

Electret-microfoons

Tegenwoordig gebruikt bijna iedere zendamateur een electret-microfoon. Bij het kapsel is een FETje ingebouwd. Soms is niet duidelijk hoe zo'n ding aangesloten moet worden en is er verwarring over de geluidskwaliteit bij dichtbij bespreken. Toch hebben deze microfoons een zeer goede kwaliteit en zijn ze zelfs geschikt voor het opnemen van muziek, als de ingebouwde FET goed ingesteld en afgesloten wordt.

H.L. Rutgers, PA0SU, Eindhoven

Inleiding

Er zijn drie hoofdsoorten microfoons: de dynamische, de condensator- en de electret-microfoon (spreek uit: elektreet). Ik wil het hier niet hebben over exotische zaken als de bandmicrofoon en ook de dynamische microfoon blijft verder buiten beschouwing.

De condensatormicrofoon is schematisch weergegeven in figuur 1. In feite is zo'n microfoon niets anders dan een condensator van ongeveer 50 pF met een vaste plaat en een dunne beweegbare plaat: het membraan. Dat membraan wordt via een zeer grote weerstand van spanning voorzien zodat de condensator een lading Q heeft. Als

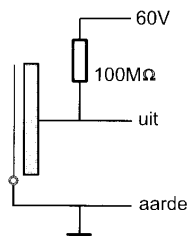


Fig.1. De condensatormicrofoon

Discussies over wijn en microfoons hebben gemeen dat men gebruik maakt van bloemrijke, soms dichterlijke, maar meestal niet- of nauwelijks gedefinieerde maatstaven om de kwaliteit aan te geven.

PdB

de aangelegde spanning 60 volt is, dan zal de lading op de microfoon zijn: $Q = C \cdot V = 50 \cdot 10^{-12} \cdot 60 = 3 \text{ nC}$ (nanocoulomb) en dat is maar een miezerig klein beetje. Als het membraan door geluid in beweging wordt gebracht, verandert de capaciteit van de condensator met de geluidsdruk. Doordat de weerstand naar de voedingsspanning zo ontzettend groot is, zal de lading van de microfoon niet veranderen, ook al is zijn eigen capaciteit maar klein. De capaciteitsvariatie is in de orde van 0,01 pF. De spanningsvariatie die daardoor over de microfoon ontstaat, is een paar millivolt. De versterker waarop de microfoon wordt aangesloten moet een zeer hoge ingangsweerstand hebben, in dezelfde orde als de weerstand naar de voeding.

Waarom willen we dan een condensatormicrofoon? Wel, het is de eenvoudigste manier om een vlakke frequentie karakteristiek te krijgen. Daarvoor namen onze voorvaders een aantal nadelen op de koop toe. Deze nadelen zijn:

- de noodzaak van een externe (polarisatie)spanning,
 - de kleine uitgangsspanning en
 - de zeer hoge inwendige impedantie.
- Voor spraak, zeker als dat door een SSB-zender moet, stel je nauwelijks eisen aan de frequentie karakteristiek van een microfoon. Waarom zou je dan naar een condensatormicrofoon kijken? Bedenk, dat condensatormicrofoons absoluut ongevoelig zijn voor magneetvelden. Zo'n ding kun je direct naast de voedingstrafo van de linear zetten. En er zijn mogelijkheden om de nadelen te omzeilen.

De electret-microfoon

De electret-microfoon is in feite een condensatormicrofoon zonder de bovengenoemde nadelen:

- de externe polarisatiespanning is niet meer nodig omdat de lading 'vast in de microfoon gebakken zit' (ik kom daar nog op terug);
- de zeer hoge inwendige impedantie, waardoor de versterker er achter ook een hoge impedantie moet hebben wil je nog enige spanning overhouden, is geen probleem meer sinds we ruisarme FETs hebben en



Achterzijde van een electret-microfoon (MQ2000) met tweepuntsaansluiting. Voor meetdoeleinden is de verbinding met het huis doorgekrast.

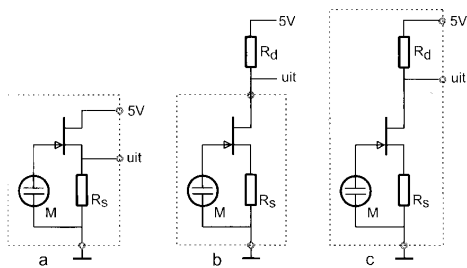


Fig. 2. Drie mogelijke schakelingen van electret-microfoons:

- Impedantie-omzetter, met drie aansluitingen.
- Versterker, met twee aansluitingen. R_s is niet altijd aanwezig.
- Versterker in oudere driepunts-electreten.

De schakeling binnen de stippellijnen zit in het microfoonkapsel. In de tekst wordt uitgelegd hoe de schakelingen a en c van elkaar te onderscheiden zijn.

- de lage uitgangsspanning is met zo'n FET uitstekend op te krikken tot enkele tientallen millivolt.

Bovendien is met de huidige fabricage-technieken zo'n microfoon voor een gulden te maken in, zo men wil, zeer kleine afmetingen. Het hele spul zit in een pilletje. Bij zo'n electret microfoon zit het FET-je ingebakken: het microfoonelement hangt rechtstreeks aan de gate. Deze verbinding is niet naar buiten uitgevoerd zodat de impedantie zeer hoog gehouden kan worden. Wat wordt er dan naar buiten uitgevoerd? Hoe moet ik hem aansluiten? Daar gaan we het over hebben.

De impedantie-omzetter

Als de FET als sourcefollower geschakeld is (figuur 2a) zullen er altijd drie aansluitpunten moeten zijn: aarde, de voedingspanning (aan de drain) en de signaal-aansluiting aan de source van de FET. Zo gebruikt, versterkt de FET niet in spanning.

De impedantie aan de source (100Ω) is echter een miljoen keer lager dan die aan het element, zodat die eenvoudig op elke microfoonversterker kan worden aangesloten.

De versterkerconfiguratie

Als het signaal van de drain wordt afgenomen (figuur 2b) dan versterkt de FET het signaal dat op de gate staat. Hoeveel die versterking is, hangt af van de weerstand in de drain en de ingebouwde weerstand in de source: R_s . In dit geval hoeft het kapsel maar twee aansluitingen te hebben: aarde en drain. Tussen drain en voeding wordt een weerstand van ongeveer $2 \text{ k}\Omega$ aangesloten. Van de drain wordt het signaal afgenomen. Het uitgangssignaal kan wel honderd keer zo groot zijn als dat van de impedantie-omzetterconfiguratie van hierboven. De uitgangsimpedantie van de schakeling is gelijk aan de drainweerstand. Die is voldoende laag om elke ordentelijke versterker te sturen.

N.B.: Een microfoon hoeft niet 'aangepast' te worden zoals nog vaak wordt gedacht (ook een dynamische microfoon niet). De ingangswaarde van de microfoonversterker moet minstens tien keer zo groot zijn als de inwendige weerstand van de microfoon.

N.B.: De schakeling van figuur 2a kan natuurlijk ook als versterker geschakeld worden: de source-aansluiting laten we los hangen en we beschouwen de andere aansluitingen alsof het een tweepunts-microfoon is.

Wat zit er in het kapsel?

De oudere electret-kapsels hebben een driepuntsaansluiting. Zit daar een impedantie-omzetter in? Niet altijd. Het kan ook zijn dat de schakeling van figuur 2c is toegepast. Of we te maken hebben met de schakeling uit figuur 2a of die van figuur 2c is na te gaan met een goede ohmmeter.

Met een goede ohmmeter bedoel ik een meter die op het kilo-ohmbereik met een spanning kleiner dan 0,5 volt werkt. Met zo'n meter meet een siliciumdiode altijd oneindig, ongeacht hoe je de meter aansluit. De tegenwoordige felgekleurde digitale meters doen dat. De meterspanning is te klein om de diode open te krijgen. In dat geval kun je weerstanden in spanningsloze schakelingen meten. De halfgeleiders blijven dicht!

Welke aansluiting aarde is, zal onmiddellijk duidelijk zijn: het pootje dat 'aan het huisje ligt' (minder dan 2Ω tussen huis en aansluiting) is de aardaansluiting. Vaak is er zelfs een verbinding te zien tussen die aansluiting en de rand van de behuizing.

Als er een aansluiting is die naar aarde een weerstand van minder dan $2 \text{ k}\Omega$ meet, ongeacht hoe je de ohmmeter aansluit, dan is dat het pootje aan de source van figuur 2a. De andere aansluiting zal naar aarde een willekeurige waarde aangeven, die verandert als de draden naar de ohmmeter verwisseld worden. Dat is dan de drain van de FET. We hebben hier te doen met de schakeling van figuur 2a.

Als tussen beide aansluitingen en aarde een willekeurige weerstand gemeten wordt die anders is bij het verwisselen van de draden naar de ohmmeter en de weerstand tussen de aansluitingen die

niet aan aarde liggen is in de buurt van $2 \text{ k}\Omega$, ongeacht hoe je de ohmmeter aansluit, dan hebben we te maken met de schakeling van figuur 2c. Welke van de twee de drain is en welke de aansluiting naar de voedingspanning, is dan nog de vraag. Gewoon proberen! Bij een voedingspanning van drie volt gaat er niets kapot.

De tweepuntsaansluiting is veel eenvoudiger. Daar zit de schakeling van figuur 2b in. De aardaansluiting is eenvoudig te vinden zoals boven aangegeven.

Grote geluidsdruk en electrets

Een van dichtbij besproken microfoon krijgt grote geluidsdrukken te verwerken. Er is dus alle kans dat de FET in de microfoon het signaal zal vervormen. Dat moeten we nagaan. We sluiten de microfoon (in de versterkerconfiguratie) aan op een oscilloscoop. De voedingspanning maken we minstens vijf volt. We kunnen dan in de microfoon Aaaaaa... roepen (van dichtbij) en kijken of er vervorming optreedt. Dat is een erg grove manier en er komen waarschijnlijk gezinsleden informeren of alles goed met je gaat als je zo een kwartiertje bezig bent.

Beter is het om een kleine communicatieluidspreker te gebruiken die we met een toongenerator sturen. Zoek de resonantiefrequentie van de luidspreker op. Die zal in de buurt van 250 Hz liggen. Bij deze frequentie geeft de luidspreker de minste vervorming (even goed luisteren!) en is de akoestische golflengte groot genoeg om niet allerlei rare effecten te krijgen als de afstand tussen de luidspreker en de microfoon een beetje verandert. Houd de microfoon zo dicht mogelijk bij de luidspreker en draai het niveau op tot de sinus op de oscilloscoop duidelijk gaat vervormen. Als de vervorming er uitziet als in figuur 3a, met een scherpe afplattung en de sinus op de scope is duidelijk groter dan je met dichtbij bespreken kunt halen dan is alles in orde. Vervolgens wordt het wanneer de vervorming er uit ziet als in figuur 3b. Als we bovendien met dichtbij bespreken dat niveau vlot halen dan moeten we daar iets aan doen!

Wat te doen bij vervorming?

We gaan eens kijken of we de verbinding tussen huis en de aardaansluiting

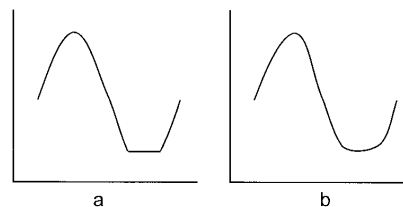


Fig. 3. Twee soorten vervorming van een electret-microfoon bij oversturing.

a. Scherp afgetekende vervorming, die bij normaal gebruik geen problemen hoeft te geven.

b. Minder scherpe, maar veel moeilijker te verhelpen vervorming.

Nadere uitleg in de tekst.



kunnen vinden. Als we die van buitenaf niet 'door kunnen krassen', is het typisch een geval van jammer.

Als we daar wel bij kunnen, gaan we eerst de stroom door de FET eens meten bij een voedingsspanning van vijf volt. Als de drainstroom kleiner is dan zo'n 150 μA dan wordt de zaak vrij hopeloos. Bij zo'n 300 μA of meer zit het er dik in dat we de microfoon met succes kunnen modificeren. Kijk eerst nog even tot hoe ver je de voedingsspanning kunt laten dalen voordat de stroom door de FET scherp afneemt. Gebeurt dat pas bij spanningen kleiner dan 0,5 volt dan is de kans op succes nog groter.

Om de vervorming de baas te worden gaan we een source-weerstand aanbrengen of de bestaande source-weerstand vergroten. In figuur 2 heb ik steeds een source-weerstand R_s getekend. Die hoeft er echter niet te zitten of die kan te klein zijn.

Dat vergroten van de source-weerstand kan alleen als we bij de verbinding tussen de aardaansluiting en het huis kunnen. Die moeten we 'doorkrassen'. De oorspronkelijke aardaansluiting is nu de source-aansluiting geworden (eventueel via een te kleine source-weerstand). Nu kunnen we een source-weerstand aanbrengen van 500 Ω tot 2 $\text{k}\Omega$ over de doorgekraste baan. Hoe groot die moet zijn, bepalen we experimenteel. Gewoon naar de vervorming kijken. Het zal blijken dat bij de beste instelling de stroom door de FET tussen de 150 en de 300 μA uit zal komen. Hoe de uitwendige source-weerstand aan het (meestal aluminium) huisje bevestigd wordt, laat ik aan de fantasie van de lezer over.

De duurdere electret-microfoons

Bij de duurdere electrets is de FET niet samengebouwd in 'het pilletje'. De FET-schakeling is met wat moeite bereikbaar. Hier kunnen we naar hartelust experimenteren. Vaak vinden we bij deze microfoons ook een discrete gateweerstand van zo'n 50 $\text{M}\Omega$. Die moet tussen gate en aarde zitten.

Vaak is hij aangesloten tussen gate en source. Dat is verkeerd! Veranderen dus. Wees zuinig op die hoogohmige weerstanden; er is nauwelijks aan te komen. Ik houd mij aanbevolen bij degene die mij die kan leveren in een kleine afmeting!

Electrets en HiFi

De kwaliteit van electret microfoons is in principe zo goed dat ze uitstekend geschikt zijn om muziek op te nemen. Vergis je dan niet in de geluidsdruk die in de pieken kan optreden! Voor kleine ensembles die klassieke muziek spelen, is die net zo groot als bij dichtbij bespreken. Voor zaalversterking, een microfoon vlak voor bv. een trompet of een jazz/popzanger die direct in de microfoon zingt, zijn electrets absoluut ongeschikt. Neem daar maar een dynamische microfoon voor.

De kwaliteit van de electret microfoon met een ingebouwde FET verbetert onwaarschijnlijk veel door de drain zeer

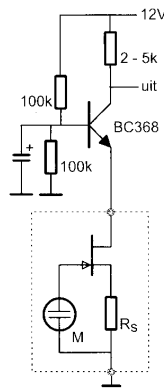


Fig. 4. De FET in het microfoonkapsel is hier met een zeer lage weerstand afgesloten. Dat geeft een ongehoorlijk veel betere kwaliteit, zeker voor HiFi-toepassingen.

laagohmig af te sluiten. Ik heb daar al eens eerder over geschreven in het artikel: 'FET in geaarde source schakeling met hoog IP3' in *Electron* van augustus 1999, blz 332.

Daar duid ik op de Ten Pierick-versterker met virtuele aarde. Op die schakeling ligt een embargo. Er is echter de mogelijkheid die ik aangeef in de hoogfrequent-schakeling: een transistor in geaarde basisschakeling bovenop de FET in de microfoon (zie figuur 4). De emitter van de gebruikte transistor laat aan de FET een weerstand zien die kleiner is dan een ohm. Het signaal wordt van de collector afgenomen.

De totale versterking blijft hetzelfde.

De voedingsspanning moet in dit geval toch minstens 12 volt zijn. We zorgen er met de deelweerstand aan de basis voor dat de emitterspanning en dus de drainspanning, minstens 5 volt is. Verder gelden dezelfde maatregelen om de vervorming te bestrijden als hierboven beschreven.

Deze schakeling geeft ook voor spraak een enorme verbetering, zelfs voor een SSB-zender!

De back-electret-microfoon

Wat is een 'back-electret'? Zoals aan het begin verteld, wordt de lading die nodig is om de microfoon te laten werken 'in de microfoon gebakken'. Dat kan op twee manieren: de lading in het membraan aanbrengen of de lading in de vaste elektrode aanbrengen (wat in de dertiger jaren al gedaan werd). In dat geval spreken we van een back-electret-microfoon.

De 'gewone' electret is goedkoper. Het 30 μm dikke membraan is van teflon (zeer kwetsbaar) met een opgedampt laagje aluminium. In dat membraan is de lading geschoten. Die loopt niet weg. Bij een back-electret zit de lading in een laagje op de vaste (er achterliggende, vandaar het woord 'back') elektrode. Het membraan kan nu veel dunner zijn, soms zelfs maar 4 μm ! Zo'n membraan volgt de luchtrillingen nog beter en zal in het hoog meer transparant klinken. De vorm van de vaste elektrode spreekt daar ook een belangrijke rol, dus niet elke back-electret is per definitie beter dan een 'gewone' electret-microfoon.

Richtingsgevoelige versus rondomgevoelige microfoons

Tot besluit nog een paar algemene opmerkingen over het gebruik van microfoons. Er zijn allerlei (condensator)microfoons met meer dan een membraan die naar keuze verschillende richtingskarakteristieken hebben. Daartoe zijn schakelaars op de microfoon aangebracht. Daar zullen we het hier niet over hebben. We beperken ons tot een microfoon met één element.

De twee meest gangbare richtingskarakteristieken zijn geschetst in figuur 5. Figuur 5a geeft een rondomgevoelige microfoon weer, figuur 5b is een cardioïde-karakteristiek. Deze niervorm geeft weer dat de microfoon naar achteren toe ongeveer 20 dB minder gevoelig is dan naar voren. Deze microfoon is geschikt voor zaalversterking, ook 'public address' genoemd. Bij zaalversterking mag het geluid dat van de achterwand van de zaal terugkomt geen rondzingen van de installatie veroorzaken. Er zijn echter drie nadelen aan deze microfoon:

- hij is handgevoelig (ook tikken tegen een statief met zo'n microfoon geeft een hoop kabaal als er geen verende ophanging is gebruikt);
- de lage tonen worden te sterk weergegeven wanneer hij binnen een halve meter wordt besproken ('boost' in het laag) en hij is plopgevoelig: medeklinkers, vooral de 'p', oversturen de microfoon.

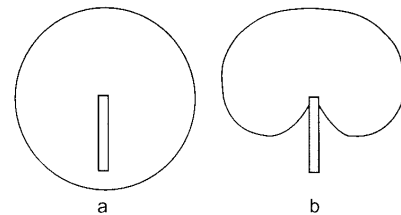


Fig. 5. De twee meest voorkomende richtingskarakteristieken van microfoons.

a. De karakteristiek van een rondomgevoelige microfoon.

b. De cardioïde- of nierkarakteristiek. Een microfoon met deze karakteristiek is naar achteren wel 20 dB minder gevoelig dan naar voren.

De rondomgevoelige microfoon heeft die nadelen niet, doch die is weer erg gevoelig voor hele lage frequenties tot in het subsonic gebied. (Doe maar eens voorzichtig een deur in de kamer open of dicht).

Neem voor het gebruik met een zender altijd een rondomgevoelige microfoon. Hij is niet handgevoelig, geeft geen extra lage tonen bij het dichtbij bespreken en de zeer lage frequenties zijn te bedwingen met een hoogdoorlaafilter direct achter de microfoon. De plopgevoeligheid, die electrets meer hebben dan dynamische microfoons, moet bedwongen worden met akoestische filters voor de microfoon en het bespreken van de zij- of achterkant.

Succes en 73,
Herbert. PA0SU