

The 43rd International Physics Olympiad — Experimental Competition

Tartu, Estonia — Thursday, July 19th 2012

- Provet varar i fem timmar. Det innehåller två uppgifter om totalt 20 poäng. Du har tillgång till två bord, i två närliggande bås – ett för varje uppgift (E1 eller E2) – och du kan röra dig fritt mellan dessa bås. **Du får däremot inte flytta någon utrustning mellan båsen.**
- Till att börja med är utrustningen på det ena bordet övertäckt, medan den andra ligger nedpackad i en låda. **Du får varken avtäcka utrustningen eller öppna lådan, och ej heller öppna kuvertet med uppgiftstexten, förrän ljudsignalen indikerar starten på tävlingen (tre korta signaler)**
- **Du får inte lämna din arbetsplats utan tillstånd.** Behöver du hjälp, t.ex. med trasig utrustning eller miniräknare, eller besöka toaletten, vifta då med någon av flaggorna (“help” eller “toilet”) ovanför skrivplatsens väggar till dess assistans anländer.
- Använd bara framsidan av varje ark
- Till varje uppgift finns **särskilda lösningsark** som är märkta och numrerade i överkanten. Arken ska användas i nummerordning. **Ange alltid vilken problemdel och fråga det gäller.** Kopiera dina svar till resp. rutor på svarsarken. Det finns även arbetsark (kladdpapper) för sådant du inte vill ha bedömt. Finns beräkningar på lösningsarken som du inte heller vill ha bedömda kan du korsa över dessa.
- När du behöver extra papper är det bara att vifta med **help**-flaggan och sedan ange vilken uppgift det gäller, så får du två nya ark.
- På lösningsarken ska du skriva ner det du tycker behövs för att man ska kunna förstå din lösning. Du ska använda **så lite text som möjligt** och främst redovisa med ekvationer, tal, symboler och diagram.
- Eftersom laserexperimenten lätt störs av vibrationer, bör du undvika onödiga rörelser. Ta även hänsyn till dina grannar.
- Undvik att titta direkt in i laserstrålen eller dess reflexer.
- En enkel ljudsignal indikerar att 30 min av tiden återstår; därefter kommer en dubbel ljudsignal när 5 min återstår och en trippelsignal indikerar att skrivtiden är slut. **Nu måste du omedelbart sluta** och lägga alla dina papper i kuvertet. **Du får inte ta med några papper (eller någon utrustning) ur rummet.** Är du färdig tidigare är det bara att vifta med någon flagga.

Problem E1. Magnetiska permeabiliteten för vatten (10 poäng)

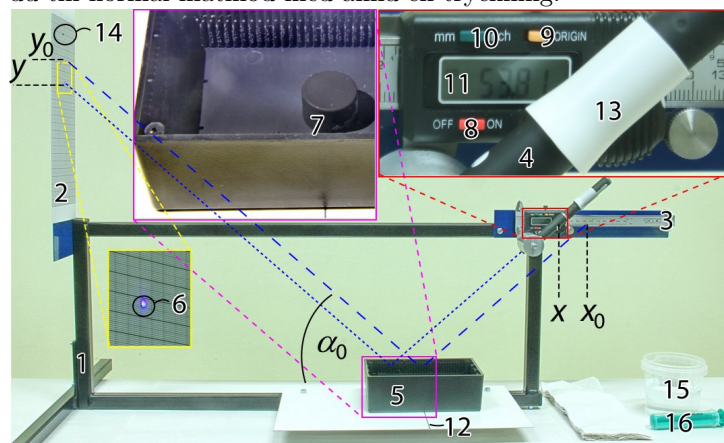
Ämnen som inte är ferromagnetiska påverkas ganska lite av magnetiska fält, vilket beror att energitätheten för sådana ämnen ges av $w = \frac{1}{2\mu\mu_0} B^2$ där relativa magnetiska permeabiliteten μ är mycket nära 1. Denna påverkan kan ändå påvisas och i denna uppgift ska vi studera hur en permanentmagnet av neodym påverkar vatten och beräkna magnetiska permeabiliteten för vatten. **Du behöver inte uppskatta mätvärdenas noggrannhet i denna uppgift och inte heller ta hänsyn till ytpänningen.**

Uppställningen består av **1** stativ (de färgade siffrorna återfinns i figuren), **3** digitalt skjutmått, **4** laserpekare, **5** skål med vatten i vilken ligger en **7** cylinderformad permanentmagnet (magneten är axiellt magnetiserad). Skålen hålls fast i underlaget av magneten. Laserpekaren sitter fast vid skjutmättet, som i sin tur är fäst vid stativet. Skjutmättet tillåter horisontell förflyttning av laserpekaren. Medelst den vita koniska plastslangen **13** kan laserpekarens on-off knapp hållas intryckt.

Vattenytan bör ligga cirka 1 mm över magnetens översida, ty med kortare avstånd blir ytan såpass påverkad att avläsningar försvåras.

Bägaren med vatten **15** och sprutan **16** kan användas för att justera vattennivån. (en ökning av nivån med 1 mm, kräver 13 ml vatten). Millimeterpapperet **2** ("skärmen") ska fästas på den vertikala plattan med de magnetiska plupporna **14**. Skulle laserfläcken upplevas utsmetad kan det ha hamnat damm på vattenytan. Prova då att blåsa bort dammet.

Övriga utensilier har följande beteckningar: **6** punkten där laserljuset träffar skärmen; **11** skjutmättets LCD-display, **10** reglaget för att växla mellan mm och tum; **8** on-off knappen; **9** nollställning av skjutmättet. Den undre gula knappen ger en temporär nollställning. Skulle du råka trycka på den återgår du till normal mätmod med ännu en tryckning.



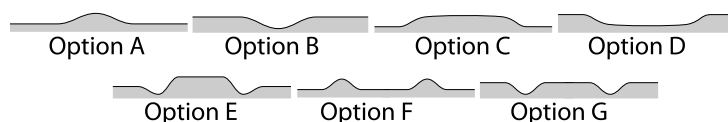
Numeriska värden för dina beräkningar: **Horisontellt avstånd** mellan magnetens centrum och skärmen $L_0 = 490$ mm. Kontrollera (och justera vid behov) att magnetens vertikala axel skär den svarta linjen **12** på bottenplattan och att laserstrålen också skär magnetens vertikala axel. **Magnetiska fältstyrkan** vid magnetens vertikala axel på höjden 1 mm from över magnetens övre yta $B_0 = 0.50$ T; **densiten för vatten** $\rho_w = 1000$ kg/m³; **tyngdaccelerationen** $g = 9.8$ m/s²; **vakuump permeabiliteten** $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m.

WARNINGS:

- ◇ **Rör inte laserpekaren; den är förinställd!**
- ◇ **Se inte in i laserljuset eller på reflexer från vattnet!**
- ◇ **Rör inte neodymmagneten!**
- ◇ **Placera inte ferromagnetiska material nära neodymmagneten!**
- ◇ **Spar på batteriet (tål ca 1 h) genom att stänga av laserpekaren när den inte används!**

Part A. Kvalitativ form på vattenytan (1 poäng)

Permanentmagneten påverkar vattenytan så den kröks en smula ovanför magneten. Avgör om vatten är diamagnetiskt ($\mu < 1$) eller paramagnetiskt ($\mu > 1$).



Redovisa ditt val på svarsblanketten tillsammans med någon av olikheterna $\mu > 1$ or $\mu < 1$. **Du behöver inte motivera ditt val.**

Part B. Exakt form på vattenytan (7 poäng)

Vattenytans krökning kan studeras med stor noggrannhet, medelst laserljusets reflexion i vattenytan. Därigenom kan vi erhålla ett samband mellan vattennivån ovan magneten och horisontell position.

- i. (1.6 p) Mät höjden på laserfläcken på skärmen y som funktion av skjutmättets avläsning x (se figur). Du ska utnyttja hela skjutmättets område. För in dina mätresultat på svarsblanketten.
- ii. (0.7 p) Rita en graf som åskådliggör sambandet mellan höjden på laserfläcken på skärmen och skjutmättets avläsning.
- iii. (0.7 p) Använd grafen för att bestämma infallsvinkeln α_0 mellan laserstrålen och den horisontella vattenytan.
- iv. (1.4 p) Notera att $\tan \beta$ kan skrivas som:

$$\tan \beta \approx \beta \approx \frac{\cos^2 \alpha_0}{2} \cdot \frac{y - y_0 - (x - x_0) \tan \alpha_0}{L_0 + x - x_0},$$

där y_0 är höjden på laserfläcken på skärmen när laserstrålen reflekterats från vattenytan ovan magnetens vertikala axel och positionen x_0 hos skjutmättet.

Beräkna värdena för vattenytans lutning och redovisa dem i tabellen på svarsarket. Notera att du kan ersätta vissa uttryck med avläsningar från den sista grafen i föregående uppgift.

- v. (1.6 p) Beräkna höjden på vattenytan ovan magneten jämfört med höjden långt ifrån magneten som funktion av x och redovisa i tabellen på svarsarket.
- vi. (1 p) Rita en graf som åskådliggör detta samband, och markera området som visar magnetens påverkan på vattenytan.

Part C. Magnetisk permeabilitet (2 poäng)

Beräkna med hjälp av resultaten i delfråga B värdet av $\mu - 1$ (den s.k. *magnetiska susceptibiliteten*), där μ är den magnetiska permeabiliteten för vatten. För in ditt uttryck och ditt numeriska resultat på svarsarket.

PROBLEM

Problem E2



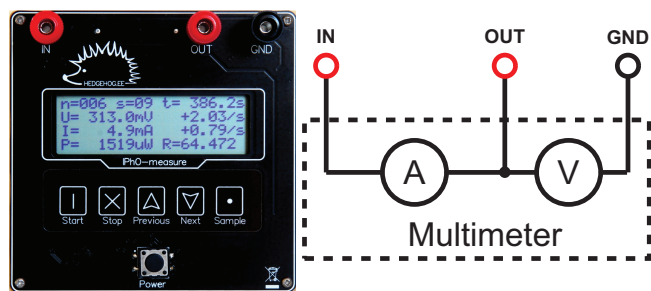
Problem E2. Ickelinjär svart låda (10 poäng)

I enklare problem antar man vanligen att elektriska kretsar består av linjära komponenter, där olika elektriska storheter är direkt proportionella mot varandra. Vanliga exempel är resistans ($V = RI$), kapacitans ($Q = CV$) och induktans ($V = LI$), där R , C och L är konstanter.

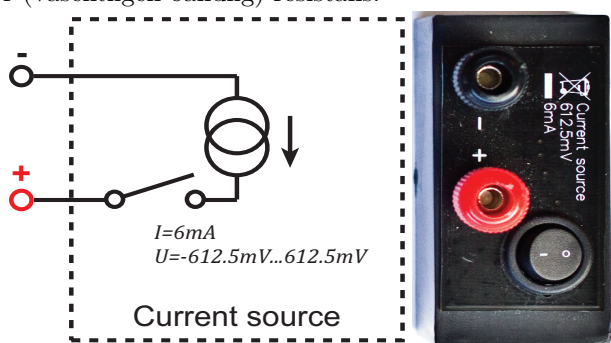
I denna uppgift ska vi i stället undersöka en krets – inkapslad i en svart låda – med icke-linjära komponenter, där antagandet om proportionalitet inte längre håller.

Uppställningen består av en **multimeter** (märkt “IPhO-measure”), en **strömkälla** (märkt “Current source”), en **svart låda** (märkt “Black box”) med icke-linjära komponenter, samt fyra hopkopplingsbara testkablar för att göra önskade kopplingar. Var noga med att inte bryta sigillett på den svarta lådan.

Multimetern kan mäta strömstyrka och spänning samtidigt. Med den kan man registrera upp till 2000 datapunkter, som vardera består av: spänning V , ström I , effekt $P = IV$, resistans $R = V/I$, spänningens tidsderivata $\dot{V}$, strömmens tidsderivata $\dot{I}$, samt tid t . Se multimeters manual för detaljer. Tänk på att om du överskrider 2000 mätdatapunkter kommer du att skriva över de mätdatapunkter som är äldst.

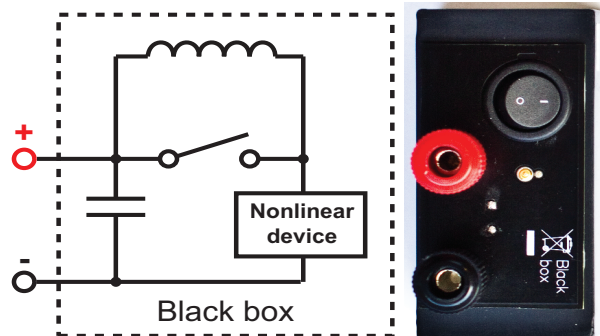


Strömkällan för konstant ström ger en stabil strömstyrka så länge spänningen över dess utgång håller sig i området mellan -0.6125 V och 0.6125 V . I avstängt läge uppför den sig som en stor (väsentligen oändlig) resistans.



Den svarta lådan innehåller en s.k. dubbellagers-kondensator (som är en något icke-linjär kondensator med hög kapacitans), en okänd icke-linjär komponent, samt en spole med induktansen $L = 10\text{ }\mu\text{H}$ med försumbar resistans, inkopplingsbar enligt kretsdiagrammet. Den icke-linjära komponenten kan betraktas som en resistor med ett icke-linjärt samband mellan spänning och ström [I är en kontinuerlig funktion av V där $I(0) = 0$]. På samma sätt är kondensatorns differentiella kapacitans $C(V) = dQ/dV$ inte helt konstant. **Vi definierar spänningen över kondensatorn som positiv när potentialen vid den röda anslutningspunkten är högre än vid den svarta. Positiv spänning fås när den svarta lådan**

ansluts till strömkällan så att anslutningspunkter med samma färg kopplas ihop. (Du får använda negativa spänningar.)



En säker metod för att ladda ur kondensatorn är att kortsluta dess ingångar, antingen direkt med varandra eller genom ingångarna *IN* och *OUT* på multimetern: den inre resistansen hos denna är tillräckligt stor för att förhindra för starka strömmar.

Du förväntas inte uppskatta några osäkerheter i denna uppgift.

Part A. Krets utan spole (7 poäng)

I denna deluppgift ska den svarta lådans omkopplare hållas i slutet läge (tryck ned “I”), så att spolen kortsluts.

Notera att vissa mätningar kan ta avsevärd tid; läs därför först noga igenom texten till hela deluppgift A för att undvika onödigt arbete.

- (1 p) Visa att strömkällans strömstyrka är ungefär 6 mA , och bestäm det intervall inom vilket strömstyrkan varierar, för spänningar mellan 0 och $+480\text{ mV}$. Redovisa ditt kopplingsschema.
- (1,2 p) Visa att den differentiella kapacitansen hos den svarta lådan är ungefär 2 F , genom att mäta dess värde för en valfri spänning V_0 , $C(V_0) = C_0$. Redovisa kopplingsschema.
- (2,2 p) Försumma icke-linjariteten hos kondensatorn kapacitans [$C(V) \approx C_0$], och bestäm sambandet mellan ström och spänning hos den okända icke-linjära komponent som används i den svarta lådan. Plotta den svarta lådans $I(V)$ -kurva på svarsarket, för det intervall av positiva spänningar som kan uppnås över denna. Redovisa kopplingsschema.
- (2,6 p) Gör mätningar över hela området av möjliga spänningar över den svarta lådan. Beräkna sedan $C(V)$ för de positiva spänningarna, och plotta på svarsarket. Ange det minsta resp största värdet på den differentiella kapacitansen, $C_{\min}$, $C_{\max}$. Redovisa kopplingsschemat.

Part B. Krets med spole (3 poäng)

Koppla in spolen med hjälp av omställaren på den svarta lådan (tryck ned “0”).

Använd samma metod som i punkt A-iii, för att mäta och plotta ström-spännings-sambandet för den icke-linjära komponenten. Beskriv de viktigaste skillnaderna mellan kurvorna i del A och B, och ge förslag på förklaring med kvalitativa argument.

Här behöver du veta att den icke-linjära komponenten i själva verket också har en kapacitans (cirka 1 nF), parallellkopplad med dess icke-linjära resistans.

PROBLEM

Problem E2



"IPhO-measure": kortfattad bruksanvisning

IPhO-measure är en multimeter som kan användas för att samtidigt mäta spänning V och strömstyrka I . Den visar också deras tidsderivata, $\dot{V}$ och $\dot{I}$, produkten $P = VI$, kvoten $R = V/I$, och tiden t då mätningen gjordes. Mätdata lagras i olika mätserier; varje mätning får ett serienummer s och ett nummer n inom serien. Alla sparade mätningar lagras i ett internt minne, och kan plockas fram när du vill komma åt dem.

Funktion

Multimetern fungerar som en ampèremeter och en voltmeter som kopplats samman enligt nedan.

	Område	Inre resistans
Voltmeter	0...2 V	1 M Ω
Voltmeter	2...10 V	57 k Ω
Ammeter	0...1 A	1 Ω

Grundläggande instruktioner

- Tryck på "POWER" för att sätta på multimetern *IPhO-measure*.
- För att hoppa till mätningar du redan gjort (oavsett vilken mätserie de hör till) ska du trycka på "PREVIOUS" eller "NEXT". Håll knappen nedtryckt länge för att direkt hoppa till intilliggande mätserie.
- Tryck på "START" när du slutar en mätserie så kommer nästa mätning att automatiskt starta en ny mätserie.
- Tryck på "Sample" för att spara mätdata när du mäter (de mätdata som då visas lagras).
- Medan du mäter kan du samtidigt titta på tidigare mätningar som du gjort i samma mätserie, använd även då "PREVIOUS" och "NEXT".
- Tryck på "STOP" för att avsluta en mätserie och sluta mäta.
- Om du trycker på "POWER" stänger du av instrumentet. De mätdata du lagrat kommer inte att raderas.

Display



För varje mätning visas i fönstret nio variabler:

- ett index n som mätningen har i mätserien;
- ett index s som visar aktuell mätserie;
- tiden t som gått sedan mätserien startade;
- vad voltmeteren visar V ;
- förändringshastigheten för V (tidsderivatan $\dot{V}$); om derivatan inte kan ges ett tillförlitligt värde p g a för snabba fluktuationer visas "+nan/s";
- vad ampèremeteren visar I ;
- förändringshastigheten för I (tidsderivatan $\dot{I}$); om derivatan inte kan ges ett tillförlitligt värde p g a för snabba fluktuationer visas "+nan/s";
- produkten $P = VI$;
- kvoten $R = V/I$.

Om något mätvärde ligger utanför tillåtet mätområde visas "+inf" eller "-inf".

Problem E1

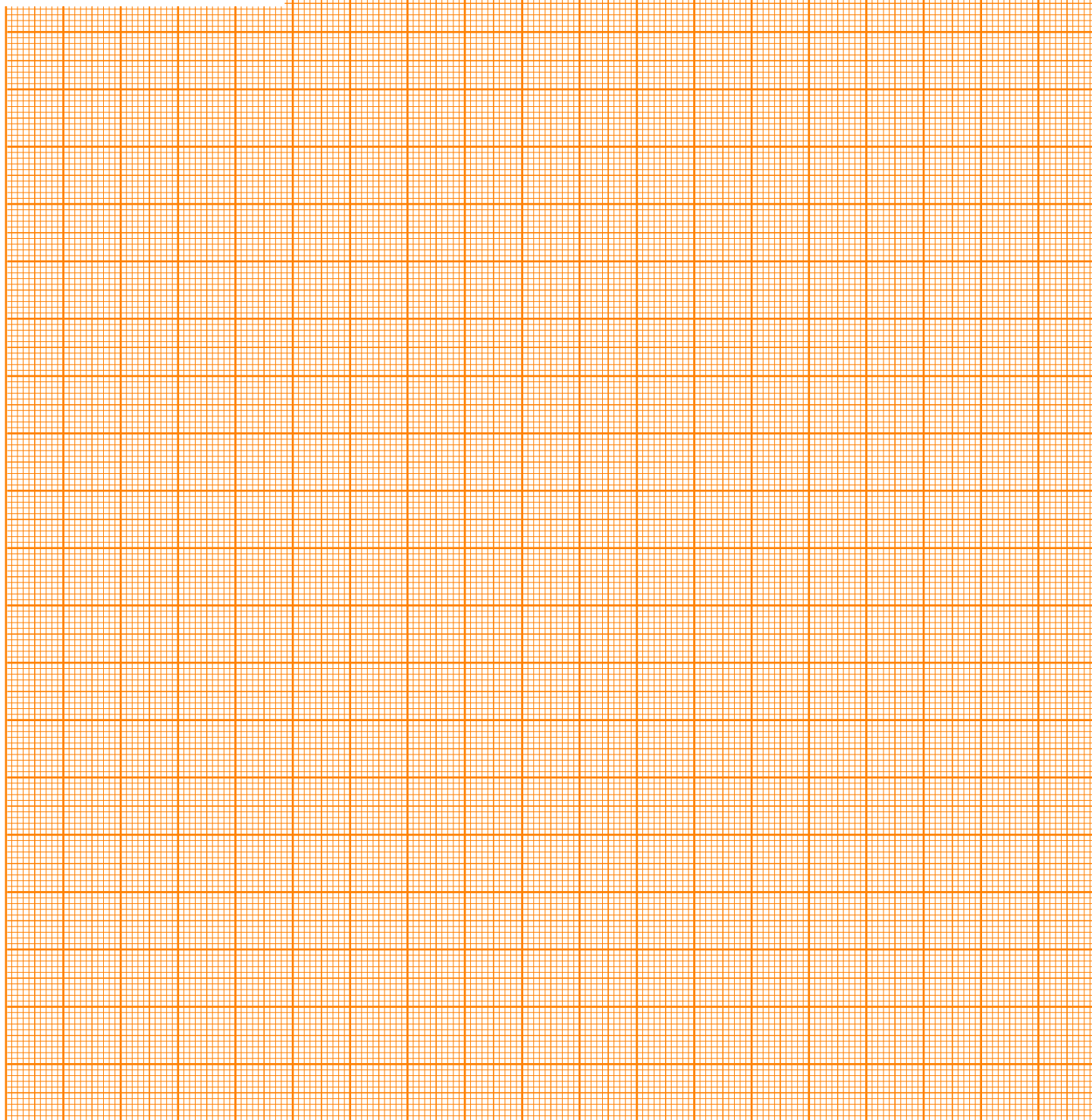


Detta motsvarar att $\mu \dots\dots 1$.

[illegible]



ii. (0,7 p) Graf: y som funktion av x



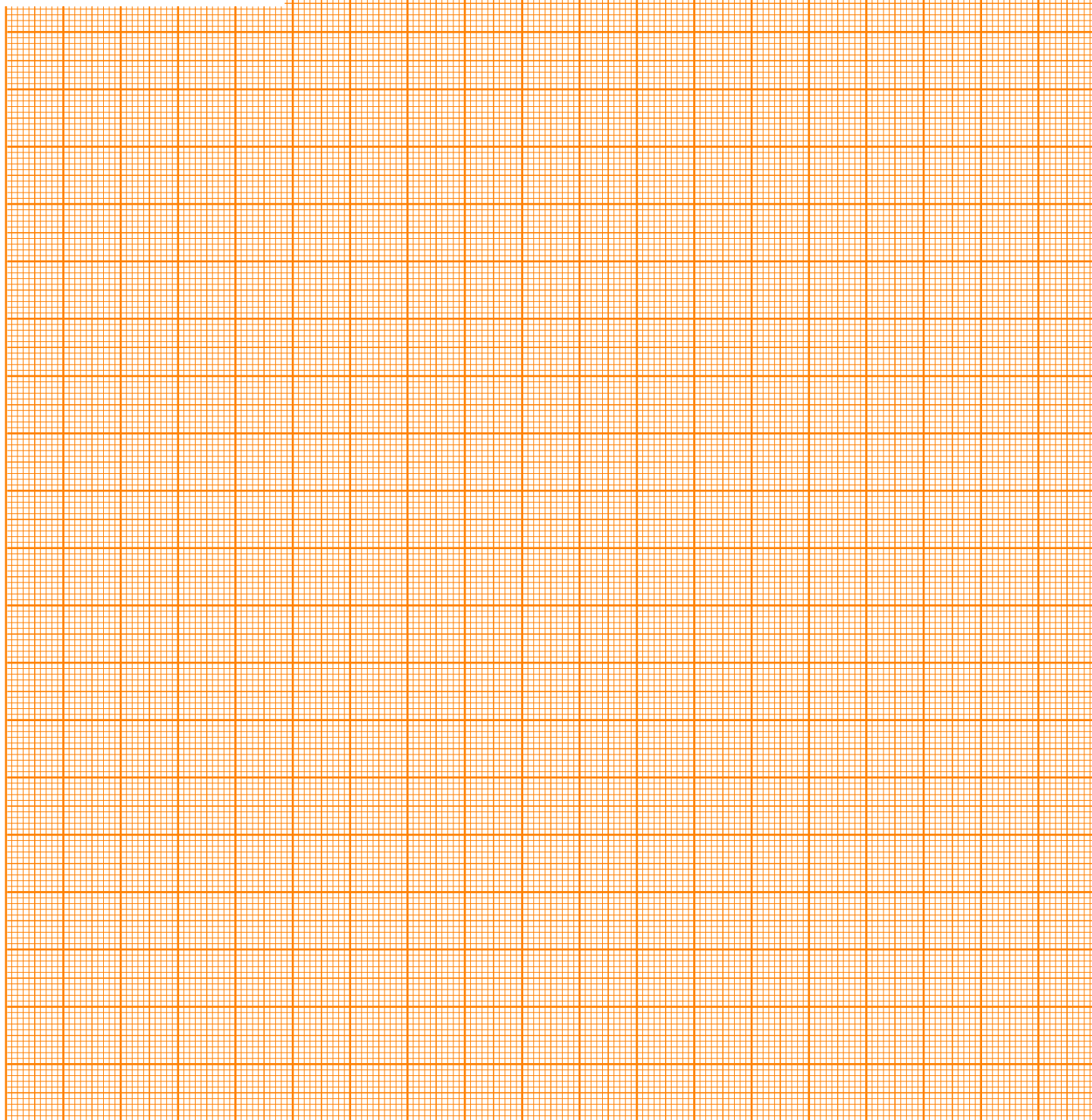
iii. (0,7 p) $\alpha_0 =$

iv. (1,4 p) Använd den fjärde kolumnen i tabellen i deluppgift i.

v. (1,6 p) Använd den sjunde kolumnen i tabellen i deluppgift i.



vi. (1 p) Graf: h som funktion av x



Part C. Magnetisk permeabilitet (2 poäng)

Formel: $\mu - 1 =$

Värde: $\mu - 1 =$

ANSWER SHEET

Problem E2



Problem E2. Icke-linjär svart låda (20 poäng)

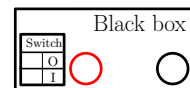
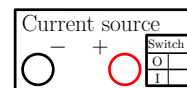
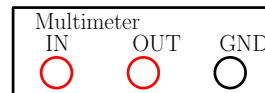
Part A. Krets utan spole (7 poäng)

i. (1 p) Minimal och maximal ström:

$$I_{\min} =$$

$$I_{\max} =$$

Kopplingsschema (rita också in var omställarna finns):

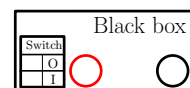
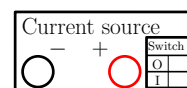
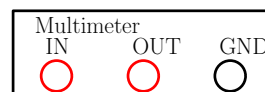


ii. (1,2 p)

$$V_0 =$$

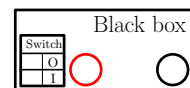
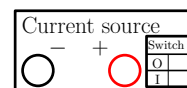
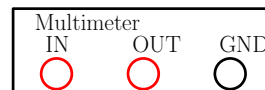
$$C_0 =$$

Kopplingsschema (rita också in var omställarna finns):



iii. (2,2 p)

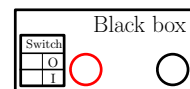
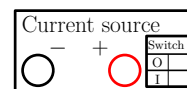
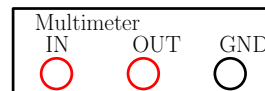
Kopplingsschema som använts för att få fram $I(V)$ (rita också in var omställarna finns):



Skriv i tabellen på nästa sida upp värden på $I(V)$ och de mellanled som behövs. (Använd bara det antal kolumner som behövs.)
Plotta motsvarande graf på sida 6.

iv. (2,6 p)

Kopplingsschema som använts för att få fram $C(V)$ (rita också in var omställarna finns):

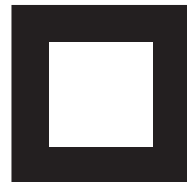


Skriv i tabellen på nästa sida upp värden på $C(V)$ och de mellanled som behövs. (Använd bara det antal kolumner som behövs.) Plotta motsvarande graf på sida 7.

$$C_{\min} =$$

$$C_{\max} =$$

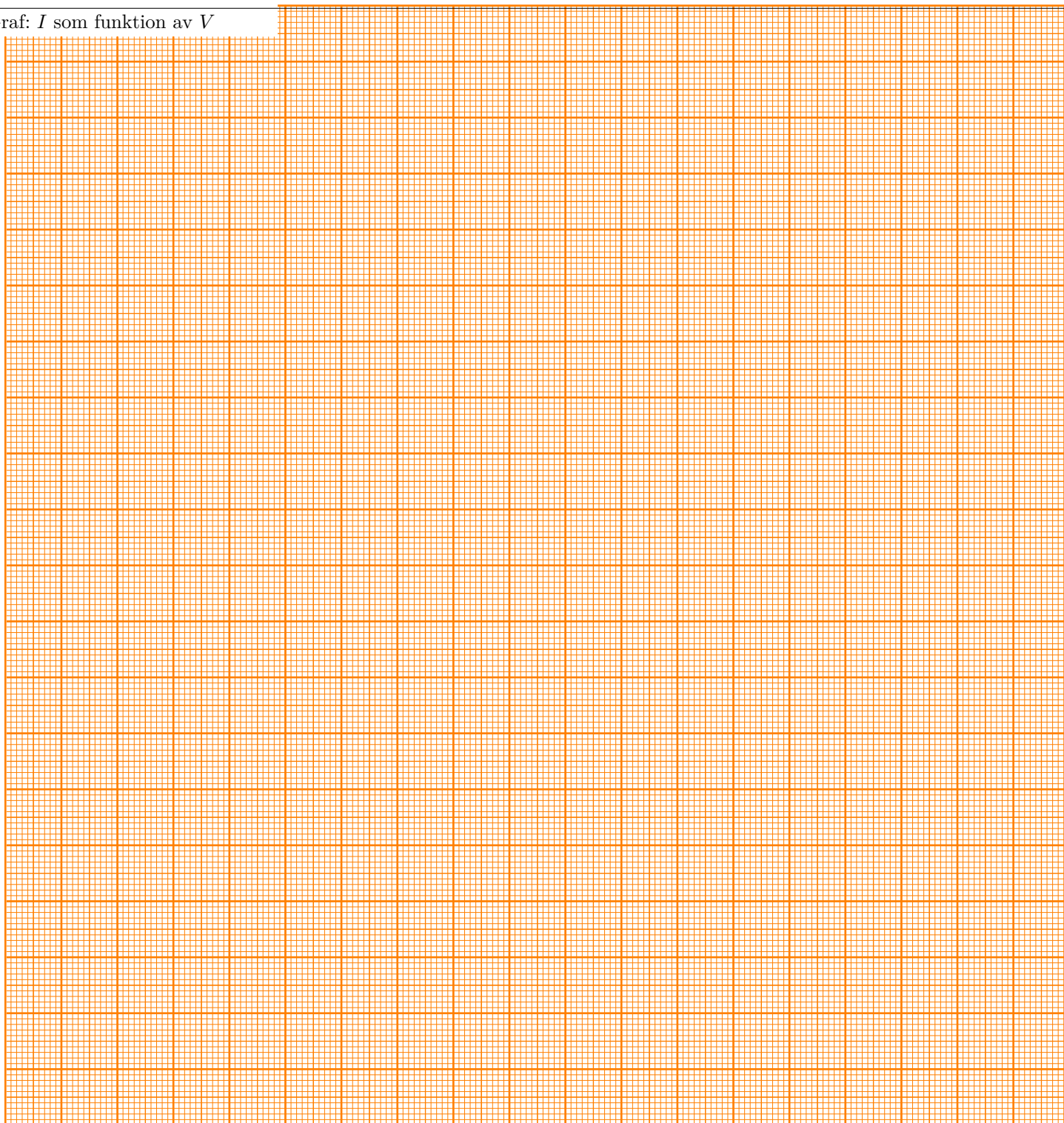
Problem E2



— page 5 of 9 —

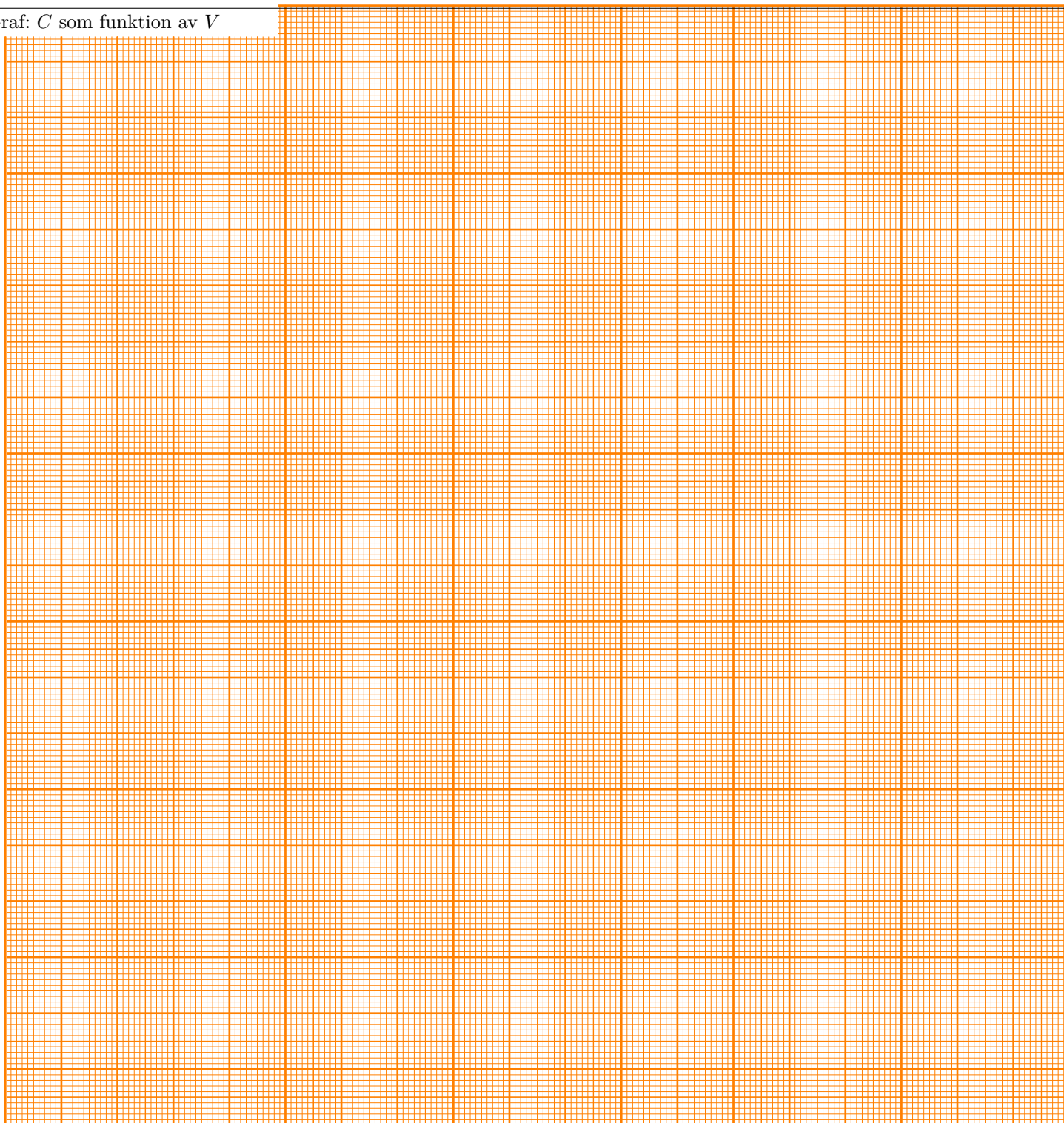


Graf: I som funktion av V

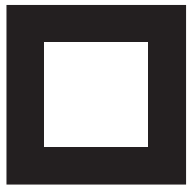


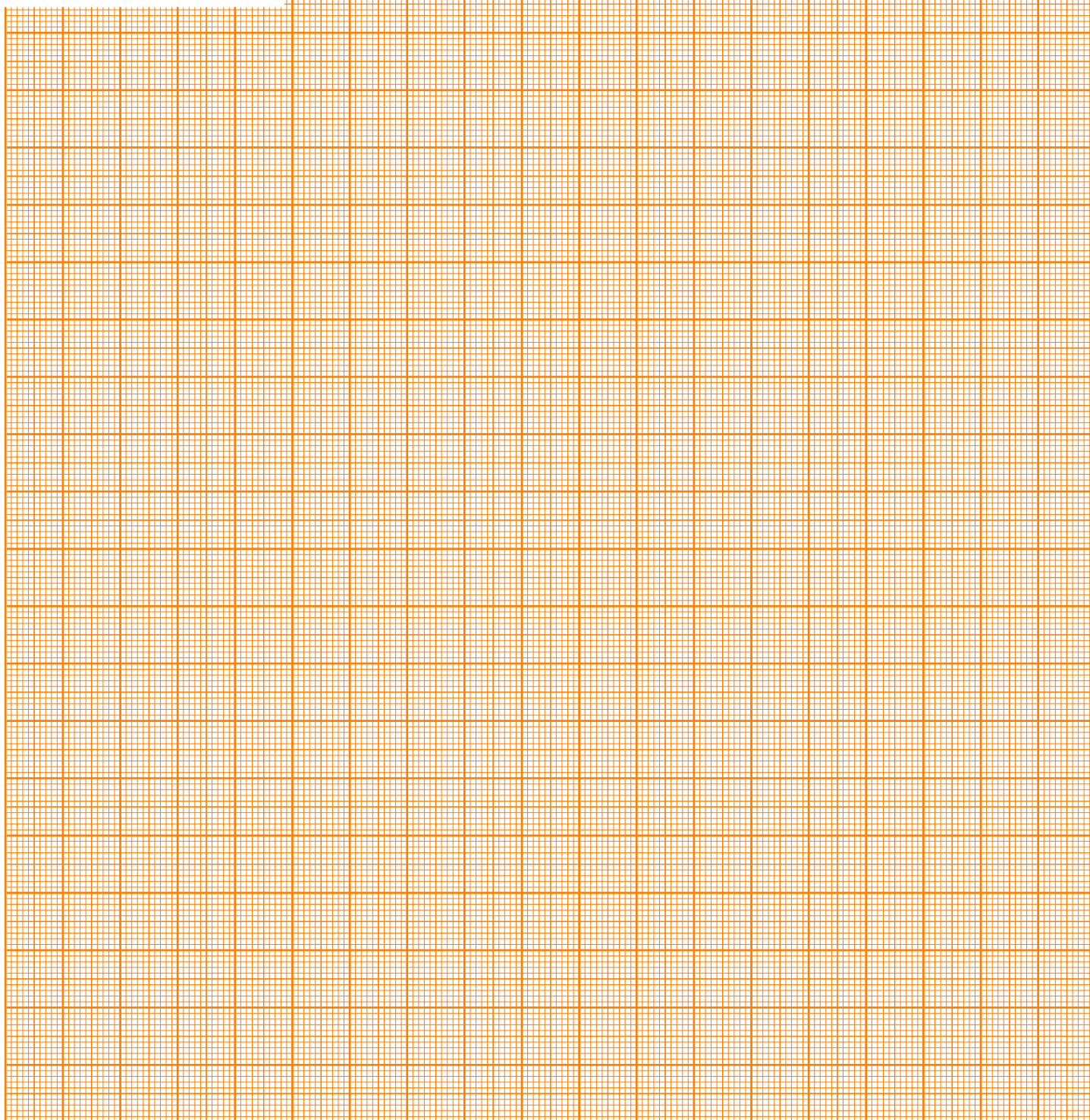


Graf: C som funktion av V



Problem E2

[illegible]

Graf: I som funktion av V 

Förklaring till dessa skillnader:

Kurvorna för del A och B skiljer sig avsevärt åt då:

Villkor för V	
Villkor för $I(V)$ från del A	