; met behulp van een (door een soldeerbout) verwarmd mes kan de kap zonder beschadigingen worden losgemaakt (foto 2). Voorzichtig werken is hierbij wel nodig, anders kost u dat een luidspreker. Oefen ook niet teveel kracht uit op het membraan, want dat kan onaangename gevolgen hebben voor de spreekspoel in zijn nauwe luchtspleet.

Als de stofkap verwijderd is, wordt de luidspreker voorzichtig weggelegd met de konus naar beneden. Er mag namelijk geen vuil in de luchtspleet terecht komen!

Voordat de versnellingsopnemer wordt gemonteerd, moet de stofkap eerst wat stijver worden gemaakt. Daartoe wordt een laagje epoxyhars met een stukje glasvezelmat tegen de binnenzijde van de stofkap gesmeerd. In die epoxyhars kunnen we ook meteen de piëzo-opnemer plakken.

Na het drogen van deze constructie worden twee flexibele litze-draden aan de korte draden van de opnemer gesoldeerd. Lijm die draden ook aan de stofkap vast, anders gaan ze straks meetrillen als de konus beweegt.

Vervolgens kan de stofkap weer op de konus worden gelijmd. Een speciale lijm is hiervoor niet nodig. Wel is het prettig als weer een thermo-

plastische lijmsort wordt toegepast, want dan kan de stofkap in geval van nood nog eens losgemaakt worden. Vóór het vastlijmen wordt eerst een klein gat in de konus geprikt, waar de litzedraden doorheen kunnen worden gevoerd. Deze draden worden op dezelfde wijze als de spreekspoel-draden op de konus vastge-lijmd (gaatjes moeten goed dicht zijn!) en dan naar het printje van de buffer gevoerd. De draden mogen niet te lang, maar ook weer niet te kort zijn. U kunt het beste de lengte van de spreekspoel-draden aanhouden. De luidspreker is nu klaar voor actief gebruik.

Het afregelen

We kunnen eerst de opnemer nog eens testen door er een audio-sig-naal (enkele kHz) op te zetten. Dat moet hoorbaar zijn. Dan kan de opnemer op het buffer-printje worden aangesloten. Vervolgens kan de rest van de schakeling, compleet met de eindtrap, worden aangesloten (volgens het blokschema van figuur 1). R11 en C9 worden tijdelijk overbrugd met behulp van een schakelaar, zodat de regeling praktisch niet meer werkt. Als de schakelaar nu even wordt geopend, dan kunnen er drie dingen gebeuren: — de luidspreker doet niets — het systeem oscilleert op een lage frekwentie (onder 100 Hz) — het systeem oscilleert op een hoge frekwentie (boven 1 kHz). In het eerste geval werkt alles korrekt en kan het zaakje in gebruik worden genomen. In het tweede geval moeten de aansluitingen van de opnemer worden verwisseld bij het buffer-printje. In het derde geval treedt een echte oscillatie op die moet worden wegge- werkt door het aanpassen van enige componentenwaarden. Vergroot eerst eens C12 (tot ln8) en daarna C11 (tot 1 μ). Is dat nog niet voldoende, dan moet de waarde van R11 worden verlaagd en / of C9 wor-

den vergroot. R11 beïnvloedt het onderste kantelpunt en C9 de Q_{tc} van de luidspreker. In de praktijk zijn diverse systemen opgebouwd, waarbij echter nooit oscillatieproblemen zijn opgetreden.

De resultaten

Tot slot van dit experimenteer-verhaal is het natuurlijk interes-sant om even naar de bereikte resultaten te gaan kijken. In figuur 4 is te zien hoe het frekwentieverloop is geworden na het toevoegen van de opnemer.

De bult in het laag is verdwe-nen en het systeem loopt nu veel verder door naar bene-den, praktisch recht tot 20 Hz. In tabel 1 zijn nog verschillen-de meetwaarden vermeld. Het tegengekoppelde systeem is ook uitgebreid vergeleken met enkele topklasse-luidspre- kers. In alle gevallen bleek het zonder meer te kunnen kon- kurreren. Daaruit blijkt duide- lijk, dat het met wat handwerk mogelijk is een topklasse-bas- systeem te maken dat dankzij een actieve tegenkoppeling een kleine behuizing weet te paren aan een strakke en zeer diepe bas.

Tabel 1. Metingen

Harmonische vervorming bij 96 dB op 1 m afstand.

f	30 Hz	40 Hz	70 Hz	100 Hz
zonder tegenkoppeling	4,5%	1,7%	0,65%	0,85%
met tegenkoppeling	1,5%	0,6%	0,5%	0,65%

Max. geluidsdruk bij 40 Hz, bij verschillende kastvolumes.

inhoud	50 l	70 l	100 l
zonder tegenkoppeling	98 dB	100 dB	102 dB
met tegenkoppeling	101 dB	103 dB	105 dB

Luidspreker-parameters, gemeten in een 70-l-kast.

	Q_{tc}	f_c	f_3 dB
zonder tegenkoppeling	1,9	48 Hz	29 Hz
met tegenkoppeling	0,6	17 Hz	20 Hz
met tegenkoppeling en subs. filter	0,5	20 Hz	25 Hz

Figuur 4. De frekwentiekarakteristiek van het systeem, met en zonder tegenkoppeling.

