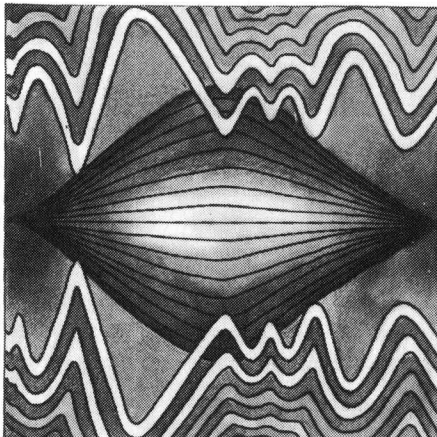


Werkelijk serieuze pogingen tot optimalisering van geluidswaergave of tot korrektie van weergavefouten zijn in feite onuitvoerbaar zonder de hulp van een betrouwbaar akoestisch meet-systeem. Met name voor de afregeling van een equalizer is het noodzakelijk dat op een of andere wijze nauwkeurig de plaats wordt vastgesteld waar de te corrigeren pieken en dalen in de frekwentiekarakteristiek zich bevinden.

Voor diverse toepassingen is een of ander akoestisch meetsysteem nuttig, vaak zelfs onontbeerlijk. Met de hulp van zo'n systeem laat zich bijvoorbeeld de 'frekwentiekarakteristiek' van de huiskamer opmeten, zodat onvolkomenheden in de geluidswaergave exakt kunnen worden vastgesteld. Dit stelt bezitters van equalizers in staat dit apparaat nauwkeurig af te regelen, maakt doelgerichte maatregelen ter aanpassing van de kamerakoestiek mogelijk en biedt zelfbouwers van luidsprekerboxen de mogelijkheid hun ontwerpen te optimaliseren. Duidelijk is dat voor een akoestisch meetsysteem, in welke vorm dan ook, in ieder geval drie dingen nodig zullen zijn, namelijk een testsignaalbron, een opnamer en een indicatieschakeling, zaken die hier aan de orde komen.



Specificatie van de audio analyzer

a. Ruisgenerator

- pseudo random digitale ruis
- lengte schuifregister: 31 bits
- cycluslengte: 2.147.483.647 bits
- klokfrekwentie: 500 kHz
- cyclustijd: 4295 s (ruim vijf kwartier)
- uitgangsspanning (punt A): max. 1,5 V_{tt}
- rose ruisfilter: - 3 dB per oktaaf (20 . . . 20 kHz; ± 0,2 dB)

b. Bandfilter

- 'state variabele' filter
- centrale frekwentie: stapsgewijze of kontinu variabel tussen 30 Hz en 16 kHz.
- kwaliteitsfaktor: 1,41 (1/1 oktaaf); 4,32 (1/3 oktaaf)
- resonantieversteking (B-C): max. 1,8 (+ 5,1 dB; 1/1 oktaaf); max. 7,62 (+ 17,6 dB; 1/3 oktaaf)

c. Gelijkrichter

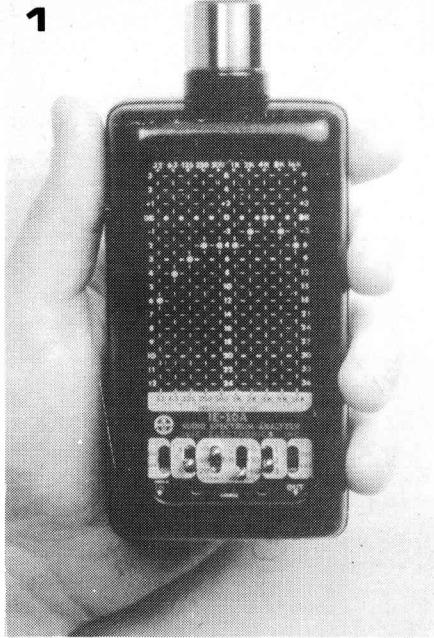
- dubbelzijdige gelijkrichter met gemiddelde-waarde-uitlezing door middel van een universeelmeter
- gelijkrichter-tijdconstante: 4 s of 100 ms (afgezien van de traagheid van de universeelmeter)
- frekwentiekarakteristiek:
20 Hz . . . 20 kHz $\begin{matrix} +0 \\ -0,5 \end{matrix}$ dB
- maximale ingangsspanning (punt D, P3 in 0 dB-stand): 450 mV (topwaarde)

En hoewel het resultaat van de uiteindelijk correcties zich op het gehoor uitstekend laat beoordelen, wordt het corrigeren op zich een zeer lastige en langdurige trial-and-error aangelegenheid als de oren de enige meetinstrumenten zijn die men daarvoor ter beschikking heeft.

De dure oplossing

Voor het analyseren van de frekwentiekarakteristiek van een audio-systeem bestaan verschillende mogelijkheden. De meest aangewezen, maar tegelijk ook meest kostbare, weg is het invoeren van de hulp van een zogenaamde *real-time analyzer* of van een *spectrum-analyzer*. De foto van figuur 1 geeft een idee van het uiterlijk van een dergelijk apparaat; het betreft hier de reeds eerder in de rubriek 'Markt' beschreven pocket audio-analyzer van de firma Ivie Electronics Inc. De werking van een real-time analyzer kan worden verduidelijkt aan de hand van het blokschema van figuur 2.

Via het audio-systeem in kwestie wordt een breedbandig testsignaal weergegeven. Hiervoor wordt rose ruis gebruikt (d.i. ruis met een over het gehele audiospektrum gelijke energie-inhoud). Dit signaal wordt nu, al of niet 'verkleurd' door de geluidsinstallatie en/of de kamerakoestiek, opgepikt door een meetmicrofoon en vervolgens toegevoerd aan een aantal (terts- of oktaaf-) bandfilters. Al deze filters hebben dezelfde relatieve bandbreedte en de afstand tussen de opeenvolgende centrale frekwenties van de bandfilters is zodanig gekozen dat ze mooi op elkaar aansluiten. De uitgangsspanning van elk filter wordt gelijkgericht en vervolgens op een of andere wijze zichtbaar gemaakt. Dit laatste kan gebeuren via een draaispoelinstrument, een oscilloskoop of, zoals bij het in figuur 1



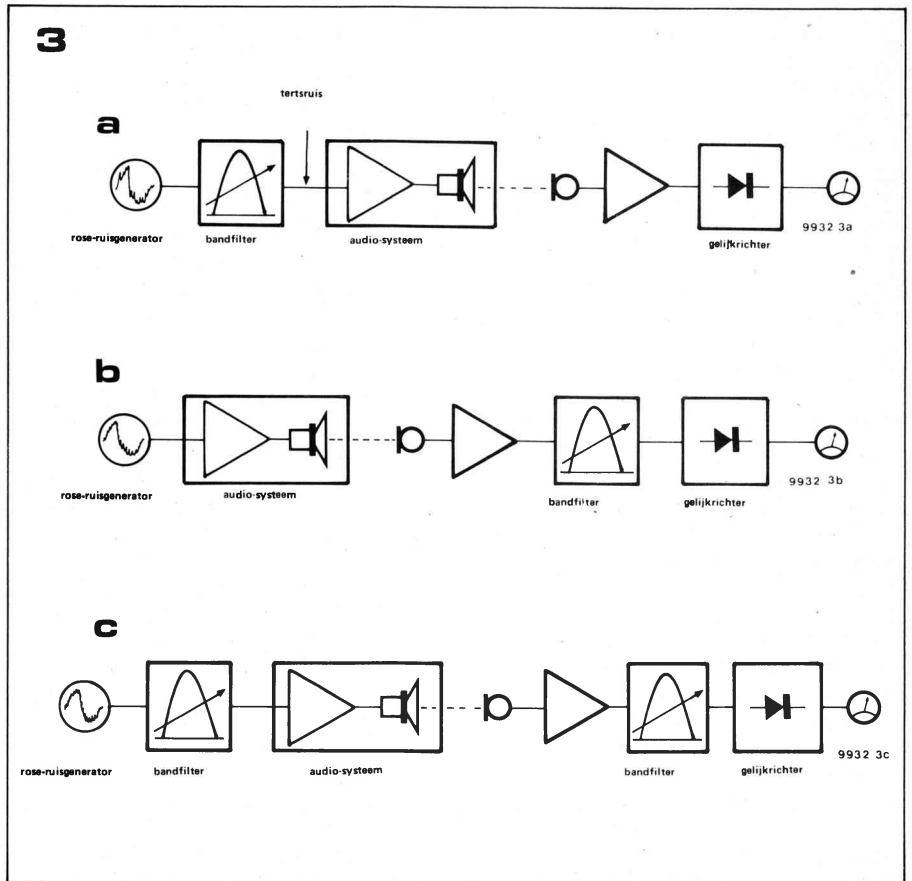
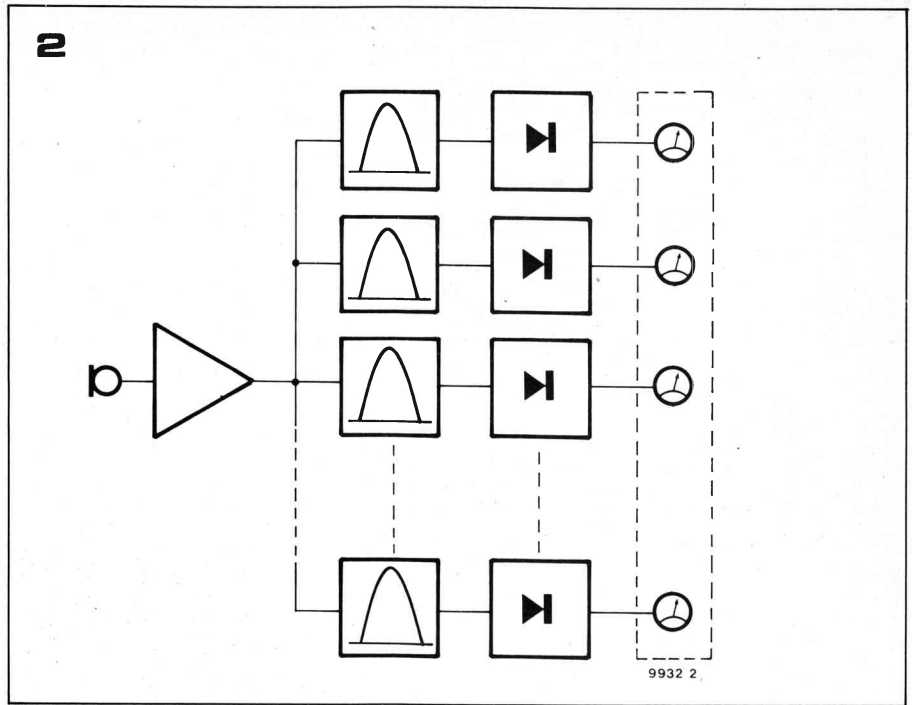
getoonde fabrieksapparaat, via een speciaal daarvoor gekonstrueerd LED-display.

Als men nu alle uitleesinstrumenten netjes naast elkaar zet, dan ziet men in één oogopslag de gehele frekwentiekarakteristiek voor zich, welk feit dan ook het grote pluspunt vormt van deze meetmethode. De prijs die voor deze ontegenzeggelijk nuttige eigenschap betaald moet worden is door het grote aantal benodigde filters en de uitgebreide en kostbare uitlezing echter niet gering. Het zeer mooie apparaatje van figuur 1 kost samen met een bijbehorende ruis-generator dan ook zo'n slordige f 2500,- en dat is nog maar een fractie van wat voor sommige van zijn grote broers betaald moet worden.

Schrappen we echter de toevoeging 'real-time', en stellen we ons tevreden met een 'analyzer zonder totaal-overzicht' dan kan het, zeker als we bovendien nog kiezen voor de simpelste vorm van uitlezing, stukken eenvoudiger en vooral goedkoper.

De Elektuur-oplossing

Het wezenlijke verschil tussen een 'echte' real-time analyzer en het hier beschreven goedkopere alternatief zit hem in het



Figuur 1. Een mooie maar kostbare fabrieks-uitvoering van een real-time analyzer.

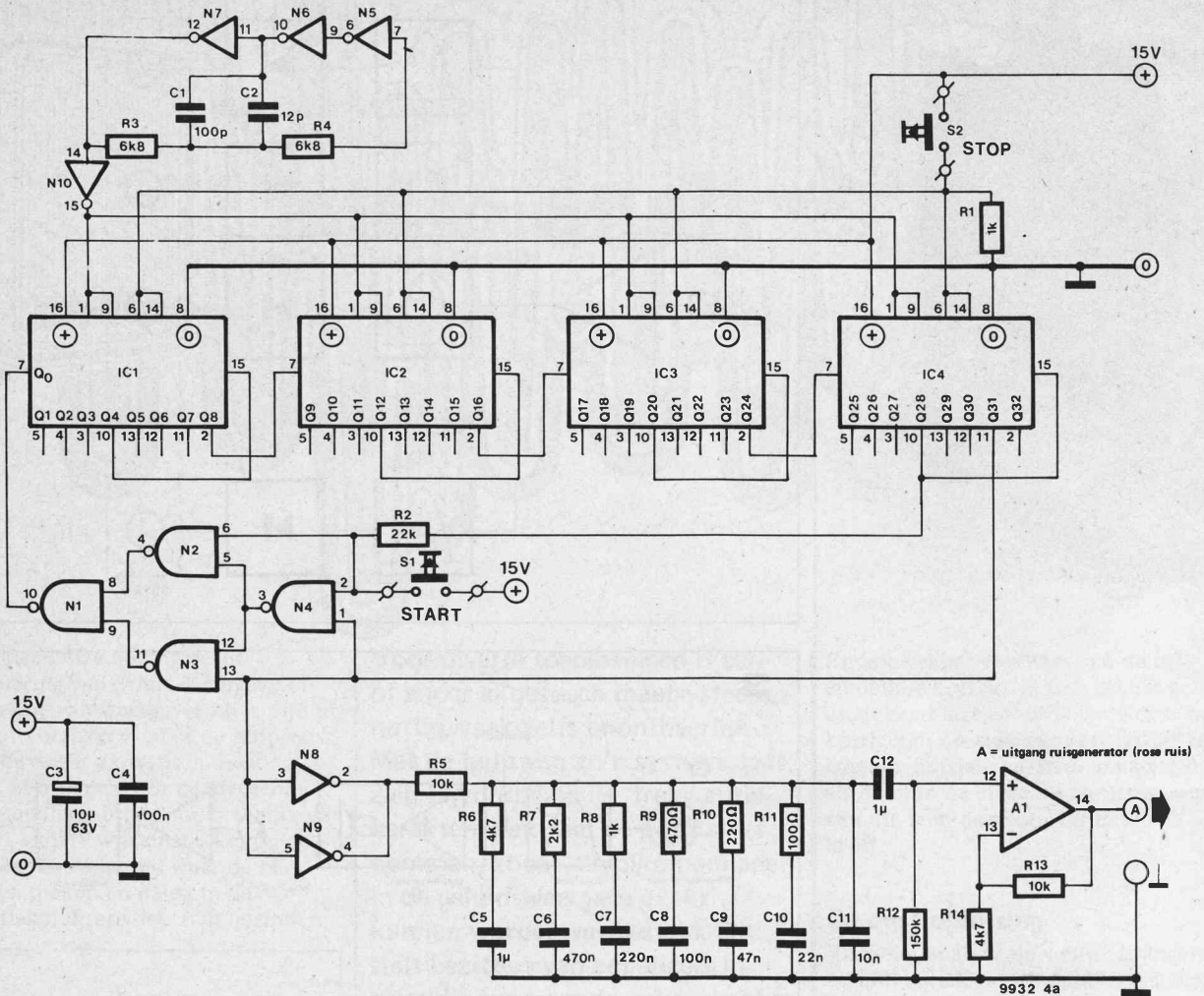
Figuur 2. Blokschema van een real-time analyzer.

Figuur 3a/b/c. Drie mogelijke opzetten voor een alternatieve analyzer.

feit dat er niet een hele reeks van filters wordt toegepast, maar slechts één filter waarvan men de centrale frekwentie kan variëren.

De werking blijft dus in wezen gelijk, maar de karakteristiek wordt nu niet in één keer maar deel voor deel bekeken. In figuur 3 zijn de drie bij dit alternatief nog mogelijke varianten geschetst. In figuur 3a is het variabele filter aan de 'zendzijde' geplaatst, in figuur 3b aan de 'ontvangzijde' en in figuur 3c aan beide zijden. Hoewel er in theorie geen verschil is tussen deze drie varianten, is dat in de

4a



praktijk wèl het geval. Bij het systeem volgens figuur 3a kunnen allerlei stoorsignalen de microfoon bereiken en foutieve meetresultaten geven. Bij de opzet van figuur 3b is de kans hierop veel kleiner, omdat nu alleen last wordt ondervonden van stoorsignalen die binnen de bandbreedte van het filter liggen; een nadeel van dit systeem is weer dat er slechts een klein deel van het spectrum van de rose ruis wordt benut, terwijl de geluidsinstallatie wel het gehele spectrum moet weergeven. De oplossing van figuur 3c is in feite de beste, maar vanwege de kosten en complexiteit van twee synchroon lopende variabele filters moet voor de realisering van een audio-analyzer voor ons doel toch eerder gedacht worden aan een van de in figuur 3a of 3b geschetste opzetten.

Voor een dergelijke analyzer zijn dan de volgende zaken nodig:

- een rose-ruisgenerator;
- een bandfilter met continu of stapsgewijze variabele frequentie;
- een meetmicrofoon met voorversterker;
- een gelijkrichterschakeling;
- een indikatieschakeling.

Twee dingen hebben we al. De universeelmeter vormt een goedkope

indikatieschakeling en als meetmicrofoon + voorversterker kan de in oktober 1977 beschreven electret-microfoon + versterker uitstekend dienst doen. Een echte meetmicrofoon is natuurlijk wel een prettig bezit, maar echt niet persé noodzakelijk. Resten nog drie schakelingen en deze zullen nu dan ook worden besproken.

De schakeling

Het principeschema van de complete analyzer, dat is getekend in figuur 4, bestaat dus uit drie deelschakelingen:

- de ruisgenerator;
- het bandfilter;
- de gelijkrichterschakeling.

In figuur 5 is een blokschematische samenvatting gegeven van de schakeling. De deelschakelingen zitten als volgt in elkaar:

De ruisgenerator

Figuur 4a maakt duidelijk dat het om een digitale ruisgenerator gaat. Bij dit ontwerp is gekozen voor een vrij lang schuifregister en dus voor een veel grotere cyclustijd dan gebruikelijk. Dit heeft als voordeel dat ruis wordt verkregen die zeer nauwkeurig is en die niet het irritante, stoomtrein-achtige periodieke karakter bezit dat ken-

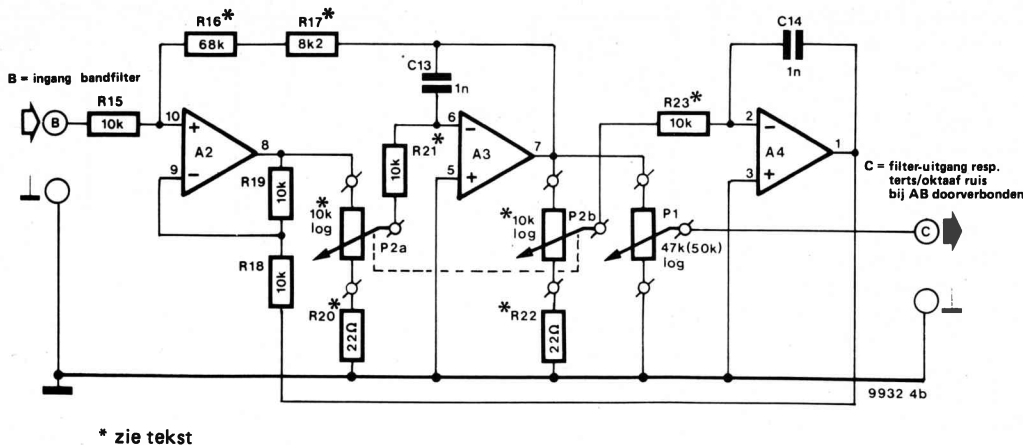
merkend is voor een kortere cyclus. De lengte van het schuifregister (IC1...IC4) bedraagt hier dan ook maar liefst 31 bits en aangezien de klokfrequentie (N5...N7, C1,C2,R3,R4) rond 500 kHz ligt, duurt de cyclus ruim vijf kwartier!

De EXOR-terugkoppeling wordt verzorgd door N1...N4. Iets dat men vergeefs in de schakeling zal zoeken is logika die voorkomt dat het schuifregister de nultoestand aanneemt. In plaats daarvan zijn twee drukschakelaars aangebracht. Met de START-drukknop S1 wordt een logische 1 op de data-ingang Q₀ van het register (punt 7 van IC1) gezet; de cyclus wordt gestart. Stoppen gaat ook, en wel door S2 (stop) in te drukken. Op deze wijze is het mogelijk om de ruis (tijdelijk) te onderbreken zonder de voedingsspanningen uit te schakelen. Dat kan bijzonder handig of zelfs noodzakelijk zijn. De digitale ruis aan de uitgang van N8/N9 wordt aan het rose-ruisfilter R5...R11, C5...C11 toegevoerd en na passage van dit filter versterkt via de schakeling rond A1.

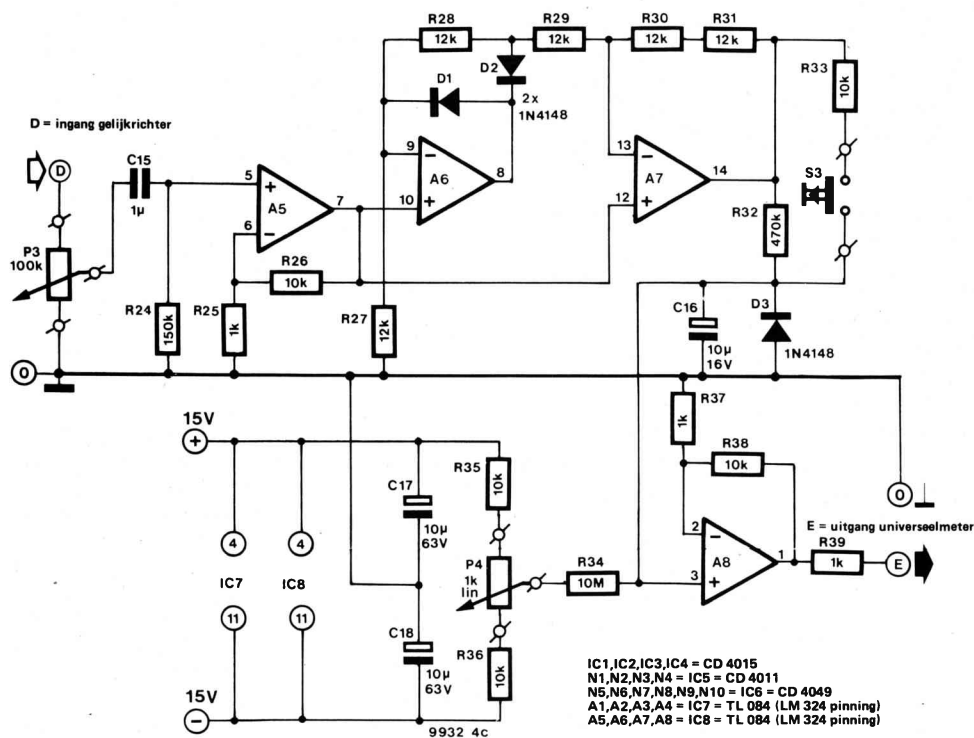
Het bandfilter

Dit gedeelte van figuur 4 is vrijwel identiek aan de tertsfiltersectie van de

4b



4c



CMOS-ruisgenerator uit september 1977. Met potmeter P1 kan het uitgangsnivo van de filterschakeling worden ingesteld. Met de stereopotmeter P2a/P2b kan de centrale frekwentie van het tertsfiler kontinu worden gevarieerd tussen ca. 40 Hz en ca. 16 Hz. Indien men wenst te beschikken over een aantal omschakelbare centrale frekwenties van het selectieve filter, wordt stereopotmeter P2a/P2b vervangen door een aantal omschakelbare paren weerstanden. De veranderingen zijn in figuur 6 aangegeven. De weerstanden R20 en R22 worden vervangen door een doorverbinding, R21 en R23 krijgen een andere waarde en de weerstanden R40

Figuur 4. Het prinseschema van de analyzer voorzover het de ruisgenerator (a), het bandfilter (b) en de gelijkrichterschakeling (c) betreft.

en R41 worden toegevoegd. In de tabel vindt men nadere dimensioneringsgegevens voor de diverse, internationaal genormeerde, centrale frekwenties.

Voor de afregeling van een parametrische equalizer is een bandbreedte van het meetfilter nodig, die smaller is dan 1/3 oktaaf. Met R16 = 220 kΩ (R17 = doorverbinding) wordt een bandbreedte van ca. 1/12 oktaaf verkregen.

De gelijkrichterschakeling

Het is van het grootste belang, dat de amplitude van het testsignaal op de juiste manier wordt gemeten. Indien

rose ruis als testsignaal wordt gebruikt in combinatie met filters met konstante relatieve bandbreedte (in ons geval: filters met een konstante kwaliteitsfactor Q), dient men eigenlijk de effectieve waarde van de ruis te meten. Nu is het meten van die effectieve waarde geen eenvoudige zaak. Er is een bevredigend eenvoudig alternatief gevonden: van de ruis wordt het gemiddelde van de absolute waarde bepaald. De absolute waarde wordt verkregen na dubbelzijdige gelijkrichting. Door het uitgangssignaal van de gelijkrichter toe te voeren aan een RC-netwerk ontstaat de gemiddelde waarde.

De gelijkrichterschakeling is opgebouwd rond IC8. De ingangsnivoregelaar P3 wordt gevolgd door een versterker met A5. De eigenlijke (dubbelfasige) gelijkrichter bestaat uit A6, A7, R27 ... R31 en D1, D2.

De uitgang van A7 is onder alle omstandigheden laagohmig; ze is via R32 verbonden met C16. Deze condensator wordt even snel opgeladen als ontladen. De spanning over C16 is dus gelijk aan de gemiddelde waarde van de dubbelzijdige gelijkgerichte ruisspanning. En dat moesten we hebben.

De tijd waarover wordt gemiddeld hangt samen met de RC-tijd $R32 \cdot C16$ of, indien S3 is ingedrukt, $(R32 / R33) \cdot C16$.

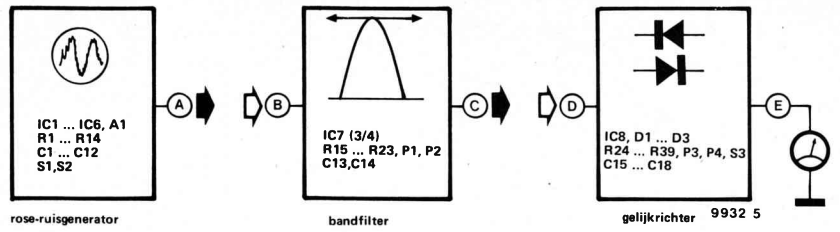
Indien S3 is ingedrukt, laadt en ontladt C16 veel sneller dan indien alleen R32 is ingeschakeld; de spanning over de condensator vertoont dan alle snelle fluctuaties in de ruisspanning. De schakelaar S3 is bedoeld om een snel globaal inzicht te verkrijgen in het verloop van de ruisamplitude bij wijziging van de filterfrequenties. Voor nauwkeurige metingen is men aangewezen op de trage, maar weinig fluctuaties vertonende meting met alleen R32 ingeschakeld. De spanning over C16 wordt na versterking via A8 aan een universeelmeter toegevoerd. Er is voorzien in een offset-regeling (P4, R34 ... R36), waarmee de uitslag van de universeelmeter nauwkeurig op nul wordt geregeld bij afwezigheid van een stuursignaal.

De bouw van de analyzer

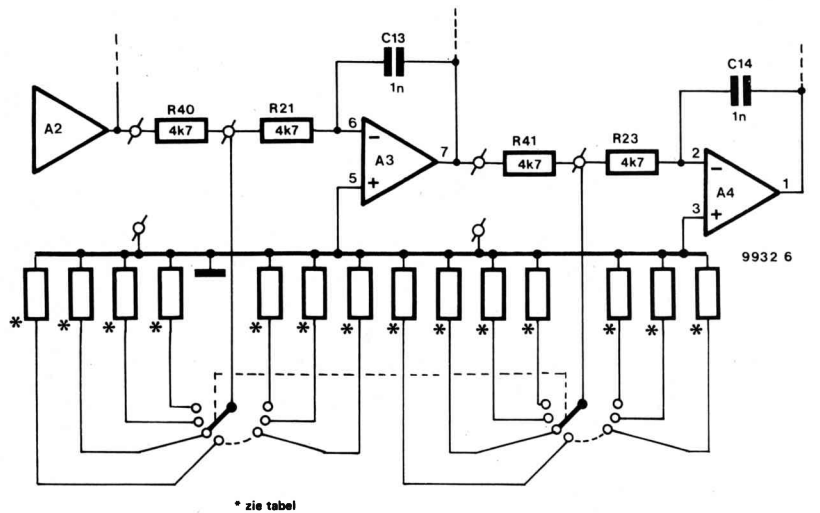
Gegevens van de print voor de schakeling van figuur 4 treft men, samen met de onderdelenlijst aan in figuur 7. De print is zodanig uitgevoerd dat zowel de mogelijkheid van figuur 3a als die van figuur 3b kan worden gerealiseerd. De bouw van de schakeling brengt zeker in de standaardversie geen speciale problemen met zich mee. Houd de bedrading van de externe potmeters en schakelaars zo kort mogelijk. Alle aansluitingen hiervoor bevinden zich op één kant van de print.

Problemen van praktische aard kunnen zich wel voordoen indien men kiest voor een aantal omschakelbare centrale frequenties. Uit figuur 6 blijkt namelijk dat er in dat geval een dubbeldeks

5



6



schakelaar nodig is, waarvan het aantal standen gelijk is aan het gewenste aantal centrale frequenties. Met name bij een keuze voor alle 1/3 oktaaf-centrale frequenties van de tabel kan de verkrijgbaarheid van een dergelijke schakelaar problematisch zijn, laat staan de kostprijs. Men kan in plaats van een dubbeldeks-schakelaar met n standen ($n =$ aantal verschillende centrale frequenties) n dubbelpolige schakelaars nemen, waarmee telkens één stel weerstanden wordt ingeschakeld. Bij een verandering van de ene naar de andere filterfrequentie moeten dan telkens twee schakelaars omgezet worden. Afgezien van de schakelaar(s) moeten bij een keuze voor vaste filterfrequenties de volgende wijzigingen worden aangebracht op de print:

- R21 en R23 worden gewijzigd in 4k7,
- R20 en R22 worden vervangen door een doorverbinding,
- een weerstand R40 van 4k7 wordt gesoldeerd tussen de 'bovenste' 2 aansluitingen van P2a,
- een weerstand R41 van 4k7 wordt gesoldeerd tussen de 'bovenste' 2 aansluitingen van P2b.

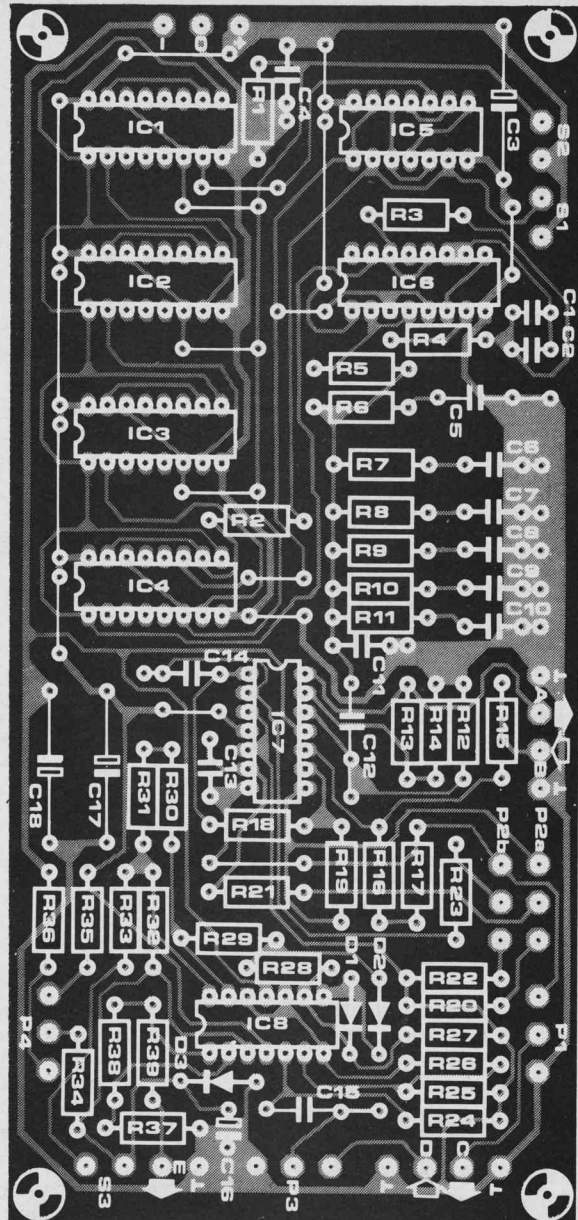
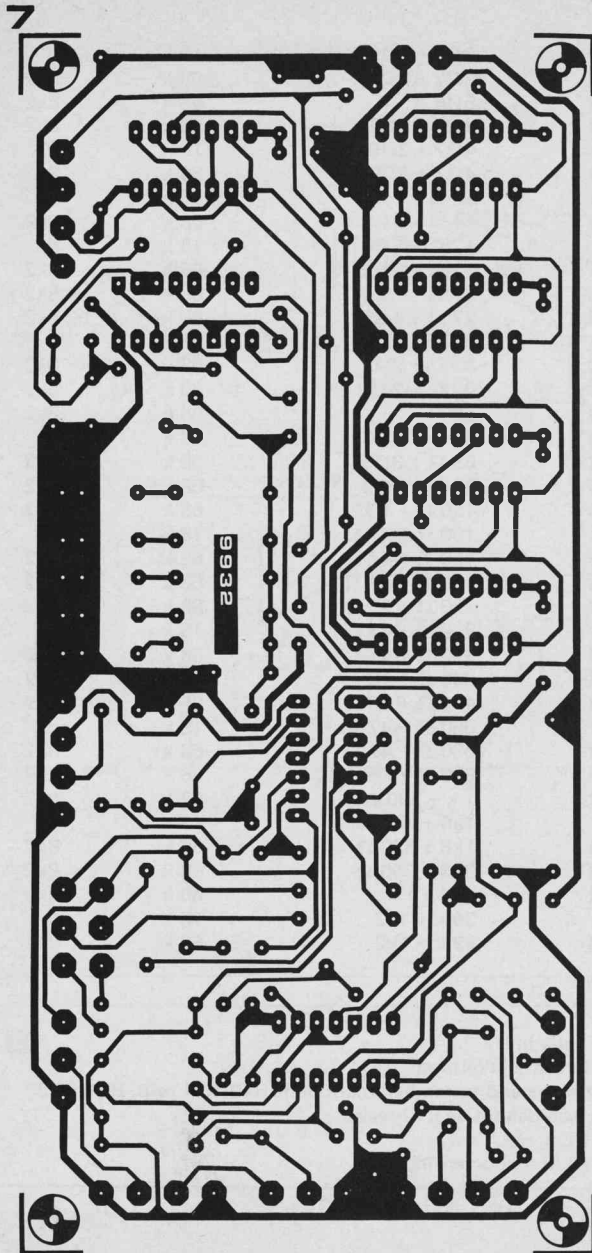
De omschakelbare weerstandsparen moeten buiten de print op de schakelaar(s) worden gemonteerd.

Bij een continu variërende filterfrequentie is het handig om P2a/P2b te voorzien van een pijlknop en een schaal. Men kan natuurlijk de schaal iken (bij dat en dat streepje hoort die en die filterfrequentie), maar dat is niet strikt noodzakelijk. Het gaat erom dat men een aantal oriëntatiepunten heeft (piek bij streepje x, dal bij streepje y, enzovoorts).

Een absolute frequentieschaal kan worden verkregen door met een toongenerator bij een aantal standen van P2 die frequentie te noteren, waarvoor de uitgangsspanning op punt C maximaal is, bij sturing van punt B met een sinus.

Gebruiksaanwijzingen

De aflezing van de amplitude van de testruis vindt, zoals gezegd plaats met een universeelmeter (10 à 12 volt volle schaal), die wordt aangesloten op de uitgang (punt E) van de gelijkrichterschakeling. De gelijkspanning op punt E dient bij afwezigheid van een AC-stuursignaal (punt D niet aangesloten) van P3 dichtgedraaid) zeer nauwkeurig op nul (milli) volt te worden afgeregeld met behulp van P4. De juiste instelling van P4 wordt verkregen na herhaald terugschakelen van het spanningsbereik van de voltmeter en na het ompolen van de



Figuur 5. Blokschema van figuur 4.

Figuur 6. Wijzigingen aan het bandfilter ten behoeve van omschakelbare filterfrequenties.

Figuur 7. De print van de schakeling van figuur 4.

Onderdelenlijst, behorend bij de figuren 4 en 7.

Weerstanden:

- R1, R8, R25, R37, R39 = 1 k
- R2 = 22 k
- R3, R4 = 6k8
- R5, R13, R15, R18, R19, R21, R23, R26, R33, R35, R36, R38 = 10 k
- R6, R14 = 4k7
- R7 = 2k2
- R9 = 470 Ω
- R10 = 220 Ω
- R11 = 100 Ω
- R12, R24 = 150 k
- R16 = 68 k
- R17 = 8k2
- R20, R22 = 22 Ω
- R27, R28, R29, R30, R31 = 12 k
- R32 = 470 k
- R34 = 10 M
- P1 = 47 k (50 k) log
- P2a/P2b = 10 k log stereo
- P3 = 100 k log
- P4 = 1 k lin

Kondensatoren:

- C1 = 100 p
- C2 = 12 p
- C3, C17, C18 = 10 μ/63 V
- C4, C8 = 100 n
- C5, C12, C15 = 1 μ MKM
- C6 = 470 n
- C7 = 220 n
- C9 = 47 n
- C10 = 22 n
- C11 = 10 n
- C13, C14 = 1 n
- C16 = 10 μ/35 V tantaal

Halfgeleiders:

- IC1, IC2, IC3, IC4 = CD 4015
- IC5 = CD 4011
- IC6 = CD 4049
- IC7, IC8 = TL 084 (Texas Instruments) DIL
- D1, D2, D3 = 1N4148

Diversen:

- S1, S2, S3 = drukknoop maak-kontakt

Figuur 8. Een prototype van de analyzer.

meetpenen. Houdt er rekening mee dat veranderingen in P4 zeer traag doorwerken als gevolg van de hoge tijdconstante, gevormd door R34 en C16. Al eerder is opgemerkt dat de traagheid van de gelijkrichter (R32, C16, S3 in de ruststand), gevoegd bij de traagheid van de universeelmeter ervoor zorgt dat de meteruitslag zeer geringe fluctuaties vertoont (deze zijn groter naarmate de filterfrequentie lager ligt). Dit heeft tot gevolg dat bij gebruik van continu variabele tertsruiis de frequentie slechts zeer langzaam mag worden gevarieerd. Op deze wijze kunnen eventuele pieken of dalen in de frequentie karakteristiek niet over het hoofd worden gezien. Indien men een systeem met een 'rechte' frequentie karakteristiek doorfluit, zal de gemiddelde meteruitslag onafhankelijk zijn van de filterfrequentie (de gemiddelde meteruitslag is die uitslag die het gemiddelde vormt van de maximaal positieve en dito negatieve fluctuatie, waarbij de filterfrequentie (tijdelijk) konstant wordt gehouden). Nu hebben 2 draadverbindingen (A-B en C-D) ook een rechte karakteristiek; door deze aan te brengen kan de juiste werking van de analyzer, met name die van het rose-ruisfilter en van het bandfilter worden gecontroleerd. Variaties van maximaal ± 2 dB (0,8 ... 1,25) tussen de diverse gemiddelde meteruitslagen zijn toegestaan. Oversturing van de gelijkrichter wordt voorkomen door het referentienivo (0 dB) te laten samenvallen met een gemiddelde meteruitslag van 3 à 4 volt.

Als laatste is nog een woord van waarschuwing wel op zijn plaats. Men dient er namelijk met de nodige zorg op toe te zien dat het ruissignaal in geen geval oversturing van het audio-systeem veroorzaakt. Dit is in dit geval extra van belang omdat de hieruit resulterende vervorming wat minder opvallend is dan bij bijvoorbeeld sinus- of blok-signalen, maar wel minstens even kwaadaardig. Nog afgezien van de meetfouten die kunnen ontstaan, wordt door deze vervormingsprodukten helaas maar al te gemakkelijk zware schade toegebracht aan de hoge-tonen-luidsprekers. De audio-analyzer is nu klaar voor gebruik. Hóe men er in de praktijk een verantwoord gebruik van maakt is echter weer een heel ander verhaal.

Literatuur

1. 'Digitale ruisgenerator'; *Elektuur*, september 1976.
2. 'Nogmaals ruisgenerator; CMOS en tertsruiis'; *Elektuur*, september 1977.
3. 'Doe meer met een equalizer'; *Elektuur*, september 1977.
4. 'Electret-mikrofoonversterker'; *Elektuur*, oktober 1977.

1	2	3	4	5
31,5	1/1	2Ω2 + 2Ω2	18 k	d
31,5	1/3	2Ω2 + 2Ω2	68 k	8k2
40	1/3	5Ω6	68 k	8k2
50	1/3	4Ω7 + 2Ω2	68 k	8k2
63	1/1	4Ω7 + 3Ω9	18 k	d
63	1/3	4Ω7 + 3Ω9	68 k	8k2
80	1/3	10 Ω + 1Ω2	68 k	8k2
100	1/3	10 Ω + 3Ω9	68 k	8k2
125	1/1	12 Ω + 5Ω6	18 k	d
125	1/3	12 Ω + 5Ω6	68 k	8k2
160	1/3	22 Ω	68 k	8k2
200	1/3	27 Ω + 1Ω8	68 k	8k2
250	1/1	33 Ω + 2Ω2	18 k	d
250	1/3	33 Ω + 2Ω2	68 k	8k2
315	1/3	22 Ω + 22 Ω	68 k	8k2
400	1/3	56 Ω	68 k	8k2
500	1/1	68 Ω + 3Ω3	18 k	d
500	1/3	68 Ω + 3Ω3	68 k	8k2
630	1/3	82 Ω + 8Ω2	68 k	8k2
800	1/3	100 Ω + 18 Ω	68 k	8k2
1000	1/1	100 Ω + 47 Ω	18 k	d
1000	1/3	100 Ω + 47 Ω	68 k	8k2
1250	1/3	120 Ω + 68 Ω	68 k	8k2
1600	1/3	220 Ω + 27 Ω	68 k	8k2
2000	1/1	270 Ω + 47 Ω	18 k	d
2000	1/3	270 Ω + 47 Ω	68 k	8k2
2500	1/3	390 Ω + 18 Ω	68 k	8k2
3150	1/3	470 Ω + 68 Ω	68 k	8k2
4000	1/1	680 Ω + 47 Ω	18 k	d
4000	1/3	680 Ω + 47 Ω	68 k	8k2
5000	1/3	820 Ω + 150 Ω	68 k	8k2
6300	1/3	1 k + 390 Ω	68 k	8k2
8000	1/1	1k8 + 330 Ω	18 k	d
8000	1/3	1k8 + 330 Ω	68 k	8k2
10.000	1/3	3k3 + 390 Ω	68 k	8k2
12.500	1/3	5k6 + 1 k	68 k	8k2
16.000	1/1	39 k + 1k2	18 k	d
16.000	1/3	39 k + 1k2	68 k	8k2

Opmerkingen.

kolom 1: centrale frequentie in Hz

kolom 2: relatieve bandbreedte in oktaven

kolom 3: grootte van de weerstand tussen het knooppunt R40/R21 resp. R41/R23 en massa, afgerond op waarden uit de E12-reeks

kolom 4: grootte van R16

kolom 5: grootte van R17 (d = doorverbinding)

