

LVDT Lineaire Variabele Differentiële Transformator

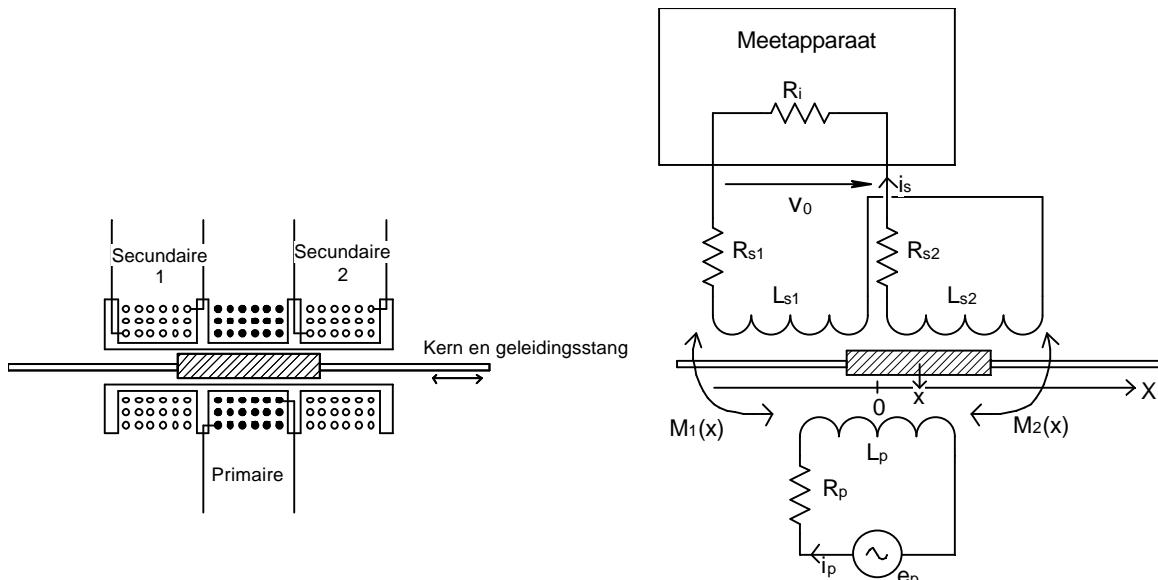
Practicum bij de cursussen "(microsystemen,) sensoren en actuatoren (in de fotonica)"
Versie: februari 2005
Herbert De Smet

Voorafgaande opmerking

In een vorige practicum hebt u reeds kennigemaakt met de instrumentatiesoftware LabVIEW. We zullen hier in dit practicum opnieuw gebruik van maken.

Inleiding: de theorie

Een LVDT of Lineaire Variabele Differentiële Transformator is een verplaatsingstransducer, of met andere woorden een apparaat dat een mechanische verplaatsing omzet in een elektrisch meetbare grootheid. De opbouw van een LVDT is eenvoudig: een transformator met 2 identieke secundaire wikkelingen en een verplaatsbare ferromagnetische kern.



Aan de primaire wikkeling van de transformator wordt een sinusoidale spanning aangelegd. Wanneer de ferrietkern zich in haar middelste positie bevindt ($x=0$), dan zijn de mutuele inducties M_1 en M_2 precies even groot. De twee secundaire wikkelingen zullen allebei dezelfde spanningsval vertonen, waardoor de spanning die door het meetapparaat gezien wordt (v_0), nul is. Als we de ferrietkern verplaatsen in de richting van stijgende x , dan wordt M_2 groter en M_1 kleiner, waardoor er een spanning verschillend van nul zal gemeten worden. Algemeen kunnen we schrijven dat (reeksontwikkeling in x)

$$M_2(x) = M_2(0) + ax + bx^2 + cx^3 + \mathbf{J}(x^4) \quad (1)$$

En dus (gelet op de symmetrie)

$$M_1(x) = M_2(0) - ax + bx^2 - cx^3 + \mathbf{J}(x^4) \quad (2)$$

Anderzijds, als de ingangsweerstand van het meetapparaat R_i zeer groot is (en bijgevolg $i_s = 0$) en de frequentie niet te hoog (en bijgevolg $R_p \gg \omega L_p$), dan geldt voor de spanning v_o , gezien door het meetapparaat, dat

$$v_o = \frac{d}{dt}[M_2(x)i_p] - \frac{d}{dt}[M_1(x)i_p] = \frac{d}{dt}[(M_2(x) - M_1(x))i_p] \quad (3)$$

Uit (1) en (2) volgt dat

$$M_2(x) - M_1(x) = 2ax + J(x^3) \quad (4)$$

Merk op dat de kwadratische termen in x wegvallen, zodat we een vrij goede lineariteit bekomen. Voor niet al te grote uitwijkingen kunnen we de termen van orde x^3 verwaarlozen. Substitueren van (4) in (3) geeft dan:

$$v_o = \frac{d}{dt}[2ax(t)i_p(t)] \quad (5)$$

vervangen we hierin $i_p(t)$ door $\frac{E_p \sin(\omega t)}{R_p}$, dan bekomen we

$$v_o = \frac{2ax(t)E_p \omega}{R_p} \cos(\omega t) + \frac{2aE_p \sin(\omega t)}{R_p} \frac{d}{dt}[x(t)] \quad (6)$$

Indien de maximale verplaatsingsnelheden die men wenst te meten klein zijn, dan valt de tweede term van (6) weg en bekomen we uiteindelijk

$$v_o = \frac{2ax(t)E_p \omega}{R_p} \cos(\omega t) \quad (7)$$

Met andere woorden: de amplitude van de gemeten spanning is evenredig met de uitwijking van de kern uit de rusttoestand.

Vraag 1: Aan welke voorwaarde moet de verplaatsingsnelheid voldoen opdat de tweede term in (6) inderdaad te verwaarlozen zou zijn? Werk uit. Vul een realistische getalwaarde in voor ω (neem de waarde die je in opdracht 1 vindt). Hoe groot mag dx/dt dan zijn als je maximaal een fout van 1 micrometer wil begaan op de positie van $x=0$?

De gevoeligheid van een LVDT wordt uitgedrukt in V/V/m (volt per volt per meter) en bedraagt

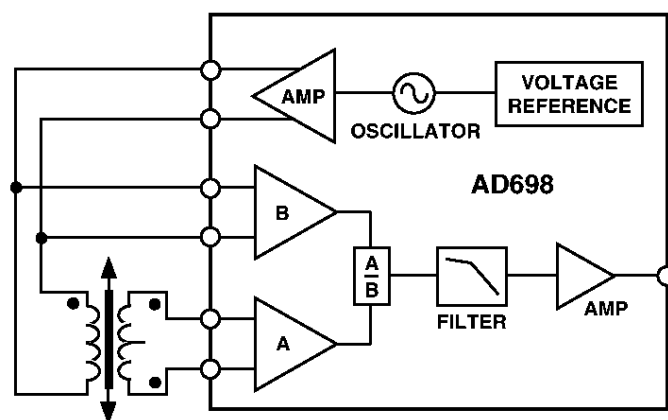
$$S = \frac{V_o}{xE_p} = \frac{2a\omega}{R_p} \quad (7)$$

Vraag 2: Kan men de gevoeligheid van een LVDT opdrijven door ω groter te kiezen? Verklaar.

Het practicum

Er wordt u een LVDT ter beschikking gesteld, evenals een signaalconditioneerder die is opgebouwd rond een ANALOG DEVICES AD698. Deze IC werd speciaal ontwikkeld om als subsysteem te dienen in LVDT signaalconditioneerders. In Minerva of de TFCG student corner vindt u de volledige datasheets van de AD698.

Een sterk vereenvoudigd blokschema van de AD698 wordt in onderstaande figuur gegeven. Een ingebouwde oscillator genereert een sinusspanning die aan de primaire wikkeling van de LVDT wordt aangelegd. De spanning die over de in serie geschakelde secundaire wikkelingen staat wordt gelijkgericht en gedeeld door de (eveneens gelijkgerichte) spanning over de primaire wikkeling. Na filtering en versterking wordt een DC spanning bekomen die een maat is voor de uitwijking van de ferrietkern. Doordat de spanning aan de secundaire wikkeling wordt gedeeld door de spanning aan de primaire wikkelingen, is het resultaat onafhankelijk van fluctuaties of drift van de uitgangsamplitude van de oscillator. Daardoor is ook de temperatuursafhankelijkheid veel kleiner.



Opdracht 1: controleer de werking van de LVDT

Verbind de LVDT transducer met de schakeling via de 5-pins DIN connector en leg de voedingsspanningen aan (± 15 volt). Verifieer door middel van de oscilloscoop dat aan de uitgang een DC spanning aanwezig is die afhangt van de positie van de kern in de LVDT. Meet ook de excitatiefrequentie die door de AD698 wordt gegenereerd.

Opdracht 2:

Alle ELIS practicumopstellingen zijn uitgerust met een National Instruments PCI-1200 Data-Acquisitie (DAQ) kaart. Wij zullen deze in dit practicum gebruiken. Start LabVIEW op en open het virtueel instrument `daq_scope.vi` (beschikbaar in Minerva en de TFCG student corner). Dit vi visualiseert in real time de spanning die op 1 van de 8 analoge inputkanalen van de DAQ kaart aanwezig is. Het sub-vi "AI ONE PT" (Analog Input one point) dat in `daq_scope.vi` gebruikt wordt om een meetwaarde uit te lezen uit de kaart kiest daarbij zelf het meest geschikte meetbereik. U kunt daartoe aan "AI ONE PT" een verwachte minimum en maximum meetwaarde toeleveren. Het maximale analoge meetbereik van de Data-acquisitiekaart bedraagt evenwel 10 volt (0/10 volt of $-5/5$ volt). Stel de regelbare weerstand van de LVDT schakeling daarom zo in dat u een goed meetbaar uitgangsbereik bekomt. Verbind vervolgens de uitgangsspanning met analogoog inputkanaal 1 van de data-acquisitiekaart (pin 1 (+) en pin 9 (-)). Gebruik het programma om bewegingen van de ferrietkern te visualiseren.

Opdracht 3:

Zet de gemeten spanningswaarden als functie van de positie van de LVDT kern uit in een grafiek.

Opdracht 4:

Maak een nieuw vi, startend van daq_scope.vi, die als functie heeft de positie van de ferrietkern in de LVDT grafisch voor te stellen op het scherm (bv. met een schuif-indicator). Zorg hierbij voor een correcte schaalverdeling (bv. in millimeter). Voorzie ook de mogelijkheid om de uitlezing te kalibreren, ten minste op de eindpunten van het meetbereik. U mag zelf kiezen hoe u dat doet, maar het verdient de aanbeveling een methode te kiezen die voor de gebruiker weinig werk en weinig tijd vergt. Demonstreer het resultaat aan de assistent die u moet quoteren.

Optioneel kunt u een (uitschakelbaar) auditief alarm (beep) inbouwen voor als de kern tot op minder dan 5 % van de randen van het meetbereik genaderd is.

Opdracht 5:

Bepaal de gevoeligheid van de LVDT.

Hier toe moet u eerst het absolute nulpunt ($x=0$) van de LVDT bepalen. Meet daartoe met de scope rechtstreeks de spanning over de secundaire wikkeling (denk zelf na hoe u dat best kunt doen en bespreek uw oplossing vooraf met de assistent die het practicum begeleidt). Zet daarna de kern in één van haar uiterste posities van het bruikbare meetbereik en meet nu zowel de spanning over de secundaire en over de primaire wikkeling. Geef de gevoeligheid in V/V/m.

Opdracht 6:

Vat uw resultaten en de antwoorden op de gestelde vragen samen in een kort verslag. Het is niet nodig om een theoretische inleiding te geven. Geef dit verslag af op het einde van de zitting.