

Analoge elektronica ontwerpen

case-study #1 – deel 1: MEMS-microfoon... test-een-twee-drie

Ton Giesberts (Elektor Labs)

In deze nieuwe serie artikelen verkennen experts op dit gebied aspecten van het ontwerp van analoge elektronica ten behoeve van een publiek dat in toenemende mate 'digital only' wordt, en zal duidelijk worden dat 'analoog' geen zwarte magie is. We gaan van start met een vreemd onderdeel: de MEMS-microfoon. Zeer klein en zelden toegepast in doe-het-zelfprojecten, is het toch een essentieel onderdeel van het succesvolle Vleermuisdetector^{PLUS}-project dat in 2016 in het september/oktober-nummer van Elektor is gepubliceerd. Voor zo'n MEMS-microfoon geldt niet 'monteren en niet meer aan denken'; het gebruik heeft gevolgen voor zowel het toepassingsbereik als de versterker die erop volgt. Hier zijn enkele details, met de complimenten onze analoge afdeling.

MEMS is een acroniem van *Micro ElectroMechanical Systems* – wat inhoudt dat een mechanisch onderdeel dicht bij of op een halfgeleiderchip is gemonteerd met behulp van extra substraten en hoogwaardige microbewerking. MEMS zijn SMD's en kunnen in het productieproces worden gemonteerd met pick&place-machines, samen met andere onderdelen. Er zijn talloze toepassingen denkbaar. MEMS-componenten worden gebruikt in bijna alle marktsectoren zoals consumentenelektronica, medisch, communicatie, automotive enzovoort. Toepassingen zijn onder andere beeldstabilisatie voor camera's, harde schijf-beveiliging, pacemakers, insulinepompen, medische druktransducers, mobiele telefoons, airbags en nog veel meer. Het is onmogelijk om zich de wereld van vandaag voor te stellen zonder MEMS.

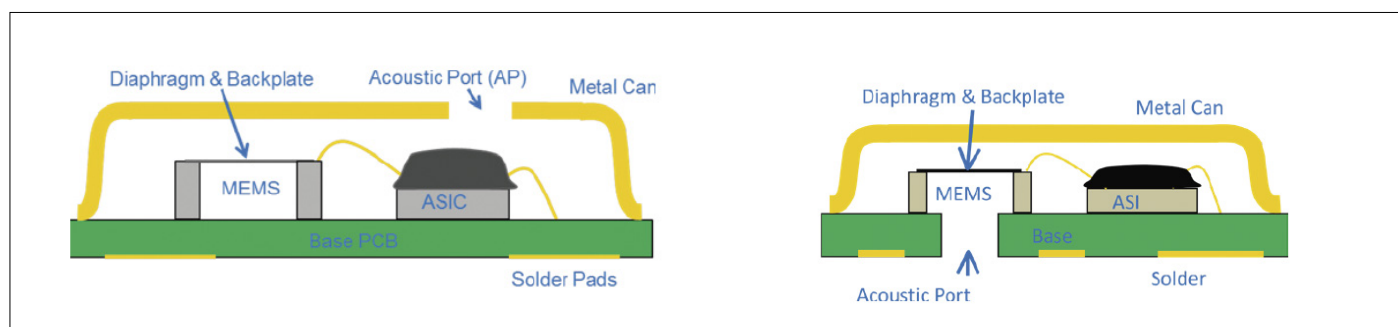
De MEMS-microfoon

Misschien wel het belangrijkste onderdeel van het Bat Detector^{PLUS}-project [1] is de microfoon die wordt gebruikt om de hoofdzakelijk ultrasone geluiden van vleermuizen op te nemen.

Hoewel sommige vleermuissoorten 'werken' onder 20 kHz maar boven 10 kHz, produceren de meeste soorten ultrasoon geluid. Net als bij een electret-microfoon veroorzaakt een membraan, die de feitelijke geluidssensor is, minimale capaciteitsverschillen die kunnen worden vertaald in een spanningsverandering. De meeste electret-microfoons bevatten een JFET die als buffer fungeert. In een MEMS-microfoon daarentegen is de membraan direct naast een halfgeleiderchip (ASIC) gemonteerd. Dit maakt het meteen mogelijk om de analoge spanning te vertalen in een digitaal signaal – meestal 'PDM'.

Zoals te zien in **figuur 1** zijn er verschillende soorten MEMS-microfoons, bijvoorbeeld met de akoestische poort aan de bovenkant – een eenvoudig gat in de metalen behuizing, of met de akoestische poort tussen de soldeervlakjes aan de onderzijde – zodat een gat in de print nodig is. MEMS-microfoons zijn over het algemeen vrij ongevoelig voor ruis op de voedingsspanning, schokken, trillingen en (condens)vocht.

Natuurlijk heeft het gebruik van een MEMS-microfoon op een print ook nadelen. Om schade aan de microfoon te voorko-



Figuur 1. Doorsnede door MEMS-microfoons met de akoestische poort aan de bovenzijde (links) en aan de onderzijde (rechts). Bron: Application Note 'sisonic-design-guide.pdf' van Knowles [2].

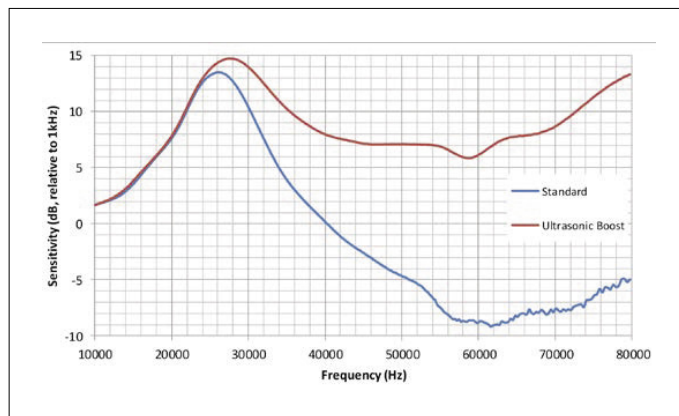
men mag na het reflowproces de print niet worden gewassen of geborsteld (met of zonder oplosmiddel). Houd u altijd aan de datasheet en richtlijnen van de fabrikant.

Omdat de membraan in de MEMS-microfoon erg klein is, is de bandbreedte groot. De gevoeligheid zal boven zo'n 10 kHz een paar dB groter zijn. MEMS-microfoons zijn niet alleen geschikt voor spraak, maar ook voor inbraakalarmen, bewegingsdetectie enzovoort. De fabrikant van het model dat in de Vleermuis-detector^{PLUS} is gebruikt, biedt ook microfoonseries aan die zijn gespecificeerd tot maar liefst 80 kHz. Wanneer niet uitdrukkelijk gespecificeerd, mag worden aangenomen dat de gevoeligheid in het ultrasone bereik en de bandbreedte deze types toch bruikbaar maken voor ons doel. Niettemin: in **figuur 1** zien we dat in het linker type de akoestische poort zich niet boven de membraan bevindt; dat zal de frequentiekenarakteristiek beïnvloeden. Dit suggereert dat het andere type rechts in de figuur beter geschikt is. De frequentiekenarakteristiek van de SPH0641LU4H-1 lijkt sterk op de bovenste curve in **figuur 2** en plaatst dat model in de 'tweede' klasse.

De microfoonprint

Om de Vleermuisdetector^{PLUS} eenvoudig thuis te kunnen nabouwen (tenminste waar het de MEMS-microfoon betreft) is een klein printje ontworpen voor de 'schakeling' van **figuur 3** en compleet met gemonteerde MEMS-microfoon in onze shop te koop aangeboden [3]. Deze is universeel bruikbaar. Wanneer er veel ruis of storing op de voedingsspanning zit of de print via een lange (3-draads) kabel wordt aangesloten, kan een ontkoppelcondensator aan de onderkant van de print helpen – het liefst een 1206 SMD-type van 100 nF. '1206' is vrij groot en daarom relatief gemakkelijk met de hand te solderen. In de Vleermuisdetector^{PLUS} wordt de voedingsspanning apart gestabiliseerd met een 3V-zenardiode en vanwege de korte afstand (print gemonteerd in een 3,5mm audio-klinksteker!) is verdere ont koppeling niet nodig. Als een ont koppelcondensator is gemonteerd, is een type met C0G/NP0-diëlektricum de beste keuze. Dit materiaal lijdt het minst aan microfonie (het effect dat beweging als gevolg van trillingen of schokken in een elektrische spanning wordt omgezet). Dit is een probleem bij keramische condensatoren, en dat zijn ook de slechtste condensatoren voor gebruik als koppel- of filtercondensatoren in audioversterkers omdat hun capaciteit afhankelijk is van de aangelegde spanning. Het C0G/NP0-diëlektricum heeft hier de minste problemen mee.

Net als bij BGA-behuizingen voor SMD-IC's zitten de aansluitingen van de MEMS-microfoon aan de onderkant zodat een reflow-oven moet worden gebruikt om hem op de print te solderen. De MEMS-microfoon die voor het project is gekozen, heeft de akoestische poort aan de bovenkant. Voor het andere type (met de geluidsoening aan de onderzijde) is een gat in de print onder de microfoon nodig. Dit heeft invloed op de frequentierespons vanwege de grootte van het gat en de dikte van de print. Maar niet alleen de print heeft invloed. Ook bij het door ons gekozen type is de behuizing van de print een factor om in overweging te nemen. Door reflecties beïnvloeden ook oppervlakken in de onmiddellijke nabijheid van de micro-



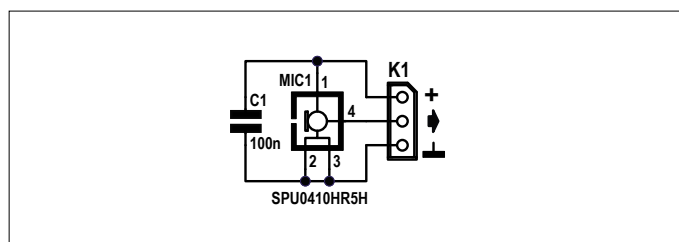
Figuur 2. Frequentiekenarakteristiek van MEMS-microfoons. SiSonic-microfoons met opening aan de onderzijde en MEMS-on-Lid met opening aan de bovenzijde van Knowles zijn natuurlijk perfect in het ultrasone bereik van 20...80 kHz. Geselecteerde typen bieden extra versterking in dat bereik. Bron: Application Note 'sisonic-design-guide.pdf' van Knowles [2].

foon de uiteindelijke frequentiekenarakteristiek. Om de opening in de behuizing te koppelen aan de akoestische poort van de microfoon, wordt een pakking gebruikt die goed moet passen om lekkage (lees: ongewenste luchtspleten) te voorkomen.

Aanpassingen aan de analoge MEMS-microfoonversterker

Voordat u een microfoonversterker ontwerpt, is het belangrijk om te weten wat de amplitude van het ingangssignaal is, evenals het signaalniveau dat aan de volgende trap wordt doorgegeven, ongeacht of een MEMS-, electret- of zelfs een dynamische microfoon wordt toegepast. De feitelijke microfoon maakt in principe niet veel uit, behalve voor een correcte aanpassing en de juiste voedingsspanning. Vaak wordt een ingangsimpedantie gespecificeerd door de fabrikant (en zeker de pullup die nodig is voor een electret). Als dit niet het geval is, is er altijd een 'typische applicatie' of wordt de drainstroom van de interne JFET gespecificeerd, zodat zelfs een hogere voedingsspanning mogelijk is voor de electret-microfoon als de weerstand navenant wordt aangepast. Wees echter voorzichtig met de maximale spanning voor de JFET.

De uitgangsimpedantie van een electret-microfoon is hoger dan die van een MEMS vanwege de pullup, zodat er ook meer ruis kan zijn. Met een electret-microfoon is het de JFET-instel-



Figuur 3. Schakeling van het microfoonprintje van de Vleermuisdetector^{PLUS}.

Weblinks

- [1] Oorspronkelijke artikelen over de leermuisdetector^{PLUS}: www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201609/39828/
- [2] Knowles' Sisonic Design Guide: www.knowles.com/subdepartment/application-notes/dpt-microphones/subdpt-sisonic-surface-mount-mems
- [3] Elektor MEMS-microfoonprint: www.elektor.nl/bat-detector-with-amplitude-recovery-mems

Surf & Leer

Literatuur voor geïnteresseerden (links worden in het artikel niet genoemd)

1. Analog Devices: www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/mems-microphones-future-for-hearing-aids.html
2. Digikey: www.digikey.de/en/articles/techzone/2019/feb/mems-vs-ecm-comparing-microphone-technologies
3. MEMS-inleiding: www.allaboutcircuits.com/technical-articles/improving-on-the-electret-an-introduction-to-mems-microphones/
4. Vleermuisdetectors: www.skillbank.co.uk/bat_detectors/afd1.html
5. TDK InvenSense ICs: www.mouser.co.uk/new/tdk/tdk-invensense-ics-40740/ (lees ook 'additional resources')

weerstand van de voeding naar de uitgang die de uitgangsimpedantie bepaalt. Een typische waarde is 2,2 k Ω . Om een overmatige spanningsdeling aan de ingang te voorkomen, moet de ingangswaarde 5 tot 10 keer hoger zijn. Met een niet-inverterende versterker heeft deze weerstand (die veel hoger kan zijn bij de plus-ingang) veel minder invloed op de ruis. De weerstanden in het terugkoppelnetwerk hebben wel veel invloed, maar kunnen aanzienlijk kleiner zijn omdat ze de microfoon niet belasten. Alleen wanneer de kantelfrequentie aan de ingang relatief hoog is, wordt een hogere ingangsimpedantie rond die frequentie gecreëerd. Anders wordt die impedantie alleen bepaald door de uitgangswaarde van de microfoon. Als we een inverterende versterker gebruiken, betekent een te hoge weerstand extra ingangswaarde. Dan is de keuze voor de ingangswaarde een compromis, omdat deze deel uitmaakt van de terugkoppeling. Neem bijvoorbeeld R4 in de Vleermuisdetector-versterker met een waarde van 7,5 k Ω . De ruis van een weerstand neemt toe met de vierkantswortel van de waarde. Dus 3 dB meer ruis bij een tweemaal zo grote (6 dB) weerstandswaarde.

Als een microfoon bedoeld is voor muziek of spraak, ligt het uitgangssignaal binnen bepaalde grenzen. Maar als het signaal ultrasoon is, als de karakteristiek van de microfoon niet is gespecificeerd en als de afstand tot de geluidsbron varieert (zoals bij een rondvliegende vleermuis) wordt het een beetje

moeilijker. Bij een gegeven afstand worden hogere frequenties in lucht sterker verzwakt dan lagere frequenties, en het effect van verschillende afstanden is zelfs nog groter bij ultrageluid. Zoals uit de grafiek van figuur 2 bleek, zijn de karakteristieken allesbehalve recht, en dat geldt vooral voor de 'standaard' karakteristiek. Eerst moet u bepalen welke versterking u wenst. In het geval van de vleermuisdetector hangt dat af van wat de comparator (IC3B) voor een goede werking nodig heeft, en van het signaalniveau dat nodig is voor gelijkrichter IC4A om de modulatie te herstellen. Waarschijnlijk moet die versterking ook empirisch worden bepaald of worden aangepast aan de gebruikte microfoon. Dit maakt het moeilijk als verschillende microfoons worden gebruikt en de versterker een vaste instelling heeft. Verder is het noodzakelijk om het frequentiebereik van een versterker te beperken tot dat waarvoor hij bedoeld is. Voor vleermuizen wordt in het algemeen een bandbreedte van 10 kHz tot 120 kHz genoemd, een frequentiebereik waar de microfoonversterker aan moet worden aangepast.

Volgende keer gaan we verder met een bespreking van de originele microfoon-voorversterker die wordt gebruikt in de Vleermuisdetector^{PLUS} en zoeken we naar oplossingen om deze te optimaliseren voor gebruik met de voorgestelde MEMS-microfoon. ◀

(191143-04)

Meld u aan!



Als u een door de wol geverfde ontwerper van analoge elektronica bent en gezegend met een vlotte pen, meld u dan (met uw CV) aan bij Jan Buiting, de redacteur van deze serie:

jan.buiting@elektor.com