

Wheatstonebruggen

A.1 Doelstelling van de proef

Kennismaking met de Wheatstonebrug. Het meten van zowel gekende als onbekende weerstanden, en het optimaliseren van deze techniek.

A.2 Vereiste voorkennis

Stroom, spanning, weerstand, wetten van Kirchhoff

A.3 Suggesties voor geschikte literatuur

Physics for scientists and engineers with Modern Physics 4th ed. R.A. Serway, Saunders College Publ., sectie 28.5

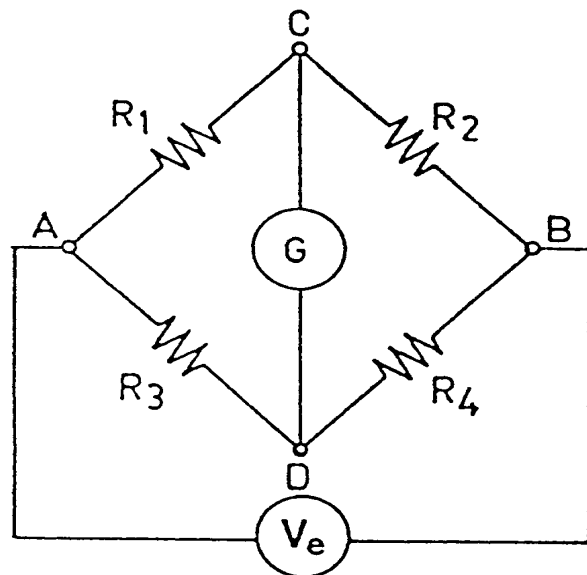
Physics for scientists and engineers with Modern Physics, D.C. Giancoli, Pearson

B.1 Fysische achtergrond

De Wheatstonebrug is een schakeling die gebruikt wordt voor het nauwkeurig meten van weerstanden. De basis is een vierhoeksschakeling van vier weerstanden waarbij V_e [V], een bron van elektromotorische spanning, wordt aangelegd aan twee tegenover-gestelde hoekpunten van de vierhoek (zoals A en B in figuur 1), en een gevoelige stroomindicator, zoals een galvanometer (G), tussen de andere hoekpunten. Wanneer de stroomindicator nul aanwijst is er geen potentiaalverschil tussen de punten C en D, en geldt de betrekking

$$R_1 / R_2 = R_3 / R_4, \quad (1)$$

waarbij $R_{1,2,3,4}$ [Ω] weerstanden zijn. Deze vergelijking wordt ook de balansvergelijking genoemd. Het vervangen van (bijvoorbeeld) R_2 door een onbekende weerstand X laat toe deze te bepalen wanneer ofwel R_4 ofwel de verhouding R_1/R_3 (ofwel beide) voldoende regelbaar is (of zijn) om de potentiaal op punten C en D gelijk te maken.



Figuur 1 : De wheatstonebrug. V_e is de spanningsbron, labels A-D zijn knooppunten, R_1 - R_4 zijn weerstanden en G de galvanometer.

B.2 Praktische uitvoeringen

Een practicumtoestel werd geconstrueerd analoog aan de configuratie van figuur 1, met ingebouwde voeding en nulstroom-indicator, met een vast gemonteerde regelbare weerstand R_4 (potentiometer), en met zelf uit te kiezen en te plaatsen weerstanden R_1 , R_2 , R_3 . De regelbare weerstand kan daarbij veranderd worden van 0 tot 999 Ω in stappen van 1 Ω (*bemerk dat op de draaiknop van de potentiometer de kleinste schaalverdeling 0.2 Ω is, maar hier dien je geen rekening mee te houden: houd stappen van 1 Ω aan als de resolutie*).

Als gelijkspanningsbron gebruik je de bron die aangesloten kan worden op het elektriciteitsnet. In de galvanometerkring is een bijkomende druktoets voorzien die tijdens het meten ingedrukt moet worden.

Nauwkeurigheid van de toestellen.

- Voor dit practicum zijn de gekende (verhoudings-)weerstanden R uniform verdeeld met een nauwkeurigheid ('1 σ fout') van: $\delta R = \frac{s_R}{R} = 0.2\%$ met $s_R = \frac{\Delta_{syst,R}}{\sqrt{12}}$
- De (uniform verdeelde) nauwkeurigheid van de potentiometer R_4 :
 $s_{R4} = 1\%$ **plus** 1 in het kleinste significante cijfer
 (wederom is dit de '1 σ fout': $s_{R4} = \frac{\Delta_{syst,R4}}{\sqrt{12}}$).
 Bijvoorbeeld, $R_4 = 97\Omega$, dan is $s_{R4} = 0.01 \cdot 97\Omega + 1\Omega = 1.97\Omega = 2\Omega$, en $\delta R_4 = 2\%$
- Het zal niet steeds mogelijk zijn de galvanometeruitwijking tot nul te herleiden bij de hoogste gevoeligheid; interpolatie tussen de uitwijkingen links en rechts laat dan toe een cijfer meer af te schatten, maar dat ligt vermoedelijk in het onzekerheidsbereik van de meting.

B.3 De Galvanometer (G)

Een galvanometer is zeer gevoelige stroomindicator. De stroom wordt er door een spoel geleid die in een magnetisch veld draaibaar werd opgehangen. Het resulterend elektromagnetisch koppel draait de spoel over een hoek α tot evenwicht wordt hersteld door het elastisch reactiekoppel van de ophangdraad (i.e. een torsieveer). Aan de hand van een naald en via een gegradeerde schaal kan de stroom worden afgelezen. Bij toepassing in een Wheatstonebrug speelt de hoekuitwijking geen rol aangezien met stroom $I=0$, $\alpha=0$ overeenstemt.

B.4 Kleurcodes van weerstanden.

De weerstandswaarde wordt vaak door middel van een kleurencode weergegeven. Dit zijn 4 of 5 (of zelfs 6) gekleurde banden op de weerstand. De **eerste twee banden** (of eerste drie indien er alles samen vijf of zes banden zijn) geven **een cijfer** weer overeenkomstig de code:

0 = zwart	5 = groen
1 = bruin	6 = blauw
2 = rood	7 = violet
3 = oranje	8 = grijs
4 = geel	9 = wit

De volgende band geeft de macht van tien weer van **een vermenigvuldigingsfactor** in Ohm. Bijvoorbeeld: 'oranje' wil dan zeggen ' $\times 10^3 \Omega$ '. Voor negatieve machten van tien worden hier goud (-1) en zilver (-2) gebruikt.

De laatste band geeft **de tolerantie** (toegelaten afwijking op aangegeven waarde) weer volgens de code. Dit is dus de maat voor de (uniform verdeelde) systematische fout $\Delta_{syst, Ro}$, oftewel,

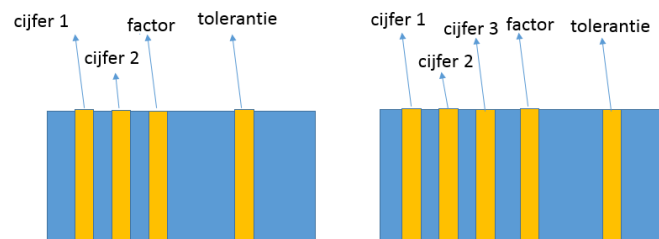
$$\frac{\Delta_{syst, Ro}}{2 R_o} =$$

bruin :	$\pm 1\%$	goud :	$\pm 5\%$
rood :	$\pm 2\%$	zilver :	$\pm 10\%$
GEEN kleur (en dus maar drie banden!) :			$\pm 20\%$

Bijvoorbeeld: geel – violet – rood – goud = $(47 \cdot 10^2 \Omega) \pm 5\%$, dus $(4.7 \pm 0.2)k\Omega$

Welke gekleurde band is 'de eerste' (en staat dus voor de eerste digit) en welke 'de laatste' (en staat dus voor de tolerantie)? Dit is niet altijd heel eenduidig af te lezen op de gebruikte weerstanden. Een paar regels hiervoor zijn:

- Voor kleurencodes met 4 of 5 banden kan het zijn dat er tussen de weerstandswaarde en de tolerantie een grotere afstand zit, als volgt:

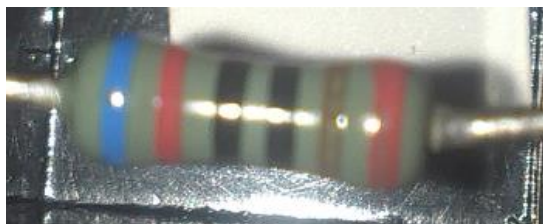


- Het kan ook zijn dat 1 van de banden duidelijk dikker is dan de andere. Deze band is dan de laatste band (tolerantie).

N.B.: Er zijn ook weerstanden met 6 kleurenbanden. Deze lees je zoals een 5 kleurenband, en de zesde band geeft informatie over de temperatuurcoëfficiënt (typisch in ppm/K, en dit is een dikke rode band voor de weerstanden gebruikt in dit practicum).

C.1 Voorbereidende opgaven.

1. Analyseer de schakeling in figuur 1 met de wetten van Kirchhoff. Leid vergelijking (1) af, waarbij je aanneemt dat de brug in evenwicht is (i.e. het potentiaalverschil tussen C en D is nul).
2. Wat is de weerstandswaarde (en nauwkeurigheid) van de weerstanden in figuur 2 a en b? Gebruik hiervoor sectie B.4 .



Figuur 2a: Onbekende weerstand 1



Figuur 2b: Onbekende weerstand 2

C.2 Opgaven

Werking van Wheatstonebrug:

1. Maak de schakeling zoals getoond in Figuur 1. Schakel gekende weerstanden op de positie van R1 en R3. Schakel vervolgens een onbekende weerstand X in de positie van R2. Verander de regelbare weerstand R4 zodat de brug van Wheatstone in evenwicht is (i.e. de galvanometer vertoont geen of een zo klein mogelijke uitwijking).

Optimaliseren en gebruik van de Wheatstonebrug:

2. Ga vervolgens na op welke wijze de weerstanden het nauwkeurigst kunnen worden gemeten met het toestel. Hoe beïnvloedt de waarde R1/R3 de **gevoeligheid** en de **nauwkeurigheid**¹ van deze techniek? Voor het laatste zal je de (relatieve) fout op het resultaat (de onbekende weerstand X) moeten berekenen. Je zult zien dat het hierbij voordelig is om de verhoudingsweerstand zo te kiezen, zodat de brug in evenwicht komt bij een zo groot mogelijke waarde van de potentiometer (R4). Waarom? Noteer de bekomen waarde, en let op dat je de juiste nauwkeurigheid (en juiste aantal beduidende cijfers) gebruikt!
3. Bij de opstelling bevindt zich een reeks weerstanden van verschillende types. Bepaal, met een brug naar keuze, de juiste waarde van elk van die weerstanden (en fout op de meting (!)). Vermeld uiteraard ook de code van de weerstand in het verslag. Vergeet niet dat je reeds hebt onderzocht op welke wijze je de weerstand zo nauwkeurig mogelijk kunt bepalen. Gebruik deze nauwkeurigste werkwijze dan ook!
4. Vergelijk de gemeten waarde met de op de weerstand aangegeven kleurcode (en nauwkeurigheid (!)). Zijn ze compatibel met elkaar? **Gebruik hiervoor de hypothese-testen zoals je die gezien hebt in de les!**

¹ Voor de duidelijkheid:

- "Hoe groter de uitwijking bij een kleine verandering van de potentiometer, hoe gevoeliger de techniek".
- "Hoe kleiner de relatieve fout op het eindresultaat (weerstand X), hoe nauwkeuriger de techniek."