

MASTER

Vertraging en demping van ultrasone trillingen in mangaannikkel en aluminium

Knops, L.H.M.

Award date:
1965

[Link to publication](#)

Disclaimer

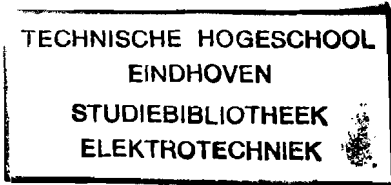
This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

4055 bse



Technische Hogeschool Eindhoven.

Afdeling Elektrotechniek.

Groep Materiaalkunde.

Hoogleraar: Prof. Dr. C. Zwikker.

Vertraging en demping van ultrasone trillingen
in mangaannikkel en aluminium.

Afstudeeronderzoek verricht door L. H. M. Knops
in het jaar 1964.

Inhoud:

pagina:

| | | |
|------------|---|----|
| <u>I</u> | <u>Inleiding.</u> | |
| 1.1 | <u>Algemeen.</u> | 1 |
| 1.2 | <u>Geschiedenis en toepassingen.</u> | 3 |
| <u>II</u> | <u>Magnetostrictieve verdragingslijnen.</u> | |
| 2.1 | <u>Magnetostrictie.</u> | 4 |
| 2.2 | <u>Magnetostrictieve transducers.</u> | |
| 2.2.1 | Lineair magnetostrictie effect. | 6 |
| 2.2.2 | Lineaire transducervergelijkingen. | 7 |
| 2.2.3 | Elektromechanische koppeling. | 8 |
| 2.3 | <u>Draadverdragingslijnen.</u> | |
| 2.3.1 | Algemene beschrijving. | 9 |
| 2.3.2 | Golfvergelijking. | 10 |
| 2.3.3 | Pulstransmissie. | 11 |
| 2.4 | <u>Metingen aan draadverdragingslijnen van MnNi.</u> | |
| 2.4.1 | Beschrijving van de meetopstelling. | 14 |
| 2.4.2 | Geluidssnelheid en dempingskonstante. | 15 |
| 2.4.3 | Absorptie van reflecties. | 17 |
| 2.4.4 | Ringvormige draadverdragingslijn. | 19 |
| <u>III</u> | <u>Verdragingslijnen van Aluminium met elektrostrictieve BaTiO₃-transducers.</u> | |
| 3.1 | <u>Inleiding en beschrijving meetopstelling.</u> | 21 |
| 3.2 | <u>Geluidssnelheid en dempingskonstante.</u> | 22 |
| <u>IV</u> | <u>Slotopmerkingen.</u> | 24 |

Lijst van gebruikte symbolen.

| | | |
|-------------|-------|--|
| B | ----- | magnetische fluxdichtheid. |
| c | ----- | geluidssnelheid. |
| c_l | ----- | voortplantingssnelheid longitudinale trillingen. |
| e | ----- | rek. |
| h | ----- | magnetostrictie konstante. |
| H | ----- | magnetische veldsterkte. |
| I | ----- | stroomsterkte. |
| k | ----- | elektromagnetische koppelfactor. |
| M | ----- | magnetische polarisatie. |
| M_s | ----- | verzadigingsmagnetisatie. |
| Q | ----- | warmtehoeveelheid. |
| U | ----- | energie. |
| V | ----- | potentiaalverschil. |
| Y | ----- | elasticiteitsmodulus of Young's modulus. |
| α | ----- | dempingskonstante. |
| λ | ----- | relatieve lengteverandering. |
| λ_s | ----- | relatieve lengteverandering bij magnetische verzadiging. |
| μ | ----- | magnetische permeabiliteit. |
| ξ | ----- | verplaatsing. |
| ρ | ----- | dichtheid. |
| σ | ----- | mechanische rekspanning. |
| τ | ----- | elektrische tijdconstante. |
| Φ | ----- | magnetische flux. |

I. Inleiding.

1.1 Algemeen.

Bij de ontwikkeling van de telefonie ontstond de behoefte om een elektrisch signaal gedurende enige tijd te vertragen. Voor de toen vereiste relatief korte vertragingstijd van enkele microseconden werden elektrische ketens gebruikt (bijv. coaxiale kabel).

In de moderne elektrotechniek is het vaak noodzakelijk om een elektrisch signaal gedurende enkele milliseconden te vertragen. Om aan deze eis te voldoen zijn de ultrasone vertraginglijnen ontwikkeld, waarbij gebruik gemaakt wordt van het feit dat de voortplantingssnelheid van mechanische trillingen (geluidsgolven) in een vast of vloeibaar medium ongeveer een factor 10^5 kleiner is dan de voortplantingssnelheid van een elektrisch signaal in een geleider.

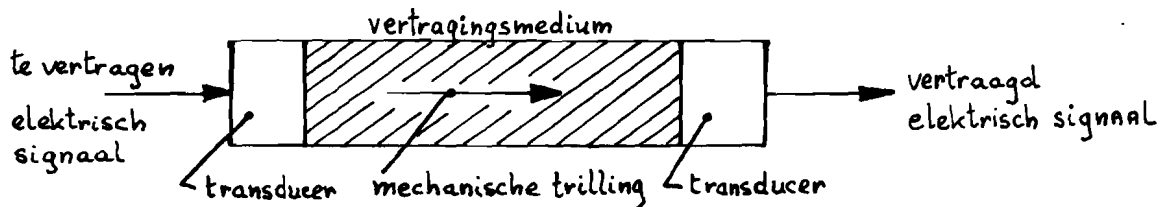


fig. I.1 : principeschema vertraginglijn.

Een vertraginglijn bestaat in principe uit drie onderdelen. Een elektromechanische omzetter (transducer) zorgt ervoor dat het te vertragen elektrische signaal wordt omgezet in een mechanische trilling. Deze mechanische trilling plant zich voort in een geschikt vertragingmedium. Nadat de vereiste vertraging verkregen is, wordt het akoestische signaal toegevoerd aan een tweede elektromechanische omzetter, die het signaal weer omzet in de gewenste elektrische trilling.

Als vertragingmedia worden vaste en vloeibare stoffen gebruikt, bijvoorbeeld : kwartsglas, metalen, kwik, water enz. Piëzo-elektrische en magnetostrictieve materialen worden als transducermateriaal gebruikt. kwarts is van nature piëzo-elektrisch en dus geschikt als transducermateriaal. Enkele polykristallijne stoffen, zoals de keramische materialen bariumtitaanaat en loodzirkoontitaanaat, zijn uitgesproken elektrostrictief, d.w.z. de afmetingen veranderen met een aangelegd elektrisch veld. Ze zijn ferro-elektrisch met een hoge remanente polarisatie en ze kunnen permanent gepolariseerd worden.

Ferromagnetische materialen, zoals ijzer, nikkel, kobalt en legeringen, en ferrieten zijn magnetostrictief, d.w.z. de afmetingen veranderen met de magnetisatie tengevolge van een aangelegd magnetisch veld. Deze verandering is onafhankelijk van de richting van het magnetische veld en dus een even functie van de veldsterkte. Om een quasi-lineair effect te krijgen bij veranderingen van de magnetische flux moet het transducermateriaal een konstante magnetische vóórpolarisatie hebben. Om een groot magnetostrictie-effect te krijgen is het noodzakelijk, dat de vóórmagnetisatie ongeveer twee derde is van de verzadigingsmagnetisatie.

In dit onderzoek zijn metingen gedaan aan verdragingslijnen van mangaannikkel, waarbij gebruik is gemaakt van magnetostrictieve transducers. Ook zijn er metingen gedaan aan verdragingslijnen van aluminium met bariumtitaanaat transducers.

1.2 Geschiedenis en toepassingen van ultrasone vertragingsslijnen.

Tijdens de tweede wereldoorlog is de ontwikkeling van ultrasone vertragingsslijnen pas goed op gang gekomen. Ze werden toen gebruikt voor militaire doeleinden om informatie bij radarsystemen tijdelijk te bewaren.

In het begin werden vloeistoflijnen ontwikkeld met eerst water en later kwik als medium. kwik bleek betere eigenschappen te hebben speciaal voor lange vertragingsslijnen en grote bandbreedten. Later ging men er toe over om vaste stoffen, ^{zoals} glas en kwartsglas te gebruiken. Polygonen van kwartsglas blijken zeer geschikt te zijn voor grote vertragingen, terwijl de verzwakking van het signaal gering blijft.

Met vertragingsslijnen bestaande uit een metalen band of strip, welke men zonder bezwaar kan oprollen in spiraalvorm, kan men ook lange vertragingstijden (enkele milliseconden) realiseren.

Ultrasone vertragingsslijnen worden toegepast op vele gebieden van de elektrotechniek, bijvoorbeeld bij radarsystemen, digitale en analoge rekenmachines, correlatietechnieken, kleurentelevisie, pulsformende netwerken, "moving target indicators" en communicatiesystemen met veel kanalen. Het toepassingsgebied wordt steeds groter. Ook worden ze gebruikt bij het fysisch onderzoek van akoestische media.

Literatuur

Geschiedenis en toepassingen.

- 1) Brockelsby C.F.,
Palfreeman J.S.,
Gibson R.w.,-----Ultrasonic Delay Lines, 1963,
hoofdstukken 1 en 10.
London Iliffe Books Ltd.

Geschiedenis.

- 2) Arenberg David L.,-----Ultrasonic Delay Lines, Journal
of the Acoustical Society of
America, vol.20, nr.1, Jan. 1948.

Toepassingen.

- 3) Overzichtsartikel-----Ultrasone vertragingsslijnen en hun toepassing in de televisie.
Philips technisch Tijdschrift,
jrg.25, nr.10, 1963.

II. Magnetostrictieve vertraginglijnen.

2.1. Magnetostrictie.

Brengen we een ferromagnetisch materiaal in een magnetisch veld, dan veranderen de afmetingen van het materiaal. Dit effect wordt magnetostrictie genoemd. Met behulp van de theorie van weiss kunnen we het gedrag van een ferromagnetisch materiaal in een magnetisch veld plausibel maken.

Ferromagnetische materialen, zoals ijzer, nikkel, kobalt en bepaalde legeringen bestaan uit z.g. weissgebiedjes, dit zijn stukjes materiaal waarin de elektronen-spinvectoren evenwijdig gericht zijn. Elk gebiedje is magnetisch verzadigd. Beschouwen we een stuk ongemagnetiseerd materiaal, dan bestaat dit uit een verzameling gebiedjes met verschillende magnetisatierichtingen, en er treedt naar buiten geen werking op. Brengen we dit stuk materiaal in een van nul aangroeiend magnetisch veld, dan treden er achtereenvolgens reversibele wandverschuivingen, irreversibele wandverschuivingen en bij een zeer sterk veld rotatie van magnetisatievectoren op.

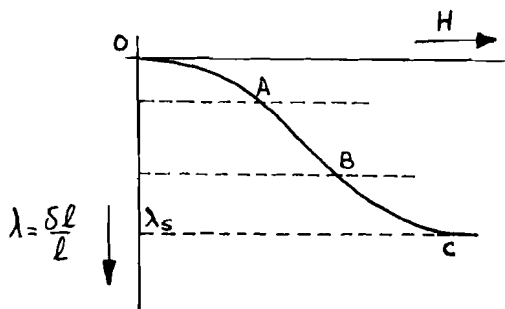


fig.II.1a: $\frac{\delta l}{l}$ als functie van H .

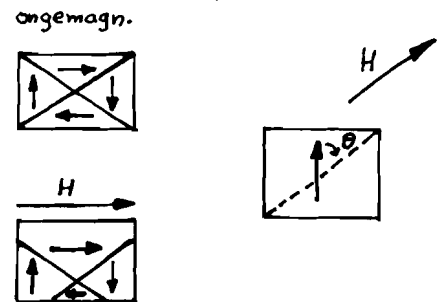


fig.II.1b: Wandverschuiving en rotatie.

In fig.II.1a is het verband tussen de relatieve lengteverandering $\lambda = \frac{\delta l}{l}$ en de magnetische veldsterkte H uitgezet voor een nikkelstaaf in een axiaal gericht magnetisch veld. In het gebied OA van de kromme zullen de weissgebiedjes met magnetisatievectoren parallel aan het uitwendige veld zich uitbreiden ten koste van de antiparallele gebiedjes (reversibele wandverschuiving, fig.II.1b). In het gebied AB verschuiven de gebiedsgrenzen plotseling; deze verschuiving kan niet meer teniet gedaan worden door wegnemen van het veld en dit leidt tot het optreden van remanent magnetisme en magnetostrictie (irreversibele wandverschuiving). Verdere toename van het veld leidt tot rotatie van de magnetisatievectoren van gebiedjes, zodat deze meer parallel aan het uitwendige veld gericht worden.

Beschouwen we één gebied, waarvan de magnetisatie-richting een hoek θ maakt met de richting waarin de λ wordt gemeten, dan geldt de volgende kwantitatieve relatie:

$$\lambda_1 = \frac{3}{2} \lambda_s (\cos^2 \theta - 1/3) \quad (2-1)$$

λ_s is de lengteverandering bij verzadiging. ($\theta = 0^\circ$, d.w.z. als de lengteverandering wordt gemeten in de richting van het uitwendige magneetveld). Met behulp van relatie (2-1) zien we dat bij sterke toename van het veld de λ toeneemt tot de verzadigingswaarde λ_s , want θ nadert tot nul. Meten we de lengteverandering loodrecht op de magnetisatierichting (transversaal effect), dan is $\theta = 90^\circ$ en:

$$\lambda_{\text{transv.}} = -\lambda_s/2, \text{ aangenomen dat er geen volumeeffect is.}$$

Beschouwen we een verzameling gebiedjes, die in de maagdelijke toestand in het wilde weg georiënteerd zijn, dan kunnen we een relatie analoog aan (2-1) toepassen, n.l.:

$$\overline{\lambda} = \frac{3}{2} \lambda_s (\overline{\cos^2 \theta} - 1/3) \quad (2-2)$$

$\overline{\cos^2 \theta}$ is nu het gemiddelde van $\cos^2 \theta$ over alle gebiedjes. Is het materiaal ongemagnetiseerd, dan is:

$$\overline{\cos^2 \theta} = 1/3 \text{ en } \lambda = 0.$$

Bij een zeer sterk veld wordt $\theta = 0^\circ$ en $\lambda = \lambda_s$.

Bestaat er in de maagdelijke toestand een bepaalde verdeling in de gebiedsoriëntaties, bijvoorbeeld ontstaan door rek of warmtebehandeling in een magneetveld, dan geldt de relatie:

$$\lambda = \frac{3}{2} \lambda_s (\overline{\cos^2 \theta} - (\overline{\cos^2 \theta})_0) \quad (2-3)$$

$(\overline{\cos^2 \theta})_0$ heeft betrekking op de oorspronkelijke verdeling. Hier is λ dus direkt afhankelijk van de oorspronkelijk aanwezige verdeling der oriëntaties, terwijl λ_s een materiaal-konstante is.

Een éénkristal van nikkel heeft een voorkeur zich spontaan te magnetiseren in de $\langle 111 \rangle$ -richtingen.

$$\lambda_s = \lambda_{\langle 111 \rangle}$$

Bij verzadigd polykristallijn materiaal komen alle richtingen met dezelfde waarschijnlijkheid voor en geldt de formule van Akulov (1930):

$$\lambda_{\text{polykr.}} = \frac{2}{5} \lambda_{\langle 100 \rangle} + \frac{3}{5} \lambda_{\langle 111 \rangle} \quad (2-4)$$

Literatuur.

4) college-handleiding Prof. Dr. C. Zwikker.

5) Bozorth R.M., ----- Ferromagnetism,
v. Nostrand Comp., New York.

2.2. Magnetostrictieve transducers.

2.2.1. Lineair magnetostrictie effect.

Het verband tussen de relatieve lengteverandering $\delta l/l$ en de magnetisatie M is kwadratisch (fig.II.2).

$$\delta l/l = a \cdot M^2 \quad (2-5)$$

Hierbij is: M = magnetische polarisatie,
 a = evenredigheidsconstante.

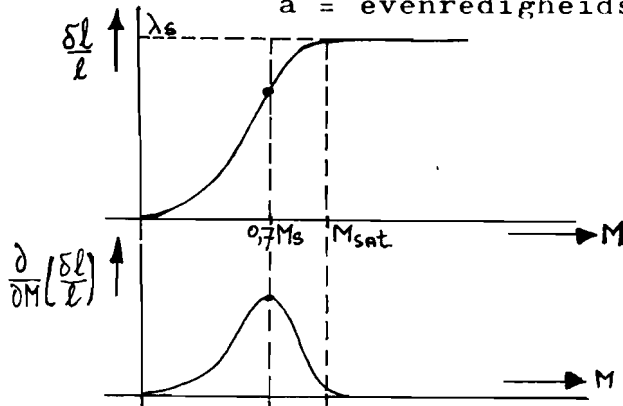


fig. II.2: $\delta l/l$ als functie van M .

Bij een kleine verandering ΔB van de magnetische fluxdichtheid B volgt met $B = \mu_0 H + M$ uit relatie (2-5):

$$\Delta \{ \delta l/l \} = 2a M \cdot \Delta M \quad (2-6)$$

Vergelijking (2-6) levert een lineair verband tussen de verandering in $\delta l/l$ en ΔM als $\Delta M \ll M$.

Brengen we een stuk ferromagnetisch materiaal, bijv. een staaf nikkel in een konstant magneetveld en superponeren we op dit veld een wisselend veld met kleine amplitude, zodat $\Delta B \ll B$, dan heeft dit ook een wisselende lengteverandering tot gevolg. Brengen we het konstante veld aan over een korte afstand van de staaf, dan worden de periodieke lengteveranderingen over die kleine afstand opgewekt en ze planten zich verder voort door de staaf als een mechanische golf. Dit is het principe van de magnetostrictieve transducer, waarbij een gedeelte van het akoestische vertragsmedium (bijv. de staaf nikkel) als kern van de transducer wordt gebruikt.

Een maximale verandering van $\delta l/l$ als functie van ΔM krijgen we als $M \approx 0,7 M_s$ (fig.II.2). In het verband tussen $\delta l/l$ en M treedt bij $M \approx 0,7 M_s$ een buigpunt op. Uit (2-5) volgt met

$$\lambda_s = a \cdot M_s^2:$$

$$\frac{\delta l}{l} = \frac{\lambda_s}{M_s^2} \cdot M^2 \quad (2-7)$$

Differentiëren van (2-7) naar M levert:

$$\frac{\partial}{\partial M} \left(\frac{\delta l}{l} \right) = 2 \frac{\lambda_s}{M_s^2} \cdot M \quad (2-8)$$

Uitdrukking (2-8) is maximaal als $M \leq 0,7 M_s$, dus:

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial M} \left(\frac{\delta l}{l} \right) \right\}_{\max.} \leq 2 \frac{\lambda_s}{M_s^2} \cdot 0,7 M_s \leq \frac{1,4 \lambda_s}{M_s} \quad (2-9)$$

Literatuur:

- 6) Cohn G.I., e.a., ----- Magnetostrictive delay line for video signals.
I.R.E. Transactions on Component Parts, March 1958.

2.2.2. Lineaire transducervergelijkingen.

In het voorgaande hebben we aangegeven hoe bij benadering een lineair magnetostrictie effect te verkrijgen is. We beschouwen de magnetostrictieve omzetter als een vierpool met een elektrische (magnetische) ingang en een mechanische uitgang. Bij de elektrische ingang vinden we indirect de variabele grootheden: de magnetische veldsterkte H (::stroom I) en de magnetische fluxdichtheid B (klemspanning V:: B). Bij de mechanische uitgang treden de rekspanning σ en de rek e op. De differentiaal van de totale energie van het systeem kunnen we als volgt schrijven:

$$dU = \sigma de + HdB + dQ \quad (2-10)$$

Hierbij is: Q = warmtehoeveelheid.
Bij snelle veranderingen van de variabelen van het systeem mogen we dit aannemen als adiabatische toestandsveranderingen, $dQ = 0$ en vergelijking (2-10) wordt:

$$dU = \sigma de + HdB \quad (2-11)$$

Verwaarlozen we de energiedissipatie in de transducer, dan volgt uit de wet van behoud van energie:

$$\oint dU = 0.$$

De noodzakelijke en voldoende voorwaarde hiervoor is, als de temperatuur T konstant is:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial e} \right)_B = \left(\frac{\partial \sigma}{\partial B} \right)_e \quad (2-12)$$

De vergelijkingen worden bij lineaire veranderingen:

$$\left. \begin{aligned} H &= a_{11} \cdot B + a_{12} \cdot e \\ \sigma &= a_{21} \cdot B + a_{22} \cdot e \end{aligned} \right\} \quad (2-13)$$

waarin:

$$a_{11} = \left(\frac{\partial H}{\partial B} \right)_e ; 1/a_{11} \text{ is de magnetische permeabiliteit } (\mu)_e \text{ bij konstante rek } e.$$

$$a_{12} = \left(\frac{\partial H}{\partial e} \right)_B ;$$

$$a_{21} = \left(\frac{\partial \sigma}{\partial B} \right)_e ;$$

$$a_{22} = \left(\frac{\partial \sigma}{\partial e} \right)_B ; a_{22} \text{ is de elasticiteitsmodulus } (Y)_B \text{ bij konstante } B.$$

Uit (2-12) volgt $a_{12} = a_{21} =$ magnetostrictie konstante h .

Literatuur: Zie ref.1: hfdst.3.

2.2.3. Elektromechanische koppeling.

Lossen we B en e op uit de vergelijkingen (2-13), dan vinden we na rangschikking :

$$\left. \begin{aligned} H &= a_{11}(1-k^2) \cdot B + \left(\frac{a_{12}}{a_{22}} \right) \cdot \sigma \\ \sigma &= \left(\frac{a_{12}}{a_{11}} \right) \cdot H + a_{22}(1-k^2) \cdot e \end{aligned} \right\} \quad (2-14)$$

met $k^2 = \frac{(a_{12})^2}{a_{11}a_{22}}$

Deze konstante k , de elektromechanische koppelfactor, is analoog aan de koppelfactor tussen twee elektrische circuits.

Is de omzetter star ingeklemd, d.w.z. $e = 0$ en brengen we een B aan, dan is de opgenomen elektrische (magnetische) energie:

$$U = \frac{1}{2} a_{11} B^2 \text{ en de mechanische energie is nul.}$$

Herhalen we het experiment met de omzetter mechanisch vrij, d.w.z. $\sigma = 0$, dan is de opgenomen elektrische (magnetische) energie:

$$U_1 = \frac{1}{2} a_{11}(1-k^2) B^2, \text{ en de mechanische energie}$$

$$U_2 = \frac{1}{2} a_{22} e^2 = \frac{1}{2} a_{11} k^2 B^2.$$

De totale energie $U = U_1 + U_2$ is onveranderd, maar een fractie k^2 is omgezet in mechanische energie. Dezelfde fractie wordt omgezet van mechanische in elektrische energie als een verandering e wordt aangelegd bij $H = 0$.

De elektromechanische koppelfactor is een fundamentele eigenschap van het transducermateriaal; de waarde hangt echter ook af van de polarisatie van de magnetostrictieve transducer. We moeten k^2 niet verwarren met het nuttig effect van een omzetter. Het rendement is ook afhankelijk van de interne verliezen en de externe mechanische belasting en houdt verband met de vermogens(energie-)stroom.

De k^2 van een magnetostrictieve omzetter kunnen we ook als volgt schrijven:

$$k^2 = \frac{h^2(\mu)_e}{(Y)_B} \quad (2-15)$$

Literatuur: Zie ref.1: hfdst.3.

2.3. Draadvertraginglijnen.

2.3.1. Algemene beschrijving.

In fig.II.3 is een draadvertraginglijn schematisch weergegeven.

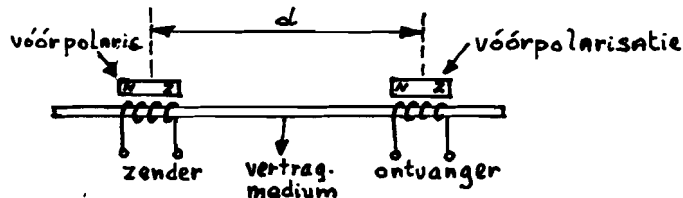


fig.II.3: principe-schema draadvertraginglijn.

De zendtransducer bestaat uit een kleine spoel, welke om het vertragingmedium gewikkeld is, en waarop het te vertragen signaal gezet wordt. Om deze kleine spoel is een "grote" spoel gewikkeld, welke gevoed wordt met gelijkstroom en zorgt dat het gedeelte van het vertragingmedium dat deel uitmaakt van de transducer een konstante magnetische vóórpolarisatie bezit. De zendtransducer, bekrachtigd met bijvoorbeeld een stroompuls, wekt in de draad een longitudinale mechanische trilling op, die zich als een golf door de draad voortplant en door de ontvangtransducer gedetecteerd kan worden. De ontvanger heeft dezelfde constructie als de zender. De vertragingstijd t wordt bepaald door de afstand d tussen de transducers en de geluidssnelheid c , dus $t = d/c$.

Magnetostrictieve vertraginglijnen zijn passieve netwerken, die een groot aantal gelijkstroom- of wisselstroompulsen tijdelijk kunnen bewaren. De vertragingstijd is instelbaar en er kunnen meerdere ontvangtransducers toegepast worden. Ze hebben een betrekkelijk eenvoudige structuur en zijn goedkoop in vergelijking met vastestof- en vloeistoflijnen. Ze worden veel toegepast voor het bewaren van digitale informatie, welke in elektrische circuits wordt weergegeven door stroompulsen. Bij digitale rekenmachines heeft men te maken met relatief lage frekwenties en kan men volstaan met kleinere bandbreedten. Men gebruikt deze lijnen ook voor het coderen en decoderen van pulsen en het meten van tijdvertraging.

2.3.2. Golfvergelijking.

We beschouwen een één-dimensionaal model. De draad van magnetostrictief materiaal strekt zich uit langs de x-as. (fig.II.4). De transducers hebben tengevolge van randeffekten een effectieve lengte l, welke groter is dan de geometrische lengte.

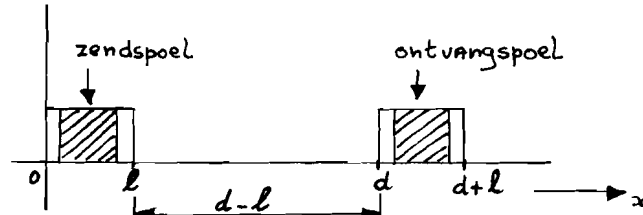


fig.II.4: een één-dimensionaal model.

De massa van een volume-element stellen we $\rho dx dy dz$, waarbij ρ de dichtheid van het materiaal is. Stel dat het magnetische veld, dat ontstaat tengevolge van een stroom door de windingen van de spoel, in de x-richting verloopt. De bewegingsvergelijking voor het volume-element luidt:

$$\rho \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma}{\partial x} \quad (2-16)$$

ξ is de verplaatsing en σ de rekspanning, die werkzaam is op het volume-element. De vergelijking (2-14) voor σ luidt in een enigszins andere vorm:

$$\sigma = (\mu)_e \cdot h \cdot H + (Y)_B \cdot \left(1 - \frac{(\mu)_e h^2}{(Y)_B}\right) \frac{\partial \xi}{\partial x} \quad (2-17)$$

$\frac{\partial \xi}{\partial x}$ = rek e; en stel $(Y)_H = (Y)_B (1 - k^2)$ = elasticiteitsmodulus bij konstante H.

De konstante k^2 is meestal klein t.o.v. één, en bij benadering geldt: $(Y)_H \approx (Y)_B \approx Y$.

Substitueren van vergelijking (2-17) in (2-16) en delen door Y levert:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = - \frac{(\mu)_e h}{Y} \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \quad (2-18)$$

waarbij $c = \sqrt{Y/\rho}$ gelijk is aan de snelheid van de longitudinale geluidsgolf in het medium.

Vergelijking (2-18) is een standaard golfvergelijking met een inhomogene term, welke de magnetische veldsterkte H bevat. Voor de oplossing van vergelijking (2-18), zie ref.7.

Literatuur:

7) Williams, Roscoe C. ----- Theory of magnetostrictive delay lines for pulse and continuous wave transmission.
I.R.E. Transactions on Ultrasonics Engineering, PGUE-7, 1959.

2.3.3. Pulstransmissie.

Op het moment $t = 0$ zetten we een stroom I op de zendspoel (fig.II.5). Tengevolge van het door I opgewekte magnetische veld wordt de draad over de lengte l gemagnetiseerd en ontstaat een "rekpakketje" met een bepaalde amplitude en lengte l (fig.II.5). (bij nikkel is er contractie.) Deze mechanische puls plant zich in de positieve x -richting en de negatieve x -richting voort met halve amplitude en snelheid $c = \sqrt{Y/\rho}$. Om elk punt van de draad te passeren heeft de puls een tijd $t = l/c$ nodig. Kwalitatief beschouwd is de ontstane mechanische verandering gelijk aan de eerste afgeleide van de stroom.

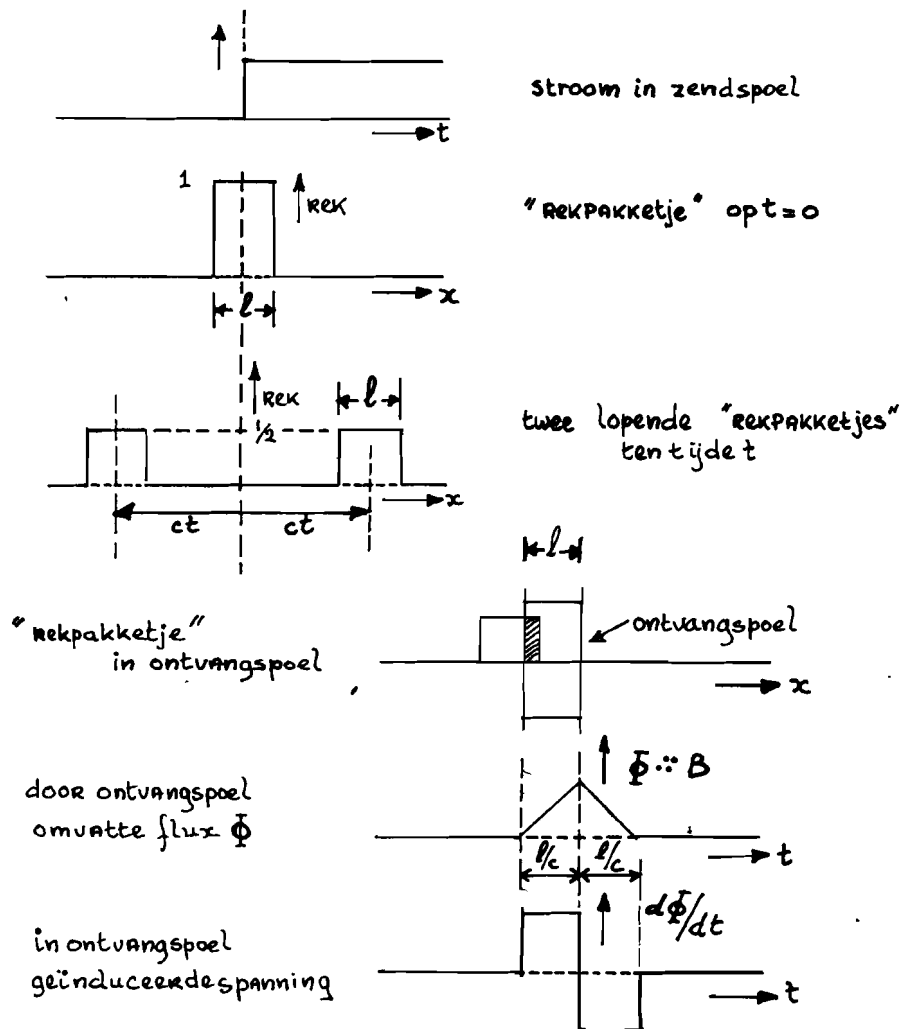


fig.II.5: geïdealiseerde golfvormen geproduceerd door stroom I.

Komt de mechanische puls aan bij de ontvangstransducer met effectieve lengte l en heeft de draad ter plaatse een magnetische vóórpolarisatie, dan ontstaat er tengevolge van het inverse magnetostrictie effect een magnetische fluxverandering. De door de ontvangspoel omvatte flux neemt uniform toe als de mechanische puls verder in de transducer doordringt en neemt uniform af bij het verlaten van de transducer. De verandering van de fluxdichtheid B induceert in de spoel een spanning, welke evenredig is met dB/dt . De uitgangsspanning is kwalitatief gelijk aan de tweede afgeleide van de ingangsstroom. Brengen we de stroom terug op de waarde nul, dan wordt een mechanische puls met tegengesteld teken opgewekt. Een rechthoekige stroompuls heeft dus een "dubbele" mechanische puls tot gevolg. In werkelijkheid zijn de scherpe kanten van alle pulsen afgerond tengevolge van het feit dat het magnetische veld zich uitstrekt ook buiten de grenzen van de spoelen en de tijdconstanten $\tau = L/R$ van de spoelen.

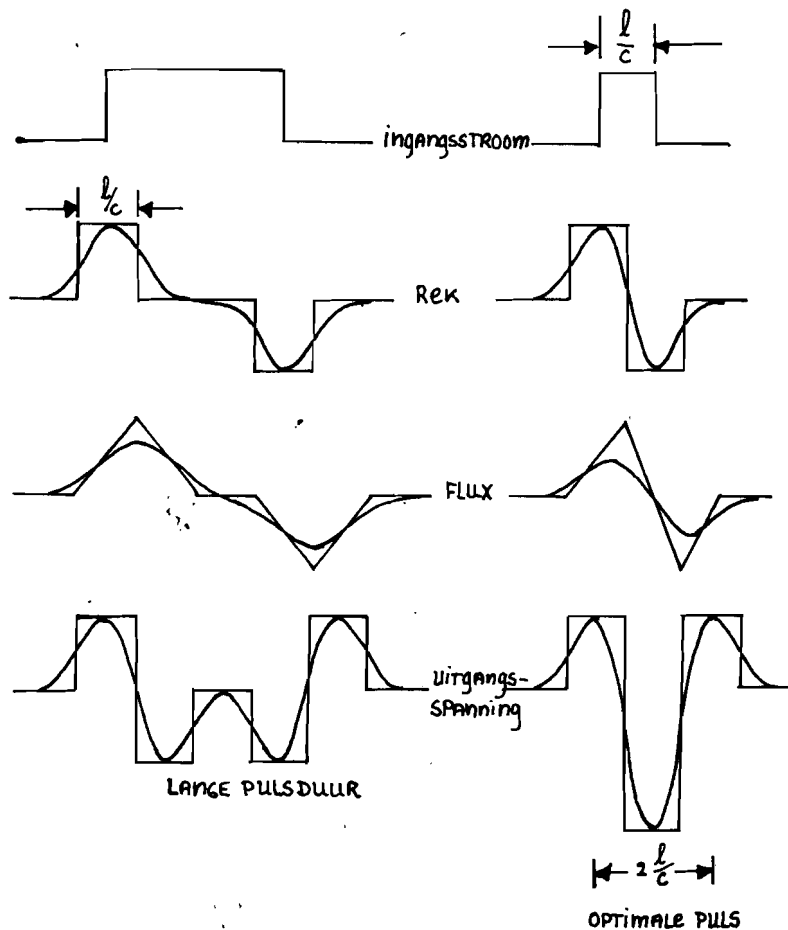


fig.II.6: golfvormen draadvertraginglijn als functie van t .

Maken we de pulsduur van de ingangsstroom korter dan bewegen de twee delen van de "dubbele" mechanische puls naar elkaar toe. Maken we de pulsduur kleiner dan $\frac{1}{c}$, dan neemt het oppervlak onder de golfvorm van de mechanische puls af. Bestaat het ingangssignaal uit een trein van pulsen, elke puls met optimale duur $\frac{1}{c}$, dan is de hoogste pulsherhalingsfrequentie welke nog goed overgebracht wordt die, welke een sinusvormige golfvorm met frequentie $\frac{c}{2l}$ tot gevolg heeft. De golflengte in de draad is $2l$, zodat de lengte van de transducer gelijk is aan een halve golflengte.

Literatuur:

zie ref.1), hfdst.6;

8) Rothbart A.,

Rosenberg L.-----A Theory of pulse transmission along a magnetostrictive delay line.
I.R.E. Transactions on
Ultrasonics Engineering,
PGUE-6, December 1957.

2.4. Metingen aan draadvertraginglijnen van mangaannikkel.

2.4.1. Beschrijving van de meetopstelling.

In figuur II.6 is het schema van de gebruikte meetopstelling weergegeven.

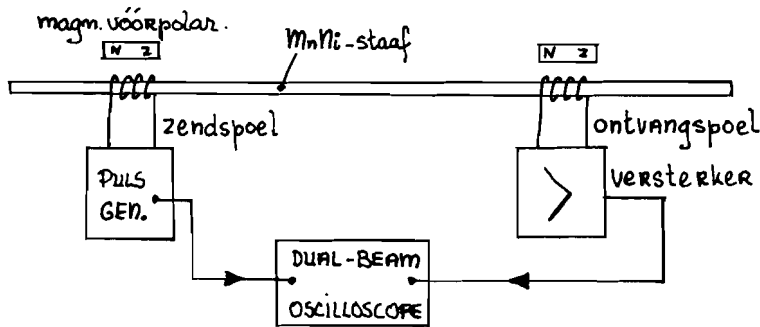


fig. II.6: schema meetopstelling.

De magnetische vóórpolarisatie ter plaatse van de zend- en de ontvangspoel wordt opgewekt door het magnetische veld van twee spoelen, welke om de transducerspoelen gewikkeld zijn en waardoor een gelijkstroom van maximaal vier ampères wordt gestuurd om een zo gunstig mogelijk strictie-effect te krijgen. De pulsgenerator (Philips GM 2314) levert de benodigde wisselstroompulsen direkt aan de zendspoel. Om een optimale mechanische puls in het medium (MnNi-draad met $\varnothing = 5,6$ mm.) op te wekken is een pulsduur van 4 microseconden genomen. Het "rekpakketje" heeft ongeveer 4 microseconden nodig om een transducer te passeren. De pulsherhalingsfrequentie wordt steeds zo laag genomen dat er geen interferentie optreedt met mechanische pulsen, welke opgewekt zijn door voorgaande stroompulsen. De in de ontvangspoel geïnduceerde spanningspuls wordt via een versterkertrap (fig. II.7) toegevoerd aan een twee-stralen oscilloscoop van het type Tektronix 555. Het signaal dat op de zendspoel gedrukt wordt, wordt eveneens aan de oscilloscoop toegevoerd. Op deze oscilloscoop is het mogelijk om direkt de tijdvertraging van het ontvangersignaal ten opzichte van het zendersignaal zichtbaar te maken.

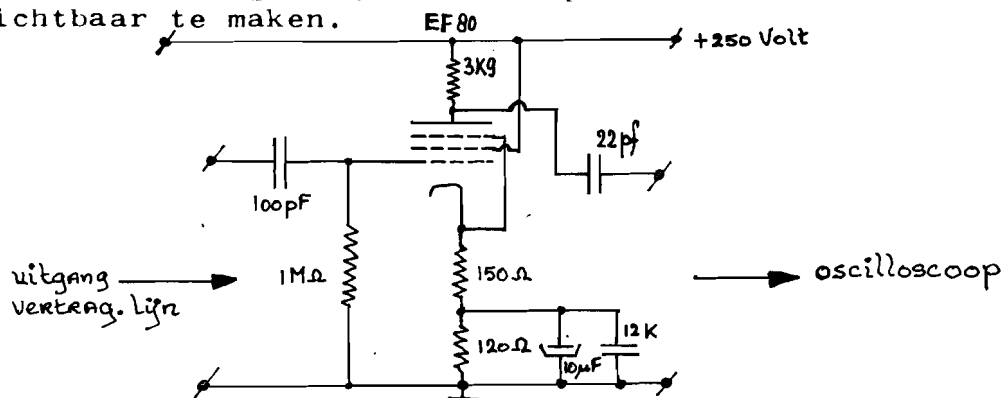


fig. II.7 : Versterkertrap, spanningsversterking 20 X.

2.4.2. Geluidssnelheid en dempingskonstante.

Het proefmateriaal bestaat uit een staaf mangaan-nikkel met een diameter van 5,6 mm. Voor de metingen is een staaf met een lengte van 1,5 meter genomen.

Samenstelling proefmateriaal:

| element | Ni | Mn | Mg | Cu | Si | Fe | Co | C | S |
|---------|------|-----|------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| gew. % | 97,9 | 1,9 | 0,07 | 0,04 | 0,025 | 0,02 | 0,015 | 0,005 | 0,005 |

De geluidssnelheid wordt bepaald uit de afstand d tussen de zend- en de ontvangspoel en de tijdvertraging van het ontvangsignaal t.o.v. het zendsignaal (fig.II.8a en fig.II.8b:foto), welke op de oscilloscoop af te lezen is. De snelheid van de longitudinale geluidsgolf is:

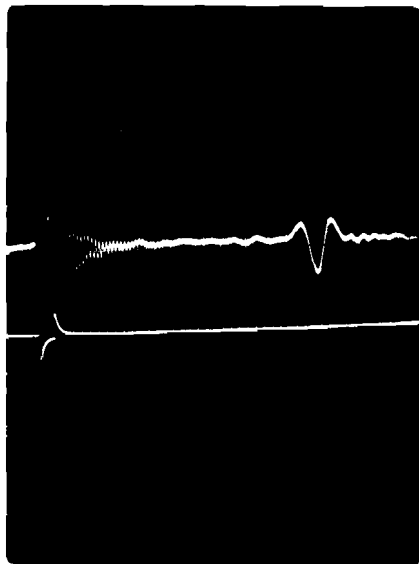
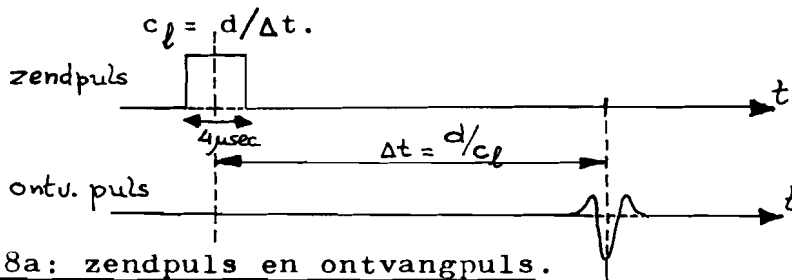


fig.II.8b: oscillogram

boven: ontvangsignaal
 onder: zendsignaal, 1e afgeleide
 stroompuls.
 tijdbasis: $10 \mu\text{sec/schaaldeel}$
 afstand zender-ontvanger $\pm 30 \text{ cm.}$

Uit een aantal metingen volgt als gemiddelde waarde voor de snelheid van longitudinale trillingen in mangaannikkel:

$c_l = 4,9(\pm 4\%) \text{ km/sec.}$

Voor de amplitude A van een mechanische golf in het medium kunnen we schrijven:

$$A = C \cdot \exp.(-\alpha x), \quad (2-19)$$

waarin: C = konstante;
 x = voortplantingsrichting van de golf;
 α = dempingskonstante.

Om α te bepalen wordt de amplitudeverzwakking over een afstand l gemeten. (fig.II.9).

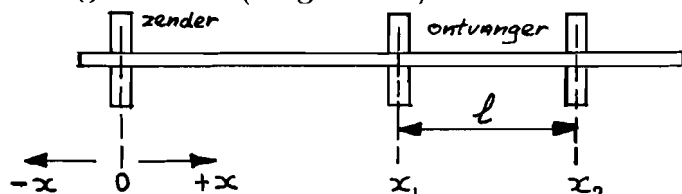


fig.II.9: bepaling dempingskonstante α .

We zetten de ontvanger op afstand x_1 van de zender en bepalen op de oscilloscoop de amplitude A_1 van het ontvangersignaal.

$$A_1 = C \cdot \exp.(-\alpha x_1) \quad (2-20)$$

Vervolgens verschuiven we de ontvangspoel over een afstand l naar x_2 en bepalen A_2 .

$$A_2 = C \cdot \exp.(-\alpha x_2) \quad (2-21)$$

Uit (2-20) en (2-21) volgt voor de amplitude-verhouding:

$$\frac{A_2}{A_1} = \exp. \left\{ -\alpha(x_2 - x_1) \right\} = \exp.(-\alpha l) \quad (2-22)$$

Nemen we de logarithme van A_2/A_1 , dan krijgen we als we l in meters opgeven:

$$\alpha = -\frac{1}{l} \cdot e \log \left(\frac{A_2}{A_1} \right) \text{ Neper/meter.} \quad (2-23)$$

Uitgedrukt in dB/meter wordt :

$$\alpha = -\frac{20}{l} \cdot {}^{10} \log \left(\frac{A_2}{A_1} \right) \text{ dB/meter.} \quad (2-24)$$

Bij deze meetmethode is de demping, welke eventueel bij de transducers optreedt geëlimineerd en heeft de dempingskonstante α , bepaald volgens (2-23) of (2-24), alleen betrekking op de demping in het medium.

Uit een aantal metingen is een gemiddelde waarde gevonden voor de dempingskonstante van mangaannikkel:

$$\underline{\underline{\alpha = 0,68 \text{ dB/mtr.}}}$$

2.4.3. Absorptie van reflecties.

In de vorige paragraaf hebben we alleen de golf beschouwd, welke in de $+x$ -richting loopt. Er loopt echter ook een golf in de $-x$ -richting. Deze wordt tegen het linkeruiteinde van de proefstaaf teruggekaatst en passeert eerst de zendspoel (energieverlies), dan de ontvangspoel (energieverlies) en reflecteert vervolgens tegen het rechteruiteinde van de proefstaaf enz. (fig.II.9). De golf, welke aanvankelijk direkt in de $+x$ -richting loopt, passeert eerst de ontvangspoel, reflecteert dan tegen het rechteruiteinde, passeert achtereenvolgens de ontvangspoel en de zendspoel, reflecteert tegen het linkeruiteinde enz. Om deze reflecties te onderdrukken is een absorberende stof gemaakt, welke bestaat uit één deel bijenwas, twee delen tri-cresyl-fosfaat en twee delen polystyrol (kunsthar). Dit mengsel wordt heet gemaakt en het vormt dan een zeer visceuze "strokerige vloeistof", welke aangebracht wordt over een afstand van ± 10 cm. op de beide uiteinden van de proefstaaf (fig.II.10). Bij afkoelen tot kamertemperatuur stolt de vloeistof en vormt een elastische laag om de uiteinden van de staaf.

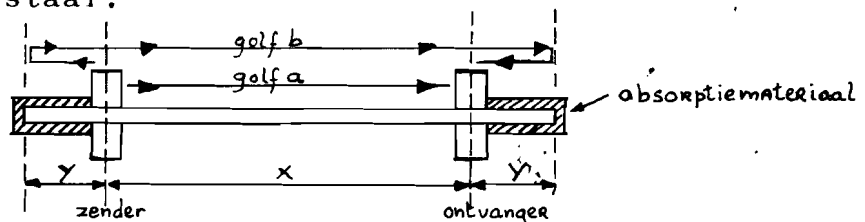


fig.II.10: Vertraginglijn met absorptiemateriaal.

Om de extra demping tengevolge van de absorberende stof te bepalen wordt de dempingskonstante α bepaald uit de verhouding van de amplitudes van:

- golf a, welke rechtstreeks van de zender naar de ontvanger loopt (afgelegde weg $x = 128$ cm.)
- en golf b, welke de weg $2y + x + 2y = 172$ cm. aflegt.

De demping bestaat uit drie delen :

- 1e: de demping in mangaannikkel;
- 2e: de demping t.g.v. het absorptiemateriaal;
- 3e: golf b ondervindt t.o.v. golf a extra demping bij het passeren van de zend- en de ontvangstransducer. (vgl. meting van α in par. 2.4.2.)

De grootte van de derde bijdrage wordt in par. 2.4.4. kwantitatief bepaald en ze bedraagt ongeveer 1 dB voor zend- en ontvangstransducer samen. Het blijkt dat de demping afhankelijk is van de dikte van de laag absorptiemateriaal. Om het absorptiemateriaal gelijkmatig op de uiteinden van de proefstaaf aan te brengen vullen we een koperen buisje van geschikte afmetingen gedeeltelijk met het hete absorptiemateriaal en brengen dit in zijn geheel aan om het uiteinde van de proefstaaf.

Bij afkoelen in een bak water stolt het absorptiemateriaal en hecht vast aan de proefstaaf. Het koperen buisje kan eventueel verwijderd worden door het even in een gasvlam te brengen, waarna het van de proefstaaf afgeschoven kan worden.

Uit een aantal metingen vinden we voor de dempingskonstante:

| dikte laag abs.mat. in mm. | demping t.g.v. MnNi + abs.mat. α in dB/mtr. | demping t.g.v. abs.mat. α in dB/mtr. |
|----------------------------------|--|---|
| ~1,2 | 12,3 | 11,6 |
| ~3,2 | 18,4 | 17,7 |
| ~5,2 | 23,0 | 22,3 |

De hier gegeven waarden van α gelden voor het geval dat het koperen buisje om het absorptiemateriaal zit en de nauwkeurigheid bedraagt ongeveer 15 %. Metingen met en zonder koperen buisje leveren kleine verschillen in de bijbehorende waarden van α . Deze verschillen zijn niet reproduceerbaar.

2.4.4. Ringvormige draadvertragingslijn.

Bij een gesloten ring van MnNi-draad met een gemiddelde omtrek van 64 cm. plaatsen we de zendspoel en de ontvangspoel diametraal tegenover elkaar. In de zendspoel wordt weer een mechanische golf ("rekpakketje") opgewekt, welke zich splitst in de golven a en b ("rekpakketjes" met halve amplitude). (fig.II.11).

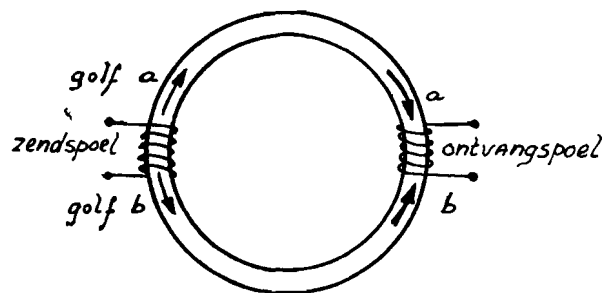


fig.II.11: ringvormige vertragingslijn.

Bij de ontvangspoel komen nu de twee golven a en b gelijktijdig aan (afgelegde weg is 32 cm.) en versterken elkaar. Ze vervolgen ieder hun weg in tegengestelde richting en na de ring nu helemaal doorlopen te hebben (totaal afgelegde weg is $32 + 64 = 96$ cm.) worden ze weer in de ontvangstransducer gedetecteerd. In fig.II.12 (oscillogram) zien we de eerste vier in de ontvangspoel gedetecteerde golven. (afgelegde wegen, resp. 32, 96, 160, 224 cm.)

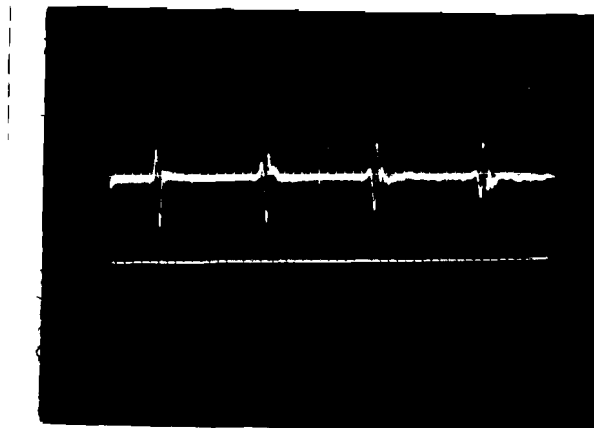


fig.II.12: oscillogram, eerste vier in ontvangspoel gedetecteerde golven; tijdbasis 50 μ sec./sch.dl.

De amplitude-verhouding van de eerste twee gedetecteerde golven levert een waarde voor de demping over 64 cm. Deze bedraagt ongeveer 1,44 dB en bestaat uit de demping in het MnNi en de extra verliezen van de golf bij het passeren van de transducers. De bijdrage van het MnNi tot de demping is met behulp van de metingen van par.2.4.2.: $\alpha_{\text{MnNi}} \approx 0,68 \text{ dB/mtr.}$

$$0,64 \times 0,68 = 0,44 \text{ dB.}$$

De verliezen in de ontvang- en zendtransducer samen bedragen dus ongeveer 1 dB.

Beschouwen we de 3e en volgende gedetecteerde golven, dan zien we dat de pulsduur steeds groter wordt bij een vaste pulsduur van 4 $\mu\text{sec.}$ van de stroompuls op de zendspoel. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk het wegverschil van ongeveer 3,5 cm. tussen de binnen- en de buitenomtrek van de ring.

Bedekken we de hele ring met een laag absorptiemateriaal, dan vinden we bij een gemiddelde laagdikte van ongeveer 4mm. voor α ongeveer 20 dB/mtr., hetgeen in overeenstemming is met de metingen aan een rechte proefstaaf. (fig.II.13: oscillogram).

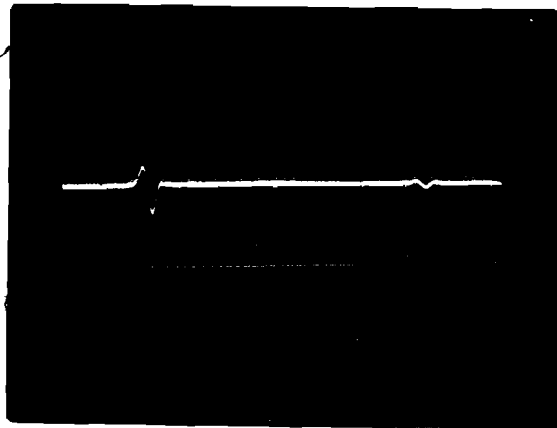


fig.II.13: oscillogram, ring bedekt met laag absorptiemateriaal, 1e en 2e in ontvangspoel gedetecteerde golven; tijdbasis 20 $\mu\text{sec}/\text{sch.dl.}$

III. Vertraginglijnen van Aluminium met elektrostrictieve BaTiO₃-transducers.

3.1. Inleiding en beschrijving meetopstelling.

Voor een theoretische beschrijving van het gedrag van geluidsgolven in akoestische media en de eigenschappen van piëzo-elektrische transducers verwijzen wij naar het afstudeerverslag van de Heer J.H.Hendriks ("Meting van demping in ultrasonische vertraginglijnen speciaal van kwarts-glas").

In fig.III.1 is het schema van de meetopstelling gegeven.

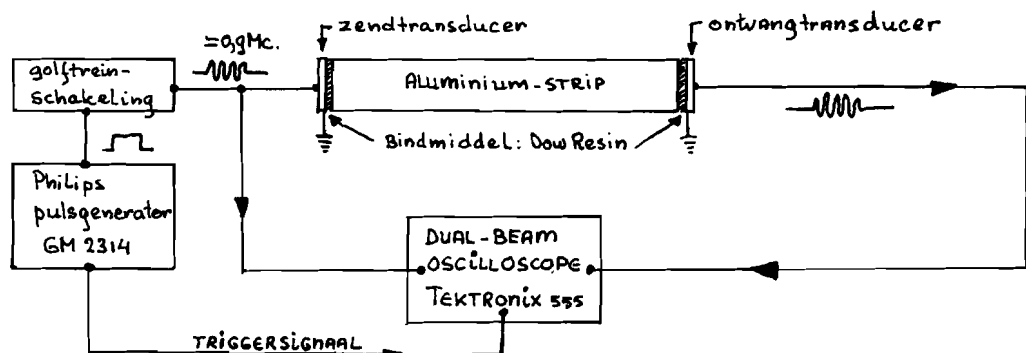


fig.III.1: meetopstelling Al-strip-vertraginglijn.

De blokvormige spanning van de pulsgenerator wordt in een golftreinschakeling omgezet in een pulsgemoduleerde draaggolf met een frequentie van 0,9 MHz. De pulsgenerator levert tevens een triggersignaal voor de oscilloscoop. Op het beeldscherm van de oscilloscoop maken we de signalen van de zend- en de ontvangtransducer zichtbaar. De aluminium-strepen, welke onderzocht worden hebben de volgende afmetingen:

lengte: variabel van 50 cm. tot 2meter,

dikte: 2 mm.,

hoogte: 25 en 20 mm.

De bariümtitanaat-transducers hebben zodanige afmetingen, dat ze de gehele dwarsdoorsnede van de Al-strip kunnen bedekken (fig.III.2). De transducers bezitten een elektrische vóórpolarisatie en de dikte d is zo gekozen, dat de transducer dikte-trillingen met een resonantie-frequentie van ongeveer 0,9 MHz. kan uitvoeren na bevestiging aan de vertraginglijn.

De transducers worden met behulp van een laagje Dow Resin aan de strip bevestigd.

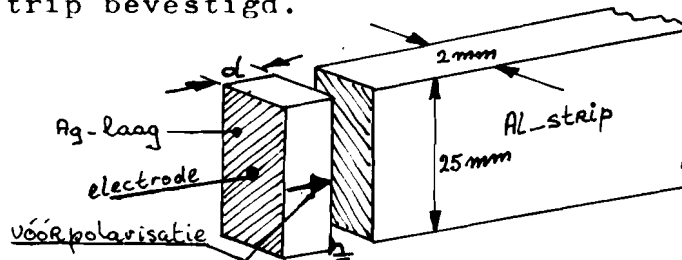


fig.III.2: BaTiO₃-transducer.

3.2. Geluidssnelheid en dempingskonstante.

Twee soorten aluminium worden vergeleken, n.l. Al2S en Al51ST. De tweede soort is mechanisch sterker (vergelijkbaar met zacht staal) dan de eerste soort.

Samenstelling:

| | | | | | | | | | |
|-----------------|------------|------|---------|---------|---------|------|------------------|-----|------------------|
| <u>Al2S:</u> | element | Al | Fe+Si | Cu | Zn | Mn | andere elementen | | |
| | gewichts-% | 99 | ≤ 1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | totaal ≤ 0,15 | | |
| <u>Al 51ST:</u> | element | Al | Si | Mg | Mn | Fe | Ti | Cu | andere elementen |
| | gewichts-% | 96,8 | 0,7-1,3 | 0,4-0,8 | 0,4-0,8 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | totaal ≤ 0,15 |

Uit een aantal metingen vinden we voor de snelheid van de longitudinale trillingen de volgende waarden:

| | |
|---------|---------------------------|
| Al2S : | $c_l \approx 5$ km/sec. |
| Al51ST: | $c_l \approx 4,8$ km/sec. |

Deze waarden stemmen goed overeen met de waarden opgegeven door W.P.Mason, Physical Acoustics and the Properties of Solids, van Nostrand New York.

De meting van de dempingskonstante α geschiedt op dezelfde wijze als aangegeven is in par.2.4.2. Hierbij worden strips van verschillende lengten genomen en de verhouding van de amplitudes van de ontvangen signalen (fig.III.3:oscillogram) levert voor α bij een frekwentie van 0,9 MHz.:

| | |
|---------|-------------------------|
| Al2S : | $\alpha = 3,5$ dB/mtr., |
| Al51ST: | $\alpha = 1,7$ dB/mtr. |

Hierbij gebruiken we telkens dezelfde transducers, welke steeds zo goed mogelijk op dezelfde wijze aan de verschillende strips bevestigd worden.

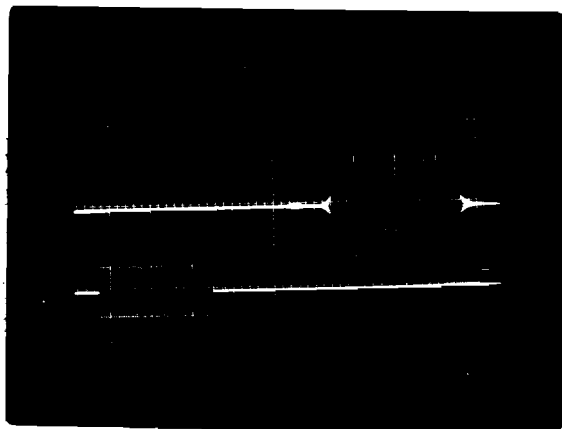


fig.III.3: oscillogram; lengte vertragingslijn 1 meter,
tijdbasis $50 \mu\text{sec/sch.dl.}$
boven: ontvangsignaal, 0,1 Volt/sch.dl.
onder: zendsignaal, 2 Volt/sch.dl.

Het mechanisch sterkere materiaal, Al51ST, heeft een kleinere dempingskonstante, hetgeen in overeenstemming is met de theorie.

Om ongewenste signalen, welke ontstaan bij reflectie van de longitudinale trillingen aan de scherpe kanten van de Al-strip (randeffekten), te onderdrukken brengen we Scotch tape aan over de bovenkant en de onderkant over de gehele lengte van de strip. (fig.III.4)

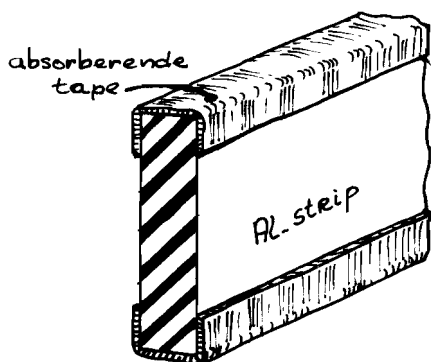


Fig.III.4: absorberende tape ter onderdrukking van randeffekten.

Zijn, behalve de gehele boven- en onderkant, de zijkanten van de strip voor ongeveer 1/5 deel van het oppervlak bedekt met tape, dan worden de ongewenste signalen sterk onderdrukt, en bedraagt de dempingskonstante bij Al2S ongeveer 10 dB/mtr.

IV. Slotopmerkingen.

Bij het in het voorgaande beschreven onderzoek zijn steeds longitudinale trillingen toegepast. Draadvertraginglijnen met magnetostrictieve transducers zijn eenvoudig te construeren. Ze zijn niet zo geschikt voor hoge frekwenties. De lengte l van de transducerspoel is bepalend voor de toe te passen frekwentie (par.2.3.3: $l = \frac{1}{2} \cdot \text{golflengte}$). Maken we l kleiner, dus de spoel korter, dan kunnen we de frekwentie groter maken tot een praktische grens van ongeveer 1 MHz. Draadvertraginglijnen worden, vanwege de ongeschiktheid voor hogere frekwenties, weinig gebruikt voor televisie-toepassingen. (zie ref.3). Om de constructie compact te houden kan men bij lange vertraginglijnen de draad opwickelen tot een spiraal of een schroeflijn. Bij toepassing van longitudinale trillingen veroorzaakt het buigen van de draad echter een frekwentiedispersie en daardoor een vervorming van het signaal. Men kan dan beter gebruik maken van torsie-trillingen, welke ook nog een lagere voortplantingssnelheid hebben. Door de draad stuurt men dan een gelijkstroom en een wisselend signaal op de zendspoel veroorzaakt een schroefvormig magnetisch veld met een wisselende spoed.

Bij het onderzoek is weinig aandacht besteed aan het rendement van de omzetting van elektrische in mechanische energie in de transducers. De nauwkeurigheid van de metingen van de dempingskonstante α is niet groot (15 %). Oorzaken hiervan zijn: de zeer kleine amplitudes van de signalen, welke op het scherm van de oscilloscoop gemeten moeten worden en de onnauwkeurigheid in de bepaling van de weglengten. In de literatuur zijn geen waarden gevonden voor de demping van het door ons onderzochte MnNi. Voor een buis (buitendiameter 3,2 mm., wanddikte 0,1 mm.) van zuiver nikkel wordt opgegeven: $\alpha = 12$ dB/mtr.

Bij de metingen aan aluminium-vertraginglijnen is gebruik gemaakt van Dow Resin-276-V9 (fa.Griffith, London) als bindmiddel tussen de bariumtitanaat-transducers en het aluminium. Om een goede energie-overdracht te verkrijgen moet de bindingslaag monomoleculair zijn. Deze bindingen zijn moeilijk reproduceerbaar te maken. Indiumbindingen zijn beter. De akoestische aanpassing transducer-binding-medium is met indium veel beter te maken. Hierbij moeten transducer-materialen met een hoge Curie-temperatuur gebruikt worden, zoals bijvoorbeeld loodzirkoon-titanaat. Bariumtitanaat heeft een laag Curiepunt (120 gr.C.). Verhit men het materiaal boven het Curiepunt dan verliest het de elektrische vóór-polarisatie, en is dus ongeschikt als transducer.

Er zijn aluminium-strip-vertragingslijnen ontwikkeld met een over de lengte variabele dikte. Hiermee is het mogelijk om een variabele vertraging als functie van de frequentie te verkrijgen. Hierbij wordt nuttig gebruik gemaakt van de optredende frekwentie-dispersie.

Literatuur: Aluminium-vertragingslijnen.

I.R.E. Transactions on Ultrasonics Engineering, vol. UE-7,
June 1960.

- 9) Meitzler A.H.,----- Ultrasonic Delay Lines using Shear modes in strips.
- 10) May John E.,----- Wire-type Dispersive Ultrasonic Delay Lines.
- 11) Meeker T.R.,----- Dispersive Ultrasonic Delay Lines using the first longitudinal mode in a strip.

Journal of the Acoustical Society of America, vol. 35,
May 1963.

- 12) Fitch A.H.,----- Elastic Pulse propagation in hollow cylinders.
- 13) Fitch A.H.,----- Synthesis of dispersive delay characteristics by thickness tapering.