



wisselspan-
ningen op maat

funktiegenerator

Een funktiegenerator behoort zonder twijfel tot de standaard-uitrusting van een elektronica-(hobby)lab. Overal waar men sinussen, driehoeken of blokken nodig heeft, is zo'n generator onmisbaar. De in december 1977 gepubliceerde funktiegenerator van Elektuur werd — en wordt nog steeds — veel gebouwd. Deze "volkswagen" onder de funktiegeneratoren krijgt nu een waardige opvolger. De nieuwe generator is opgebouwd rond hetzelfde IC dat in zijn voorganger is toegepast: het funktiegenerator-IC XR-2206. De schakeling is echter wat uitgebreider en op wezenlijke punten sterk verbeterd: het nieuwe ontwerp is dan ook een Funktiegenerator met een grote F.

Van de funktiegenerator zijn sinds de verschijning in Elektuur december 1977 duizenden exemplaren gebouwd. Het is dus zeker geen gebrek aan belangstelling voor dat ontwerp geweest, dat ons heeft doen besluiten een nieuwe funktiegenerator te ontwerpen. Het is alleen zo dat er in zeven jaren wel het een en ander verandert, vooral in de elektronica. Een nieuwe, modernere funktiegenerator met betere specificaties zou wel welkom zijn, leek ons. Bovendien zal het de regelmatige lezer van ons blad niet zijn ontgaan dat we sinds enige tijd bezig zijn met een soort "meetapparaten-reeks". Nee, het is geen echte reeks, maar we hebben gewoon een serie schakelingen op onze planning staan die tot de meetapparatuur gerekend moeten worden. In de voorbije maanden zijn er al een capaciteitsmeter en een pulsgenerator gepubliceerd, deze keer brengen we dan een funktiegenerator en volgende maand komt daar een microprocessorgestuurde frekwentiemeter bij. Nogmaals, het is geen echte reeks en we kunnen dan ook niet vertellen wat daarna nog allemaal komt.

Bij de nieuwe funktiegenerator zou je verwachten dat deze volgens een totaal

Technische gegevens

- **Frekwentiebereik:** 1 Hz...110 kHz, verdeeld in 5 dekaden
- **Externe spanningssturing:** 0,1...10 V op de VCO-ingang geeft een frekwentieverandering van 1 : 100. Ingangsimpedantie 1 M Ω
- **Golfvormen:** sinus, driehoek, blok
- **Harmonische vervorming sinus:** <0,5%
- **DC-uitgang:** alle golfvormen, amplitude 100 mV...10 V_{tt}, gelijkspanningsnivo instelbaar van -5 V tot +5 V, uitgangsimpedantie 50 Ω , kortsluitvast
- **AC-uitgang:** alle golfvormen, amplitude 10 mV...1 V_{tt}, uitgangsimpedantie 600 Ω , kortsluitvast
- **Sync-uitgang:** blokgolf, amplitude 500 mV_{tt}, geen gelijkspanningscomponent aanwezig, uitgangsimpedantie 1 k Ω , kortsluitvast, afsluitimpedantie \geq 10 k Ω

nieuw concept is opgezet, en dus ook met nieuwe IC's. Toch zijn we na enige omzwervingen weer terecht gekomen bij het IC XR-2206, dat ook al de kern vormde van de vorige funktiegenerator. Dat hangt samen met een aantal redenen. Ten eerste moet de funktiegenerator vrij eenvoudig van opzet blijven. Ten tweede moet de schakeling niet te duur worden en ten derde mogen er geen "exotische" IC's in zitten die praktisch nergens ver-

krijgbaar zijn. Een geheel diskrete opbouw bleek te gekompliceerd om de schakeling gegarandeerd nabouwzeker te houden. Een digitale oplossing (golfvorm in EPROM met daarachter een D/A-omzetter) is wel helemaal van deze tijd, maar de voor deze opzet vereiste componenten zijn nog te duur en voor de hobbyist nauwelijks verkrijgbaar. De speurtocht naar een soort verbeterde XR-2206 liep op niets uit; zo'n tien jaar na de introductie blijkt dit IC nog steeds een van de beste in zijn soort te zijn.

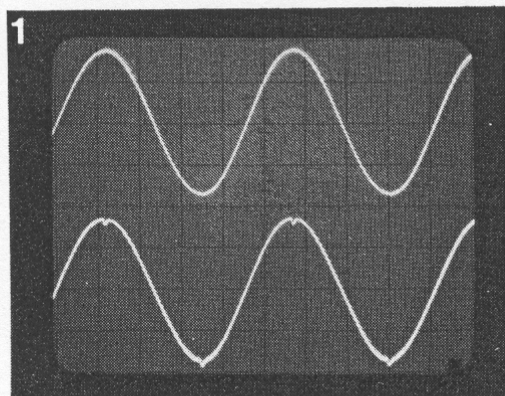
Na al deze overwegingen hebben we maar een nieuwe funktiegenerator ontwikkeld rond de 2206. Maar wel met uitstekende kwaliteiten. Door middel van verschillende slimme oplossingen is het gelukt een 2206-generator te maken die geen van de bekende (of beruchte?) 2206-nadelen bezit. Hoe we dat hebben gedaan, kunt u elders in deze Elektuur lezen in het artikel "de XR-2206 in de funktiegenerator".

Wat moet 'ie kunnen?

Het doel was duidelijk: een kleine funktiegenerator. Geen grote kast met een heleboel knoppen, maar een goed en degelijk basis-apparaat dat zeker niet onder doet voor de vrij prijzige kant-en-klare funktiegeneratortjes die bij de elektronica-winkel op de plank staan. Wat we ons daarbij hebben voorgesteld, kunt u zien in het lijstje "technische gegevens", terwijl een blik op de frontplaat een indruk geeft van het te verwachten uiterlijk. De standaard-golfvormen zijn sinus, driehoek en blok. In verband met de prijs is afgezien van een digitale frekwentie-instelling en -uitlezing. Er zit eenvoudig een knop met een lineaire schaal op, die na eenmalige afregeling vrij goed klopt. Bezitters van een frekwentiemeter kunnen dat apparaat natuurlijk altijd op de funktiegenerator aansluiten om te zien op welke frekwentie hij staat ingesteld.

Belangrijk voor het dagelijkse gebruik is een groot uitgangsspanningsbereik met instelbaar gelijkspanningsnivo. Op de uitgang DC-OUT staat een wisselspanning met een amplitude van maximaal $10 V_{\text{top-top}}$ bij een uitgangsimpedantie van 50Ω . Het gelijkspanningsnivo kan worden verschoven tussen -5 en $+5 V$, wat vooral handig is als men blokspanning

Figuur 1. De sinus van een fabrieksapparaat (beneden) vergeleken met de door de Elektuur-funktiegenerator geleverde sinus (boven).



gen met TTL- of CMOS-nivo nodig heeft. Een aparte uitgang voor audio-gebruik (AC-OUT) is voorzien van een uitgangskondensator; het signaalnivo van deze uitgang kan men instellen tussen $10 mV$ en $1 V$ (ook top-top) en de uitgangsimpedantie bedraagt 600Ω .

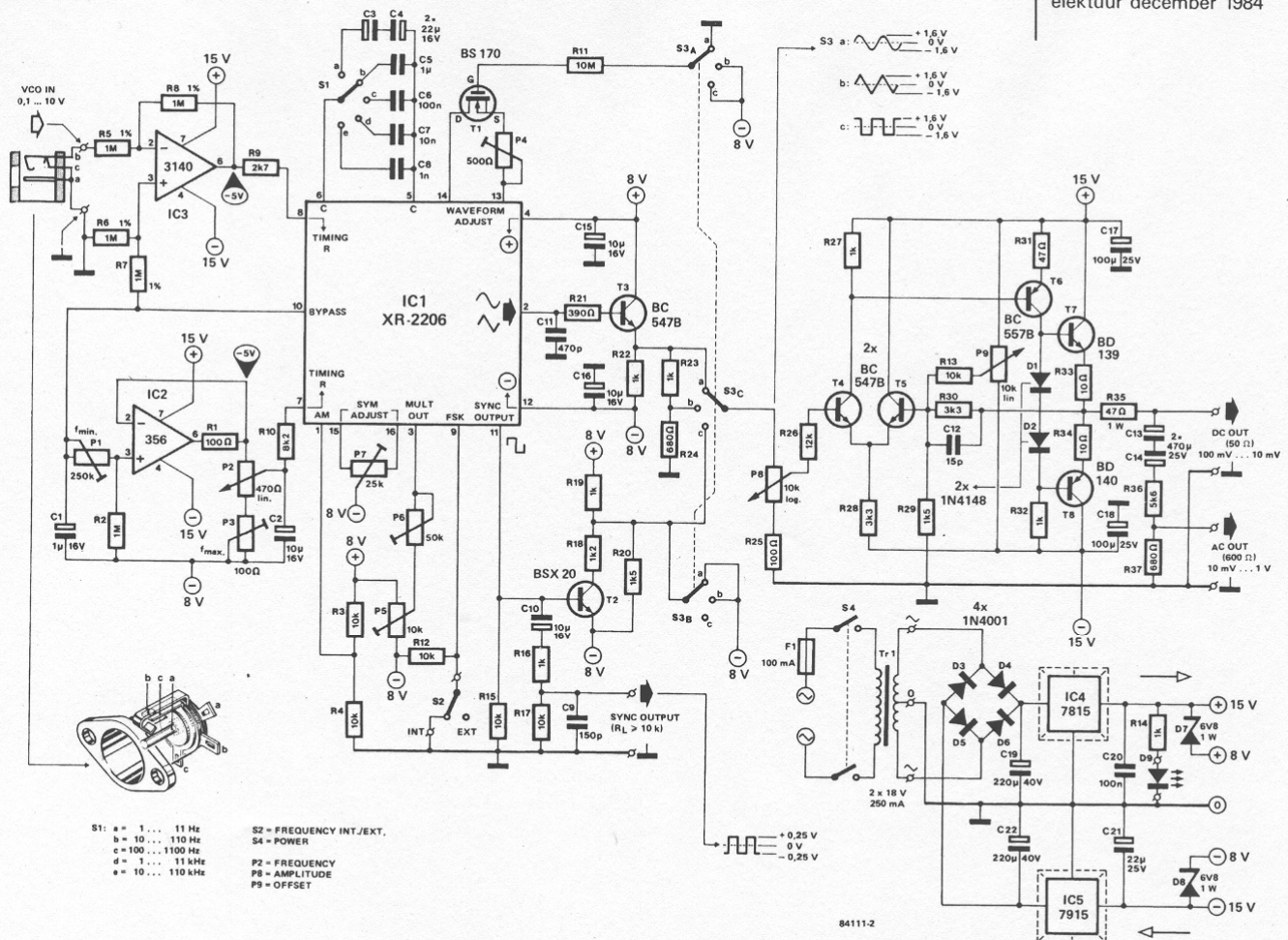
Om de golfvorm van de signalen ook bij hogere frekwenties zo "schoon" mogelijk te houden, bezit de funktiegenerator een gelijkspanningsgekoppelde uitgangsversterker met een grote bandbreedte. Hierbij moeten we wel opmerken dat de sinus niet helemaal vervormingsarm is, maar dat euvel heeft bijna elke funktiegenerator. Voor vervormingsmetingen aan hifi-apparaat moet een echte sinusgenerator worden gebruikt (bijvoorbeeld een Wien-brug-oscillator). Toch hebben we er heel wat tijd en moeite in gestoken om de sinus zo zuiver mogelijk van vorm te krijgen. In figuur 1 is te zien dat dit ook heel aardig is gelukt. In vergelijking met een fabrieksapparaat (met een 2206) levert de Elektuur-funktiegenerator een beduidend betere golfvorm (minder dan $0,5\%$ harmonische vervorming).

Een ander belangrijk detail is de VCO-ingang. Hiermee is een lineaire frekwentiesturing in een bereik van $1 : 100$ mogelijk door middel van een gelijkspanning van $0,1 \dots 10 V$.

Voor een goede werking van de schakeling moeten printsporen en verbindingdraden zo kort mogelijk worden gehouden. Daarom is hier een dubbelzijdige print toegepast, waarop de draaischakelaars en potmeters direct worden gemonteerd. Dit komt niet alleen de kwaliteit van de golfvormen ten goede, maar vergemakkelijkt ook de bouw van het apparaat. Een echte "bedrading" is alleen nog maar nodig voor de nettrafo, de in- en uitgangsbussen en de wipschakelaars.

De schakeling

We beginnen ditmaal eens met het eenvoudigste gedeelte van de schakeling: de voeding (zie figuur 2). De standaardkonfiguratie van nettrafo met middenaftakking, bruggelijkrichter en twee spanningsstabilisatoren (IC4 en IC5) levert hier een symmetrische gestabiliseerde gelijkspanning van $+ en -15 V$. LED D9 geeft aan of het apparaat is ingeschakeld. De XR-2206 kan maar $26 V$ verdragen. In serie met de voedingslijnen naar het IC zijn daarom twee zenerdioden (D7 en D8) opgenomen, zodat IC1 gevoed wordt met $+ en -8 V$. Aan de voedingsspanning voor het IC worden geen hoge eisen gesteld. Het IC bezit voor intern gebruik een heel stabiele referentie-gelijkspanningsbron die $3 V$ levert (ten opzichte van de negatieve voedingslijn). Deze gelijkspanning is beschikbaar op pen 10 van het IC en is ontkoppeld via condensator C1. In deze schakeling wordt die $3 V$ -gelijkspanning ook gebruikt als referentiespanning voor de frekwentie-instelling met P2. IC2 is als buffer opgenomen tussen de referentiespanning en de potmeter, om de referentiespanningsbron zo weinig moge-



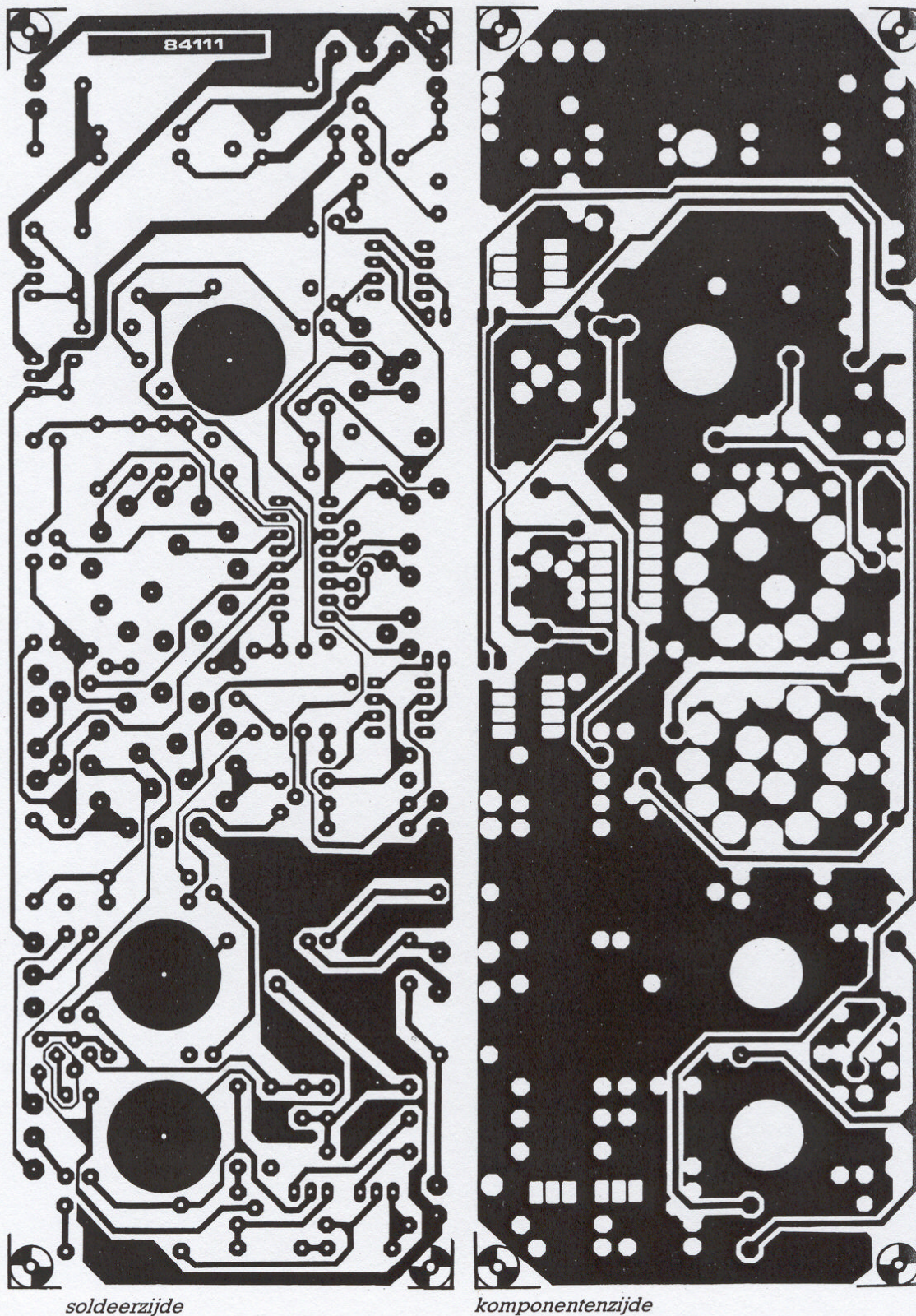
lijk te belasten. Ook op pen 7 van IC1 staat de referentiespanning van 3 V. De frekwentie van de IC-generator is recht evenredig met de stroom die uit pen 7 loopt. De grootte van de stroom (en daarmee de frekwentie) wordt bepaald door de spanning op de looper van P2. Bij een hoge spanning, bijvoorbeeld 3 V, loopt er een heel kleine stroom en is de frekwentie het laagst (f_{\min}). Bij een lage spanning op de looper (looper helemaal naar de negatieve voedingskant gedraaid) is de frekwentie het hoogst (f_{\max}). Let wel, alle hier genoemde spanningen zijn gerelateerd aan de negatieve voedingspanning. Met de instelpotmeters P1 en P3 kan men de begin- en eindwaarde van de frekwentieschaal beïnvloeden.

Via pen 9, de FSK-ingang, kan men de frekwentie-instelling van de 2206 omschakelen van pen 7 naar pen 8. Hiervan maken we gebruik om over te schakelen van hand-instelling naar de VCO-ingang. Na omschakelen van S2 is P2 dus buiten werking en de stroom uit pen 8 bepaalt dan de frekwentie. Die stroom wordt bij pen 8 bepaald door de stuurspanning op weerstand R9. Die stuurspanning komt (via IC3) van de VCO-ingang. IC3 invertiert de stuurspanning, zodat een verhoging van de spanning ook daadwerkelijk een verhoging van de frekwentie tot gevolg heeft. Verder zorgt IC3 voor een aanpassing tussen het gewenste VCO-spanningsbereik en het werkelijke spanningsbereik waarop

IC1 reageert. Daartoe is de niet-inverterende ingang van IC3 via R6/R7 aangesloten op de 3 V-referentiespanning. Men kan, indien gewenst, ook de hele VCO-ingang weglaten. Dan vervallen de componenten IC3, R5...R9 en S2 en moet men de aansluiting voor S2 op de print verbinden met massa. Het frekwentiebereik wordt bepaald door de condensatoren C3...C8. Het omschakelen geschiedt via schakelaar S1. In het laagste bereik zijn twee elko's van 22 μ F (C3 en C4) in serie geschakeld, wat overeenkomt met een bipolaire condensator van 11 μ F. Het omschakelen van de golfvormen zit vrij complex in elkaar. Hiervoor is dan ook een schakelaar met drie moedercontacten noodzakelijk (S3). In stand a van S3 produceert de 2206 een sinusvormig signaal. Deel A van de schakelaar schakelt elektronisch via de VMOS-FET T1 de golfvorm-instelpotmeter P4 tussen pen 13 en 14 (waveform adjust). Deel B sluit de uitgang van T2 kort door hem met -8 V te verbinden. Dit voorkomt beïnvloeding van de sinusvorm door de blokgolf. Deel C verbindt tenslotte de door T3 gebufferde uitgang van IC1 met de ingang van de uitgangsversterker.

Stand b is voor de driehoek. Deel A onderbreekt nu via de BS 170 de sinusvorming. Deel B zet nog steeds de blokgolf buiten spel en deel C geeft het signaal weer door naar de uitgangsversterker. Achter T3 is nu een spanningsdeler opge-

Figuur 2. Het schema van de funktiegenerator bestaat uit drie grote stukken: het generatorgedeelte met IC1, de gelijkspanningsgekoppelde uitgangsversterker (T4...T8) en de symmetrische voeding (rond IC4 en IC5).



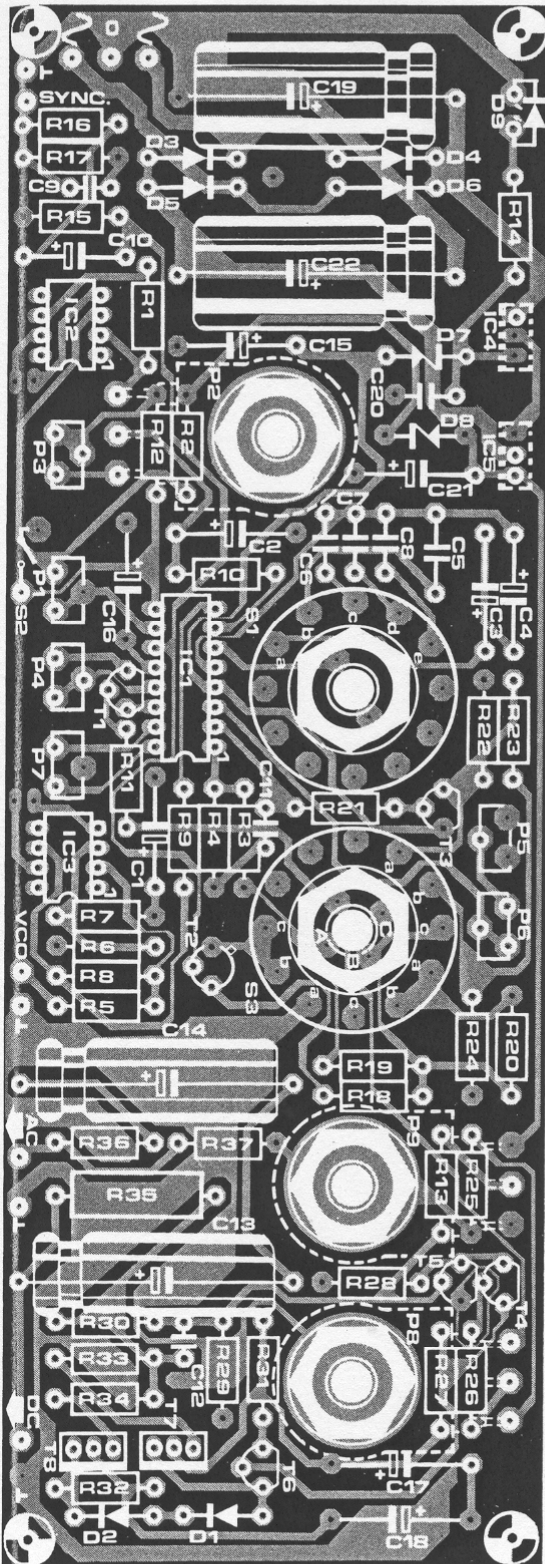
Figuur 3. De dubbelzijdige print voor de funktiegenerator. Door de "dubbele koperlaag" kon de bedrading tot een minimum worden beperkt en konden de verbindingen op de print zo kort mogelijk worden gehouden.

nomen. Dat is noodzakelijk om de amplitude van sinus en driehoek aan de uitgang even groot te houden, daar de uitgang van de XR-2206 de driehoek met een veel grotere amplitude levert dan de sinus.

Tenslotte geldt stand c voor de blokgolf. Deel A houdt T1 gesperd, deel B geeft het door T2 versterkte blokvormige signaal door aan de deel C en van hieruit gaat het signaal naar de uitgangsversterker.

De blokgolf staat continu ter beschikking aan de Sync Output. De amplitude van dit signaal is echter maar $0,5 V_{tt}$. Dit is een zuivere wisselspanning. DC-komponenten worden geblokkeerd door C10.

Met behulp van de tussen pen 15 en 16 aangesloten potmeter P7 kan de symmetrie van de golfvorm worden ingesteld. De amplitude van het uitgangssignaal op pen 2 wordt bepaald door P6 en de gelijkspanning aan pen 2 kan men beïnvloeden met P5. De AM-ingang van het IC



Onderdelenlijst

Weerstanden:

- R1, R25 = 100 Ω
- R2 = 1 M
- R3, R4, R12, R13, R15, R17 = 10 k
- R5, R6, R7, R8 = 1 M, 1% metaalfilm
- R9 = 2k7
- R10 = 8k2
- R11 = 10 M
- R14, R16, R19, R22, R23, R27, R32 = 1 k
- R18 = 1k2
- R20, R29 = 1k5
- R21 = 390 Ω
- R24, R37 = 680 Ω
- R26 = 12 k
- R28, R30 = 3k3
- R31 = 47 Ω
- R33, R34 = 10 Ω
- R35 = 47 Ω/1 W
- R36 = 5k6
- P1 = 250 k instel, staand model
- P2 = 470 Ω (500 Ω) draadgewonden potmeter, met 50 mm as
- P3 = 100 Ω instel, staand model
- P4 = 500 Ω (470 Ω) instel, staand model
- P5 = 10 k instel, staand model
- P6 = 50 k (47 k) instel, staand model
- P7 = 25 k (27 k) instel, staand model
- P8 = 10 k log. met 50 mm, as
- P9 = 10 k lin. met 50 mm as

Kondensatoren:

- C1 = 1 μ/16 V
- C2, C10, C15, C16 = 10 μ/16 V
- C3, C4, C21 = 22 μ/25 V
- C5 = 1 μ MKT
- C6 = 100 n MKT
- C7 = 10 n MKT
- C8 = 1 n MKT
- C9 = 150 p
- C11 = 470 p
- C12 = 15 p
- C13, C14 = 470 μ/25 V
- C17, C18 = 100 μ/25 V
- C19, C22 = 220 μ/40 V
- C20 = 100 n

Halfgeleiders:

- D1, D2 = 1N4148
- D3, D4, D5, D6 = 1N4001
- D7, D8 = 6V8/1 W zenerdiode
- D9 = LED rood
- T1 = BS 170
- T2 = BSX 20 (2N2369)
- T3, T4, T5 = BC 547B
- T6 = BC 557B
- T7 = BD 139
- T8 = BD 140
- IC1 = XR 2206
- IC2 = LF 356N
- IC3 = CA 3140E
- IC4 = 7815
- IC5 = 7915

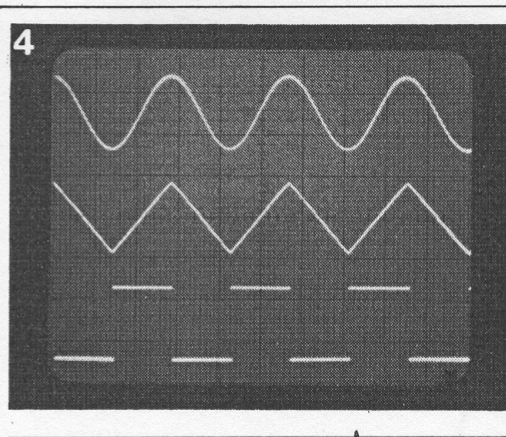
Diversen:

- S1 = draaischakelaar voor printmontage, 2 moedercontacten, 6 standen, bijv. C&K A206
- S2 = enkelpolige miniaturschakelaar
- S3 = draaischakelaar voor printmontage, 4 moedercontacten, 3 standen, bijv. C&K A403
- S4 = dubbelpolige miniatur-netschakelaar
- Tr1 = nettrafo sekundair 2 × 18 V/250 mA
- F1 = zekering 100 mA traag, met zekeringhouder
- 3 BNC-bussen met schroefbevestiging koelplaatje voor IC4 en IC5
- 1 schakel-bus voor VCO-ingang (zie figuur 2)

Geschatte bouwkosten:
 f 175,- (inkl. print)

(pen 1) ligt via R3 en R4 op een gelijkspanningsnivo van +4 V. De uitgangsversterker is geheel diskreet opgebouwd: een versilversterker (T4 en T5), een driver (T6) en twee eindtransistoren (T7 en T8). De versterking van het geheel wordt bepaald door de verhouding R30/R29; ze bedraagt hier iets meer dan driemaal. C12 zorgt voor de nodige frekwentiestabiliteit zonder de slew rate van de versterker te veel te beïnvloeden. De dioden D1 en D2 bepalen de rust-

stroominstelling van de eindtrap. Uitgangsweerstand R35 dient als stroombegrenzing voor de uitgangen; deze weerstand bepaalt tevens de uitgangsimpedantie van de DC-uitgang. Met P9 kan het gelijkspanningsnivo aan de uitgang worden verschoven. P8 is de "volumeregelaar" van de versterker. Bij de AC-uitgang zorgt de bipolaire elko C13/C14 voor het "tegenhouden" van gelijkspanningen. Bovendien verlaagt de spanningsdeler R36/R37 de uitgangsspanning; de dimensionering van



Figuur 4. De uitgangssignalen die de funktiegenerator kan leveren: sinus, driehoek en blok (schaalverdeling horizontaal 200 μ s/div, vertikaal 1 V/div).

de spanningsdeler is zo gekozen dat de uitgangsimpedantie 600 Ω bedraagt.

Zorgvuldig bouwen

Op een meetapparaat moet men kunnen vertrouwen. Dat kan alleen als men de nodige zorg besteed aan de bouw en afregeling van het apparaat. Lees ook eerst de hele bouwbeschrijving door, voordat begonnen wordt met solderen. Let goed op bij de print. Deze is wel dubbelzijdig, maar niet doorgemetalliseerd. Dit betekent dat verschillende componenten aan twee kanten (boven- en onderzijde van de print) moeten worden gesoldeerd. Gewoon kijken of aan de componentenzijde ook een soldeereilandje zit! Om te vermijden dat men hierbij een of meer soldeerpunten vergeet, geven we hier een lijstje met componenten die "dubbelzijdig" moeten worden gesoldeerd. Begin met deze componenten!

- Eerst de aansluitingen van P1 en P7 (elk één pootje)
- Eén aansluiting van R2, R3, R4, R6, R7, R12, R15, R17, R20, R22, R24, R25, R28, R29, R37 en C20
- De min-aansluiting van C1, C2, C15 en C19
- De plus-aansluiting van C17 en C21
- De kollektor van T3 en T5
- De emitter van T2
- Beide aansluitdraden van C16, C18 en D8
- Twee aansluitingen van P5, P9 en IC4
- Een aansluiting van IC5, S2 en de DC-uitgang

— Verder zitten er nog twee doorverbindingen bij IC2 en twee bij IC3. Zo'n doorverbinding bestaat uit een stukje draad dat door het printgat wordt gestoken en dan aan beide kanten wordt gesoldeerd.

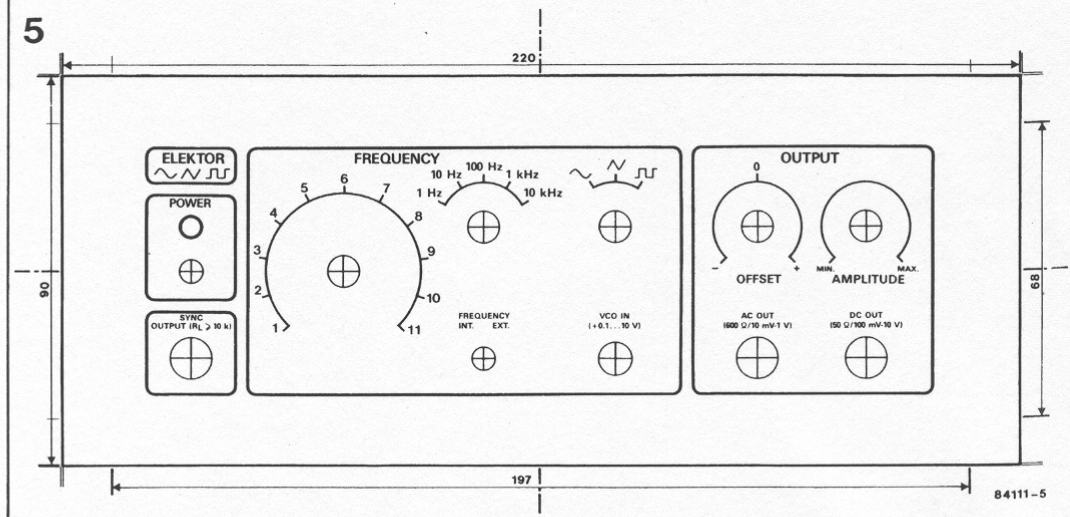
De aansluitingen voor de potmeters (P2, P8 en P9), de bussen, de trafo en schakelaar S2 kan men het beste voorzien van soldeerpenen. De penen voor P2, P8, P9 en de trafo moeten aan de soldeerzijde worden geplaatst, de overige penen aan de componentenzijde. Let er bij de soldeerpenen even op dat het "kraagje" niet te breed is, aangezien dit een kortsluiting op de print kan veroorzaken. De MKT-kondensatoren worden een stukje boven de print gemonteerd, anders bestaat ook hier de kans op ongewenste doorverbindingen. Ook oppassen dat de potmeters niet in aanraking komen met andere componenten.

De spanningsstabilisatoren IC4 en IC5 worden aan de soldeerzijde van de print geplaatst. Het metalen koelvlakje moet hierbij aan de kant van P2 zitten. De IC's worden elk van een koelplaatje voorzien. Men kan ook zelf van een stukje aluminium (afmetingen 60 x 100 mm, dikte 1,5 mm) een koelplaatje maken. IC4 en IC5 worden hierop *geïsoleerd* gemonteerd. Zo'n koelplaatje van eigen fabrikaat is te zien in figuur 6 en 7.

Nog een woord over de draaischakelaars. De in de onderdelenlijst vermelde typen worden in diezelfde bouwvorm ook geleverd door andere fabrikanten. Voor de montage op de print moet de draaibegrenzing van elke schakelaar nog worden ingesteld: S1 moet 5 standen hebben en S3 3 standen. Het aantal standen kan worden gefixeerd met de metalen schijf die zich bevindt onder de bevestigingsmoer.

De afmetingen van de print zijn zodanig dat deze precies past achter de voorzijde van een Vero-kastje van het type 075-01411D (hetzelfde type dat gebruikt is bij de pulsgenerator en de capaciteitsmeter). De hoeken van de print moeten vóór de inbouw een beetje worden afgevlind. In het kastje zitten sleufjes waar de print in kan worden geschoven. Voor de front-

Figuur 5. De frontplaat geeft het geheel een fraai uiterlijk. De aluminium frontplaat van het kastje moet eerst van alle gaten worden voorzien voordat men de frontplaatfolie erop kan plakken.



plaat is weer een zelfklevende folie ontworpen, die het geheel een fraai uiterlijk geeft (eerst gaten in de frontplaat boren, dan pas folie erop plakken). De "power"-LED en de ingangsbuss voor de VCO-aansluiting worden met behulp van tweekomponentenlijm op de achterkant van de frontplaat vastgezet.

Hoe het geheel in elkaar zit, kan men duidelijk zien op de foto's. Alles zit hier op één print, dat maakt het inbouwen vrij eenvoudig.

De afregeling

De instelpotmeters zijn niet helemaal even goed bereikbaar als de schakeling in het kastje is gebouwd. Het is een stuk gemakkelijker als men de generator afregelt voordat de print wordt ingebouwd. Sluit daartoe even de netrafo provisorisch aan en stel de potmeters en schakelaars als volgt in, *voordat de spanning wordt ingeschakeld*:

P8 helemaal rechtop (max. amplitude), alle andere potmeters en instelpotjes in de middenstand, S2 gesloten, S3 in stand blokgolf (c) en S1 in het bereik 1...11 kHz (d).

Nu mag de netspanning worden ingeschakeld. Sluit een multimeter aan op de DC-uitgang (gevoeligste gelijkspanningsbereik) en regel vervolgens P9 zo af dat de meter nul volt aanwijst. Met een oscilloscoop wordt nu de top-top-spanning van de blokgolf aan de DC-uitgang gemeten (noteer deze waarde!).

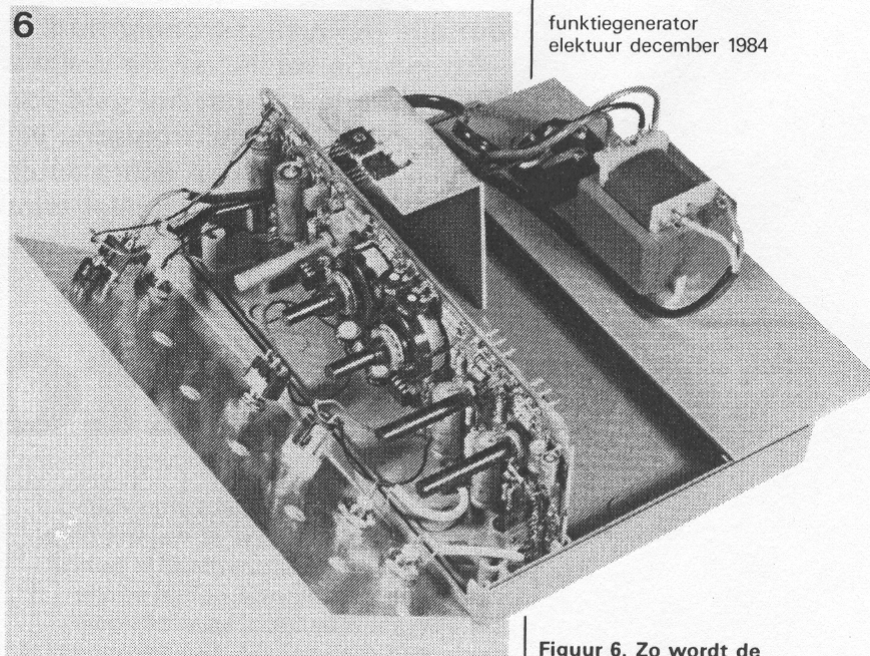
Daarna wordt S3 in de stand driehoek gezet (b). Weer wordt met de scoop de top-top-spanning gemeten. Stel die spanning met P6 in op dezelfde waarde als we zojuist bij de blok hebben gemeten. Tegelijkertijd kan de gelijkspanning aan de uitgang (kijk op de multimeter!) op nul worden geregeld met P5. Die afregeling met P5 en P6 enkele malen herhalen, totdat het gelijkspanningsnivo en de amplitude beide juist zijn.

Als dat klopt, kunnen we met S3 overschakelen naar sinus (a). Met P7 en P4 wordt de sinus afgeregeld op minimale vervorming. Dat kan gebeuren met een vervormingsmeter, maar het is ook mogelijk dit gewoon "op het oog" te doen: draaien aan P4 en P7 en op de scoop kijken hoe het "golfje" er uit ziet.

Tenslotte de afregeling van de schaalverdeling. Hiervoor moet de frontplaat op de print worden gezet (pas op, geen kortsluiting maken!) en op P2 moet een passende knop worden geplaatst. Zet de knop zodanig vast op de as, dat het hele bereik van de schaal kan worden bestreken. P2

wordt dan zo gedraaid dat het streepje of pijltje van de knop precies de "1" van de schaal aanwijst. Met P1 kan men nu de frekwentie instellen op exakt 1 kHz (meten aan uitgang met oscilloscoop of frekwentiemeter). Daarna wordt de knop van P2 op "10" gedraaid en kan men de frekwentie met P3 afregelen op 10 kHz. Klaar. De andere bereiken zijn daarmee ook geïjkt, voor zover de tolerantie van

6



funktiegenerator
elektuur december 1984

C3...C8 dat tenminste toelaat. Bij 5%-kondensatoren kloppen de bereiken dan binnen 5%. Een uitzondering wordt hier gevormd door C3 en C4. De nominale waarde is al 10% te groot (11 in plaats van 10 μ) en bovendien hebben de elko's een tolerantie van $-10/+50\%$. Wie het laagste bereik precies "op schaal" wil hebben, zal moeten experimenteren met verschillende elko's.

Perfektionisten kunnen ook de andere kondensatoren aan een tolerantieonderzoek onderwerpen (voor bezitters van de capaciteitsmeter is dat een fluitje van een cent). Verder kunnen ze voor P1 en P3 Cermet-trimmers nemen en metaalfilmweerstand voor R2, R9 en R10. Eventueel kan er nog een kleine frekwentiemeter bij worden gebouwd, voor een directe uitlezing. Enzovoorts. Noodzakelijk is dat allemaal niet. Het was tenslotte onze bedoeling om een eenvoudig en degelijk meetapparaat te maken. En dat heeft men al in de standaarduitvoering, zonder al die extra's.

Figuur 6. Zo wordt de funktiegenerator opgebouwd: frontplaat, print en achterkant worden eenvoudig in sleuven in het kastje geschoven (dit geldt voor het in de tekst genoemde Verokastje). De wip-schakelaars en de bussen zijn op de frontplaat gemonteerd, de draaischakelaars en potmeters zitten op de print. Op de achterplaat kan men de trafo en een zekeringhouder plaatsen (en eventueel een bus voor de netsnoer-aansluiting).

Figuur 7. De funktiegenerator is helemaal klaar. Het deksel hoeft alleen nog op de kast te worden gezet. De netkabel loopt door de print naar de netschakelaar op de frontplaat. De beide spanningsregelaars aan de soldeerzijde van de print zijn op een zelfgemaakt koelplaatje (geïsoleerd!) gemonteerd. Onder het koelplaatje zit de draadgewonden potmeter voor de frekwentie-instelling.

7

