



Vlaanderen
is omgeving



Ontwikkeling van elektronische sensoren voor het meten van magnetische velden om de blootstelling in de omgeving van hoogspanningslijnen te monitoren

 **Eindrapport**

**DEPARTEMENT
OMGEVING**

omgevingvlaanderen.be

Ontwikkeling van elektronische sensoren voor het meten van magnetische velden om de blootstelling in de omgeving van hoogspanningslijnen te monitoren

Dit rapport bespreekt de studie van een 50 Hz magnetisch veld sensor, die kan worden ingezet bij de continue monitoring van hoogspanningslijnen. In dit rapport is de volledige uitwerking van idee naar prototype naar afgewerkt product opgenomen van de onderzoekende partij (Universiteit Gent - WAVES/IMEC).

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever

Peter Cabus

Departement Omgeving

Vlaams Planbureau voor Omgeving

Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel

vpo.omgeving@vlaanderen.be

www.omgevingvlaanderen.be

Een uitgave van het Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving

vpo.omgeving@vlaanderen.be

Auteurs

Kenneth Deprez – Universiteit Gent, waves - IMEC

Tom Van de Steene – Universiteit Gent, waves - IMEC

Leen Verloock – Universiteit Gent, waves - IMEC

Wout Joseph – Universiteit Gent, waves - IMEC

Publicatiedatum

19/02/2024

Depotnummer

D/2024/3241/111

Wijze van citeren

Deprez K., Van de Steene T., Verloock L. & Joseph W., (2024), *Ontwikkeling van elektronische sensoren voor het meten van magnetische velden om de blootstelling in de omgeving van hoogspanningslijnen te monitoren. Studie in opdracht van het Departement Omgeving.*

PARTNERS



**DEPARTEMENT
OMGEVING**

omgevingvlaanderen.be

INHOUDSTAFEL

1	Inleiding	5
2	Ontwerpen van een elektronische sensorunit voor het meten van magnetische velden ...	5
2.1	Fase 1A: ontwerp van ELF spoelen	5
2.1.1	Specificaties	5
2.1.2	Ontwerp	6
2.1.3	Simulaties	6
2.1.4	Fabricatie	7
2.1.5	Metingen	7
2.1.6	Kostprijs	8
2.1.7	Conclusie	9
2.2	Fase 1B: Studie van bestaande sensoren	9
2.2.1	EHP-50	9
2.2.2	ELT-400	10
2.2.3	NFA30M	10
2.2.4	Extech 480823 EMF/ELF sensor	10
2.2.5	Tenmars TM-190	10
2.2.6	Tenmars TM-191	10
2.2.7	Tenmars TM-192D & LATNEX MG-2000TD	11
2.2.8	Conclusie	11
2.3	Fase 2: Ontwerp van circuit + PCB	11
2.3.1	Vereisten	11
2.3.2	Exploratie en design	12
2.3.3	Verificatie en kalibratie	14
2.3.4	Verdere exploratie ELF sensor	14
2.3.5	Triaxiaal design	16
2.3.6	Software filtering	17
2.4	Fase 3: Bouw van sensorbox	17
2.4.1	Testen van de sensor	17
3	Testen van de box, sensoren en Thingsboard MQTT-protocol	23
3.1	Samenstellen van de box	23
3.2	Testen van de box	25
4	Gecombineerde sensor	26
5	Conclusie.....	28
	Referenties.....	29

2.1.1.1 Sensitiviteit

De sensitiviteit bepaalt hoe groot de 50 Hz spanning ter hoogte van de connector van de spoel is voor een gegeven 50 Hz magnetisch veld, en wordt voornamelijk bepaald door het aantal windingen en de oppervlakte van de windingen. De minimale sensitiviteit hangt af van de gewenste nauwkeurigheid (in μT) en de minimale stap (in mV) van de ADC (analoog naar digitaal converter). Voor een meetnauwkeurigheid van $0.01 \mu\text{T}$ en een minimale stap van 0.0078 mV , hebben we een sensitiviteit nodig van $0.78 \text{ mV}/\mu\text{T}$, ofwel 0.078 V/G .

De waarde van $0.78 \text{ mV}/\mu\text{T}$ zal als uitgangspunt voor het eerste ontwerp dienen. De sensitiviteit moet uiteindelijk samen gezien worden met een eventuele versterking verder in het circuit, en kan binnen een zeker bereik aangepast worden in een volgende versie van het ontwerp.

2.1.1.2 Geometrie

De belangrijkste beperkingen op de geometrie worden bepaald door de afmetingen van de sensorbox. Hiervoor gaan we uit van een maximale afmeting van de spoelen van 10 cm. Net zoals de sensitiviteit, kan deze waarde in een volgend ontwerp aangepast worden indien dit een grote invloed blijkt te hebben in positieve of negatieve zin.

2.1.1.3 Overige

In tweede instantie zijn ook de inductiviteit van de spoel en de totale hoeveelheid koper van belang. De inductiviteit bepaalt welke parallelle capaciteit nodig is voor de spoel. Deze hebben een invloed op de resonantiefrequentie en het filterend vermogen bij andere frequenties. De totale hoeveelheid koper kan de prijs ook doen oplopen, en moet dus beperkt worden om rendabel te blijven.

2.1.2 Ontwerp

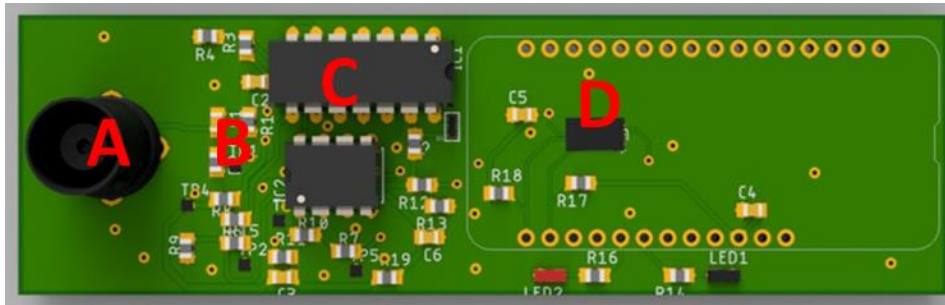
Bij de lage frequentie van 50 Hz, kan het ontwerp van de spoel zo goed als volledig bepaald worden aan de hand van gekende formules. Hierna volgen simulaties en metingen om dit te bevestigen.

Het eerste ontwerp bestaat uit een ronde spoel van 316 windingen. Deze zorgen voor de gewenste sensitiviteit. De diameter van de windingen bedraagt 0.25 mm , wat net werkbaar is, voor een voldoende lage weerstand zorgt, maar ook de totale hoeveelheid koper beperkt houdt.

2.1.3 Simulaties

Op voorhand werd een computermodel van de spoel gesimuleerd om de beoogde geïnduceerde spanning (proportioneel met de sensitiviteit voor een gegeven magnetisch veld) te bevestigen (links). Ook de mogelijkheid om het magnetisch veld onafhankelijk van de polarisatie op te meten met 3 loodrecht geplaatste spoelen, werd via simulaties bevestigd (rechts).

componenten. Verder in de tekst zullen we dus ook enkel deze sensor verder behandelen. Dit werd ook besproken op de tussentijdse rapporteringen en werd goedgekeurd door de opdrachtgever. Voorlopig wordt er ook gefocust op een sensor met één vector, aangezien dit eenvoudig uit te breiden is naar een sensor die meerdere vectoren (i.e. triaxiaal) kan opmeten. Vanaf nu worden dan ook resultaten getoond die uiteindelijk hebben geleid tot de finale sensor.

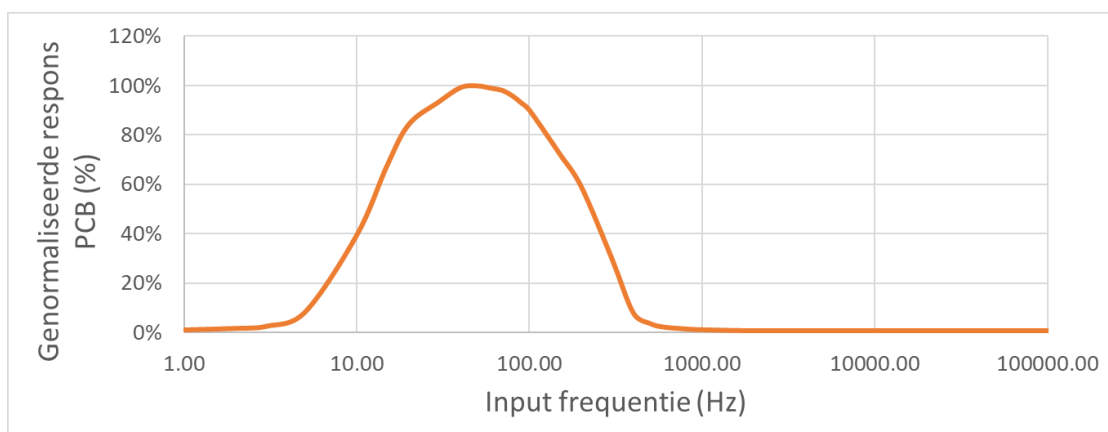


Figuur 5: Huidige PCB van de ELF sensor. (A) BNC connector; (B) Resistoren en capaciteiten; (C) OPAMPs; (D) ADC

De huidige ELF sensor wordt getoond in Figuur 5. Van links naar rechts vinden we de Bayonet Neill–Concelman (BNC) connector terug, die de input van de ELF antenne in het bordje brengt. Daarnaast zien we resistoren en capaciteiten doorheen het bordje. Verder staan er 2 OPAMPs op het bordje om de filtering, gelijkrichting en versterking te voorzien. Als laatste zien we de ADC, die wordt uitgelezen door de microcontroller.

De gekozen filteringwaarden van de actieve, inverterende hoogspanningsfilter zijn de volgende: capaciteit van 0.22 uF, een ingangsweerstand van 75 kΩ en een feedback weerstand van 150 kΩ. Dit levert een versterking van het signaal op van -2. Deze waarden zorgen ervoor dat er een kantelfrequentie is van 9.65 Hz ($\text{kantelfrequentie} = 1 / (2 * \pi * R * C)$, met R = ingangsweerstand, C = capaciteit). Voor de laagspanningsfilter kan de kantelfrequentie op eenzelfde manier worden berekend. Hierbij is de weerstandswaarde gelijk aan 50 kΩ en de capaciteitswaarde 10 nF. Dit komt op een kantelfrequentie van 318.31 Hz, waarbij de versterking afneemt buiten het frequentiebereik met -20 dB per vertienvoudiging van de frequentie.

De verificatie van het systeem toont aan dat het ontworpen circuit frequenties lager dan 10 Hz en hoger dan 300 Hz filtert, zonder een noemenswaardige verzwakking te veroorzaken van het opgemeten signaal (Figuur 6). Harmonische signalen worden hier niet extra gefilterd, deze worden door de software gefilterd. Er is een maximum vast te stellen bij 50 Hz. Hieruit werd afgeleid dat de 1 vector PCB adequaat 50 Hz magnetisch veld kan opmeten, waardoor deze werd uitgebreid naar een triaxiaal ontwerp.



Figuur 6: Frequentie respons van prototype 2.

