

Ontwerp en productie van snel assembleerbare resonatoren voor modulaire lokaal resonante metamaterialen

Knysh Artjom

master IW Elektromechanica

Inleiding

Situering

Lokaal resonante metamaterialen (LRM) hebben reeds hun potentieel bewezen voor effectieve geluids- en trillingsonderdrukking. Deze masterproef richt zich op de ontwikkeling van modulaire LRM's om snelle in-situ testen uit te voeren. Met als doel de integratie van LRM's in de industrie te vereenvoudigen en te versnellen.

Probleemstelling

De huidige methode van resonatorbevestiging is voornamelijk door middel van lijmtoepassing. Echter, deze methode is tijdrovend en niet schaalbaar voor massaproductie. Resonatoren worden gebruikt om trillingen en geluid te verminderen in diverse structuren. Hierdoor is er nood aan efficiëntere bevestigingsmethoden voor metalen en kunststof basisstructuren die de productiesnelheid en schaalbaarheid verbeteren.

Doelstellingen

- Diverse bevestigingsmechanismen ontwikkelen voor snelle en effectieve montage van resonatoren op metalen en kunststof structuren.
- De invloed van bevestigingsmechanismen op de dynamische eigenschappen van de modulaire resonatoren analyseren.
- Een LRM-plaat ontwikkelen om de functionaliteit en effectiviteit van de modulaire resonatoren te beoordelen, inclusief het analyseren van het stopband-effect.

Methode

1. Literatuurstudie:

Onderzoek naar LRM's en mogelijke bevestigingsmethoden, alsook mogelijke productiemethoden zoals 3D-printen en spuitgieten.

2. Modelleren en prototyping:

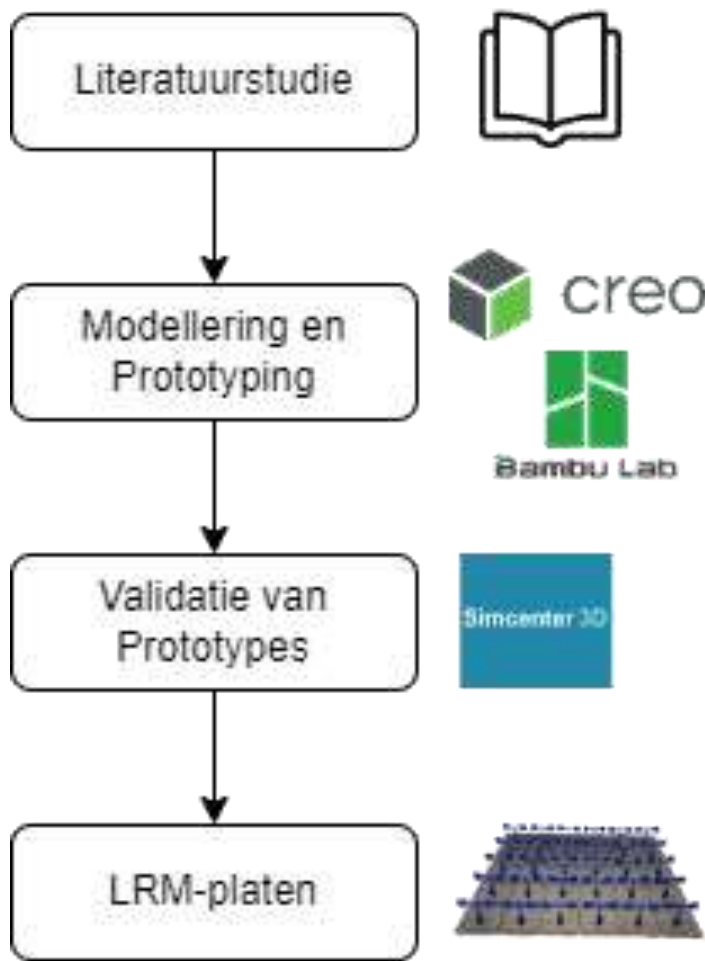
Verbindingsconcepten zijn in CREO gemodelleerd en de resonatoren worden met geïntegreerde verbindingen 3D-geprint. De resonantiefrequenties (ω_n) van de resonatordesigns zijn bepaald door simulaties in Siemens NX.

3. Validatie van prototypes:

Experimentele validatie van de effectiviteit van de modulaire resonator, inclusief tests op resonantie en lineair gedrag van het design.

4. LRM-platen:

Testen op daadwerkelijke LRM-platen om de functionaliteit en het stopbandeffect te analyseren en de resonatoren te valideren binnen een compleet systeem.



Ontwikkeling modulaire resonatoren

Resonatorgedeelte

Laagfrequent Design (fig. 1)
gesimuleerde ω_n op 154 Hz.

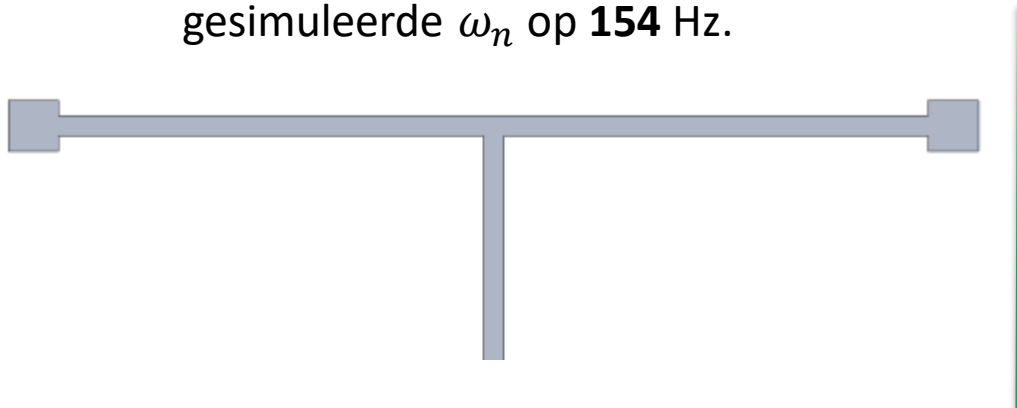


Fig. 1: Laagfrequente resonator (96 mm x 26 mm)

Hoogfrequent Design (fig. 2)
Gesimuleerde ω_n op 558 Hz.

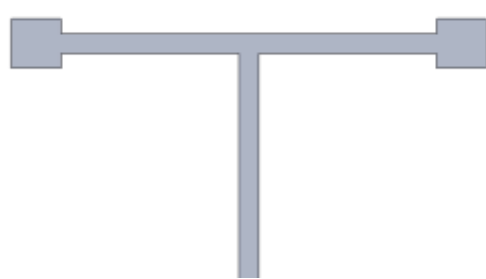
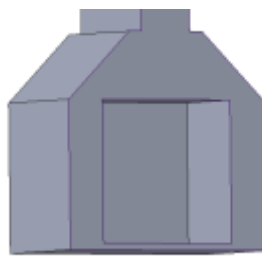


Fig. 2: Hoogfrequente resonator (48 mm x 26mm)

Resonatorverbinding



Onderlaagdikte
0,2 mm
0,5 mm

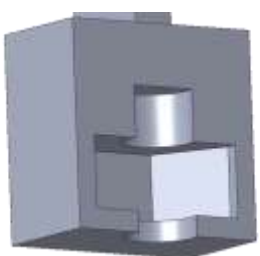


Fig. 3: a) Schroefverbinding, b) Magnetische verbinding c) Snap-fit verbinding

Op basis van literatuurstudie werden drie soorten verbindingen geselecteerd (fig. 3) en iteratief geoptimaliseerd met 3D-printen. Deze verbindingen werden aan het resonerende deel toegevoegd om drie concepten voor een modulaire resonator te creëren. Voor de magneetverbinding werd nog een onderscheid gemaakt voor de laagdikte onderaan om een betere magnetische aantrekking te bekomen op metalen platen.

Validatie verbindingen

Om het dynamisch gedrag van de modulaire resonatoren te onderzoeken, plaatst men deze op een trillingsbron met een impedantiekop. Vervolgens meet men de versnelling van de uiteinden van de resonator op met een laservibrometer (fig. 4). Uit de verkregen data stelt men een **Frequency Response Function (FRF)** op waarmee vervolgens de ligging van de resonantiefrequentie als de lineariteit wordt nagegaan (fig. 5, 6).



Fig. 4: Proefopstelling

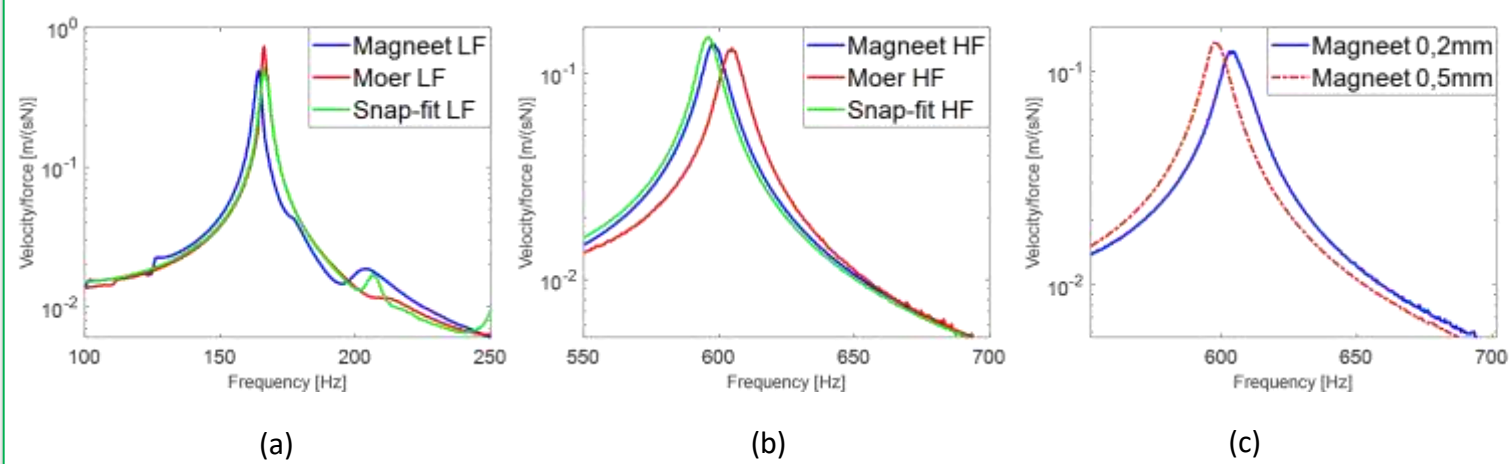


Fig. 5: FRF: a) Laagfrequente designs, b) Hoogfrequente designs, c) Magnetische sterkte

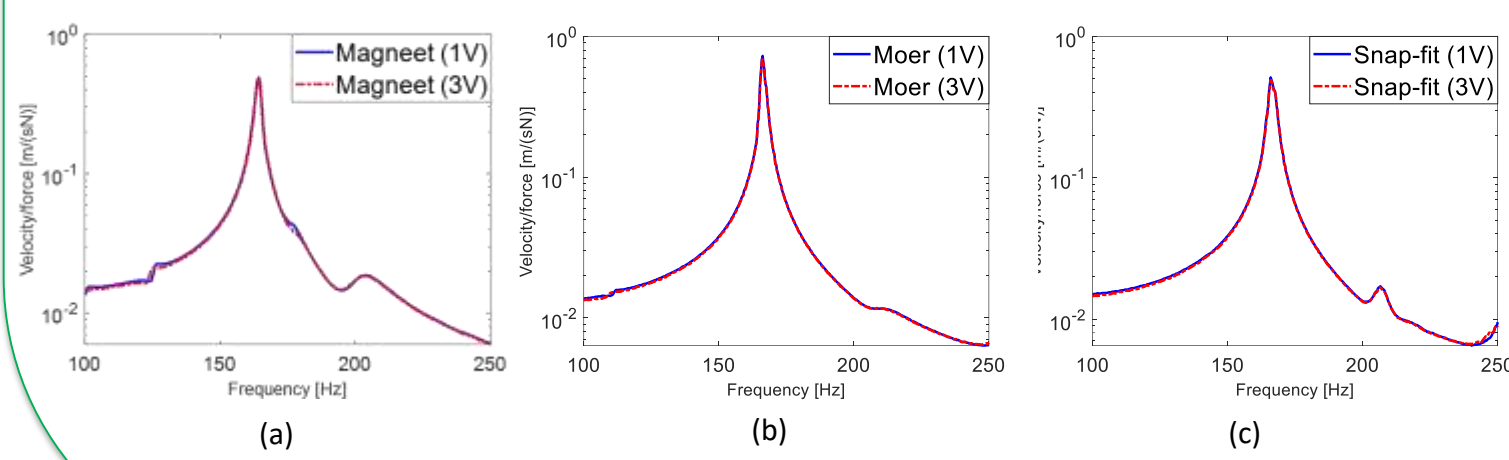


Fig. 6: FRF per concept op verschillende sterkte: a) Magneet, b) Moer, c) Snap-fit

Resonantiefrequentie (ω_n):

- Soort verbinding $\rightarrow$ invloed op de ligging van de ω_n
- Meer spreiding van ω_n bij hoogfrequente design
- Sterkere magnetische verbindingen resulteert in verhoging van de ω_n

Lineariteit:

- Alle verbindingen tonen een lineair gedrag dit voor zowel laagfrequent als hoogfrequente resonatoren.

Ontwikkeling LRM-platen

Om een LRM-plaat te realiseren, worden resonatoren toegevoegd aan een hoststructuur. De gesimuleerde resonantiewaarde van deze resonatoren (fig. 8a, 9a) ligt op 293 Hz (fig. 7). Er worden twee LRM-platen gerealiseerd:

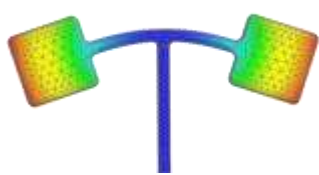


Fig. 7: Simulatie resultaat

Kunststoffen LRM-plaat

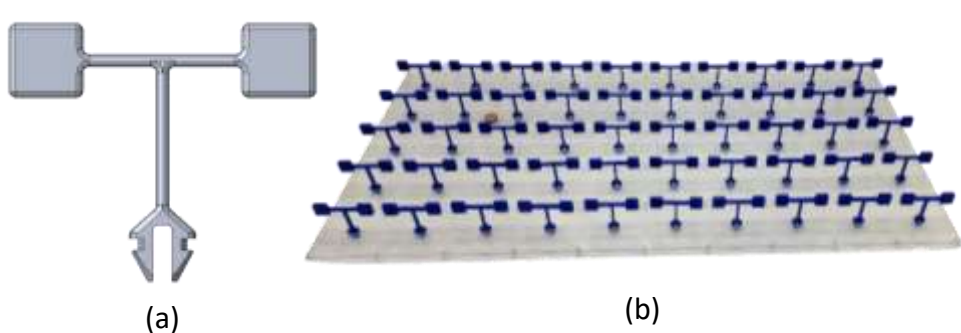


Fig. 8: a) Snap-fit resonator (50 mm x 32mm), b) PMMA-plaat met resonatoren

Stalen LRM-plaat

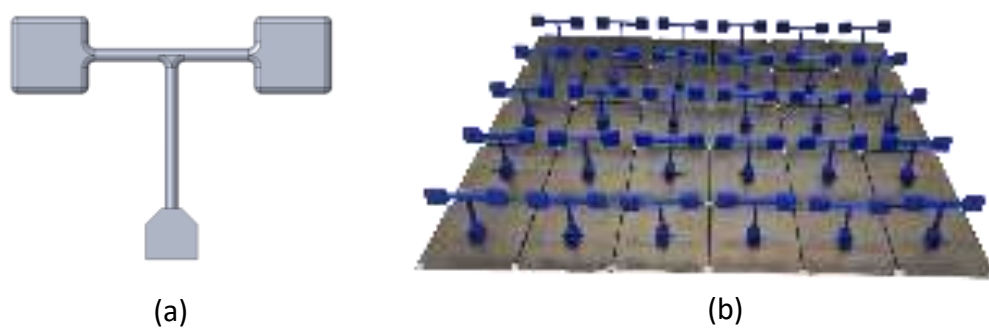


Fig. 9: a) Magneet resonator (50 mm x 38 mm), b) Staal plaat met resonatoren

Voor trillings- en geluidsonderdrukking worden resonatoren op subgolflengteschaal geplaatst. De afstand van de unit cell wordt bepaald door de Bragg-frequentie, die groter of gelijk aan de resonantiefrequentie van de resonator moet zijn.

Metamateriaalvalidatie

Kunststoffen LRM-plaat

- FRF-respons van de PMMA-plaat (fig. 10) toont een stopband van ± 112 Hz.
- Aandeel modale massa 13,85%

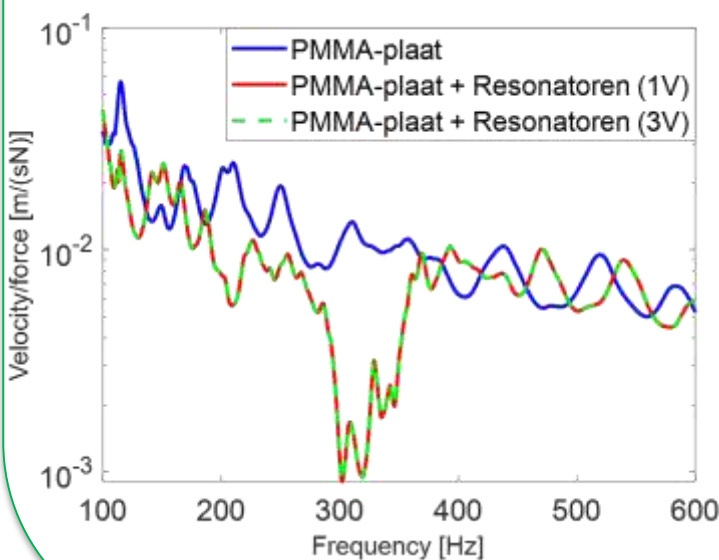


Fig. 10: FRF's PMMA plaat

Stalen LRM-plaat

- FRF-respons van de staal plaat (fig. 11) toont een stopband van ± 57 Hz.
- Aandeel modale massa 4,61%

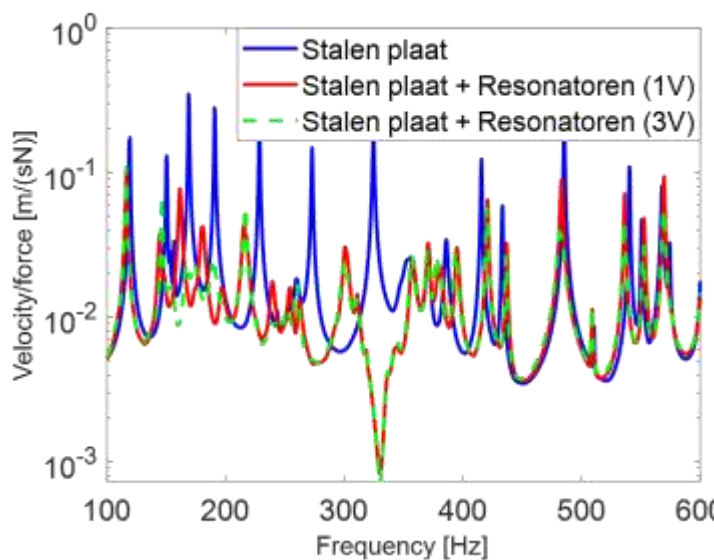


Fig. 11: FRF's staal plaat

Conclusies

- De PMMA-plaat vertoont een vlakker trillingsrespons (fig. 10), wat wijst op dempende eigenschappen.
- Stalen plaat vertoont duidelijke scherpe pieken $\rightarrow$ weinig tot geen dempend effect (fig. 11).
- Verhogen van het aandeel modale massa resulteert in een bredere stopband.
- Beide LRM-platen vertonen lineair gedrag.

Promotoren / Copromotoren / Begeleiders

Prof. Dr. Ir. Elke Deckers
Ing. Kristof Steijvers