

Wallenbergs fysikpris experimentfinal

20 mars 2025

Uppgift 3: Hålla sig i skinnet



Om du någon gång har studerat ledningar i elnätet har du kanske noterat att det sällan förekommer ledare med större diameter än ett par centimeter, och att kablarna ofta är uppdelade i flera tunna ledare, såsom i figur 1. En anledning till detta är att när en växelström leds genom en tillräckligt tjock ledare så leds strömmen endast genom de yttre delarna av ledarens tvärsnittsarea. Detta beror på att variationen i magnetfältet som orsakas av att strömmen växlar polaritet inducerar en motspänning som motverkar strömmen i ledarens kärna. Denna uppgift går ut på att undersöka detta fenomen och bestämma relaterade materialegenskaper för en ståltråd.



Figur 1: Tvärsnitt av en typisk mark-kabel (samt en tändsticksask för skala).

Vid tillräckligt höga frekvenser kan man (förenklat) anta att strömmen är jämnt fördelad inom det så kallade skinndjupet d från ledarens yta, och att ingen ström flödar innanför skinndjupet, såsom illustreras i figur 2. Skinndjupet beror på växelströmmens frekvens f enligt

$$d = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu f}}, \quad (1)$$

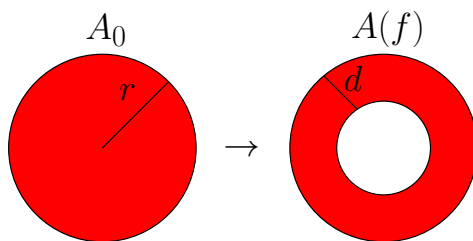
där resistiviteten ρ är ett mått på materialets elektriska ledningsförmåga och permeabiliteten μ är ett mått på materialets förmåga att upprätthålla ett magnetfält. Detta leder till att ledarens resistans beror på frekvensen enligt

$$R = \rho \frac{l}{A(f)}, \quad (2)$$

där l är ledarens längd och $A(f)$ är den strömförande tvärsnittsarean vid frekvens f .

Uppgift: Experimentuppställningen består av en signalgenerator inställd så att den leder en växelström med konstant effektivvärde (Root-Mean-Square eller RMS-värde) $I = 0,14 \text{ A}$ och varierbar frekvens genom en ståltråd. Tråden är även inkopplad till en multimeter som mäter effektivvärdet av spänningen över ståltråden.

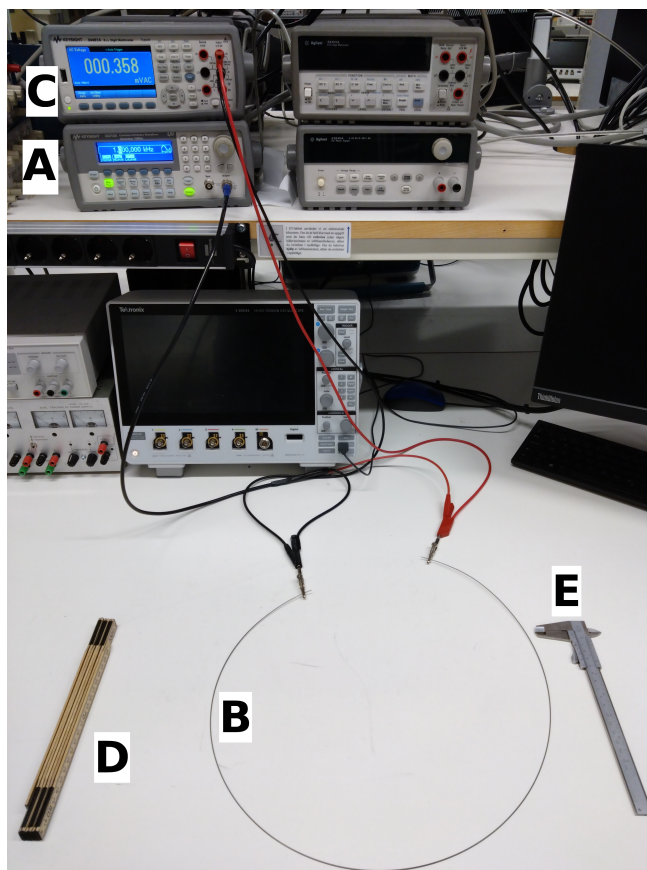
- Mät effektivvärdet U_0 av spänningen över tråden vid frekvensen 100 Hz. Vid denna frekvens kan strömmen antas vara jämt fördelad över hela ledarens tvärsnittsarea. Bestäm utifrån detta trådens resistivitet ρ .
- Finn ett uttryck för d i termer av $U(f)/U_0$ och trådens radie r .
- Ta upp en mätserie över effektivvärdet $U(f)$ av spänningen över tråden som funktion av frekvens i intervallet 3000 – 10000 Hz. Beräkna motsvarande värden på d . Då de senare stegen kräver en del knappande på räknaren räcker det med fem mätpunkter för full poäng.
- Bestäm trådens permeabilitet μ utifrån dina mätdata, förslagsvis med hjälp av en lämpligt linjäriserad graf.



Figur 2: Strömförande tvärsnittsarea (markerad med rött) i en cirkulär ledare, vid låga frekvenser (vänster, betecknad med A_0) och höga frekvenser (höger, betecknad med $A(f)$)

Materiel

- Signalgenerator (A), kopplad och inställd så att den leder en växelström med effektivvärdet 0,14 A genom en ståltråd (B).
- Multimeter (C), kopplad och inställd så att den mäter effektivvärdet av spänningen över ståltråden.
- Tumstock (D).
- Skjutmått (E).



Figur 3: Tillgängligt materiel.

Instruktion till utrustning



Figur 4: Panelen på signalgeneratorn och förklaring till relevanta knappar. Notera att displayen använder decimalpunkt istället för decimalkomma, dvs frekvensen är inställd på 1 kHz på bilden.

OBS! Tryck inte på några av de övertjejpade knapparna. Tryck inte heller på några knappar på multimetern. **Råkar du göra detta så att någon inställning ändras som du inte lyckas återställa, be assistenten om hjälp! Detta ger inte poängavdrag!**