

Laborations-PM: Mätteknik för kemitekniker

Målsättning:

- Att lära dig hantera digitala instrument för ström, spänning och resistansmätning.
- Att lära dig ta reda på vilka begränsningar och mätosäkerheter som instrumenten har.
- Att lära känna temperaturgivarna Pt-100 och termistor
- Att lära känna en Wheatstonebrygga.
- Att mäta upp gränshfrekvensen för ett lågpasfilter

Datablad för multimetrarna finns på sid. 13–22.

Bilder på de instrument som skall användas finns på sid. 22–24

1 Inledning

Inom mättekniken gäller ett gammalt ordspråk “Att mäta är att veta”. Det svåra är inte att avläsa ett mätvärde, utan att tolka vad det visar och avgöra om det är rimligt. Det avlästa mätvärdet är endast en uppskattning av “det sanna värdet”. Det är du som till sist skall bestämma ett intervall som innehåller *det sanna värdet* så långt som är möjligt med hjälp av en mätosäkerhetsanalys.

1.1 Mätosäkerhet

Varje mätning är behäftad med ett antal felkällor. Det kan vara systematiska fel (kallas fel av typ B) hos instrumenten, eller störningar, eller annan yttre påverkan. De maximala systematiska osäkerheterna kan vara enkla att beräkna, åtminstone i de fall då de specificeras i datablad av instrumenttillverkarna.

Då det för digitala multimetrar ej finns någon norm, är det upp till fabrikanterna att göra upp en egen mall för osäkerhetsspecifikation. De flesta anger emellertid osäkerhet enligt följande uttryck:

$$\text{mätosäkerhet} = \pm (\% \text{ av avläst värde} + n \text{ enheter})$$

där n står för antalet enheter i sista siffran (minst signifikanta). Detta värde kan också anges som en procentuell del av mätområdet upplösning. Antag att du mäter en likspänning med en digital multimeter där tillverkaren uppger följande för ifrågavarande mätområde:

mätosäkerheten = $\pm (0,02 + 5)$. Låt oss antaga att du har läst av värdet till 5,012 V. Som synes har du mätt med en upplösning av 1 mV (en enhet i den minst signifikanta siffran).

$$\begin{aligned} 0,02 \% \text{ av avläst värde} &= 1 \text{ mV} \\ n \text{ enheter} \cdot \text{upplösningen} &= 5 \text{ mV} \\ \hline \text{Osäkerheten} &= \pm 6 \text{ mV} \end{aligned}$$

På sidorna 13–15 i detta labb-PM finns utdrag ur FLUKE 75:ans manual. Studera den av tillverkaren angivna osäkerheten för aktuellt mätområde. Beräkna härur värdet på den maximala systematiska osäkerheten, när man mäter på en **2 V likspänning**.

FLUKE modell 75: mV

2 Spänningsmätning

2.1 Ersättningsresistans

För att förenkla kretsar kan man räkna ut ersättningsresistanser med hjälp av ett par enkla regler. Två resistanser, R_1 och R_2 , kopplade i serie kan ersättas med en resistans R_{tot} :

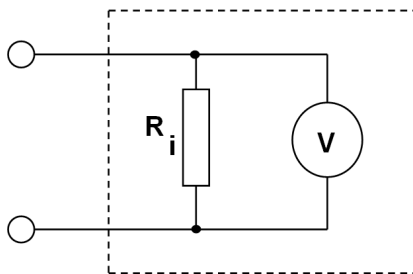
$$R_{tot} = R_1 + R_2 \quad (1)$$

och för två parallellkopplade resistanser R_1 och R_2 fås:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{alternativt} \quad R_{tot} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

2.2 Ingångsimpedans

En voltmeter kan betraktas som en tvåpol sett från mätobjektet enligt Figur 1. För en digital voltmeter representerar symbolen **V** en ingångsförstärkare, A/D-omvandlare, presentationsenhet etc. Motståndet R_i symboliserar mätinstrumentets inre resistans. Denna resistans kommer vid en spänningsmätning att ligga parallellt över mätkretsen, vilket kan åstadkomma ett belastningsfel. Storleken på R_i brukar för digitala multimetrar vara cirka 10 M Ω eller högre.



Figur 1: Ekvivalent krets för en voltmeter

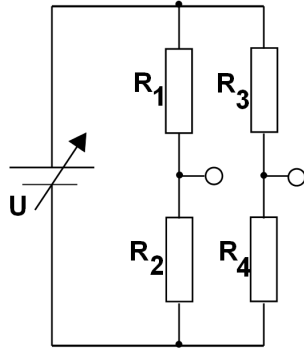
Mätuppgift 1: Mätning på resistansstege

Vi skall nu testa hur ett instruments **ingångsimpedans kan påverka mätobjektet** i en enkel mätuppställning.

- Koppla upp nedanstående resistansstege på kopplingsplattan se Figur 2.
 $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ $R_3 = R_4 = 4,7 \text{ M}\Omega$
- Välj matningsspänningen $U = 10 \text{ V}$. Mät upp denna med FLUKE 75

$U = \dots \pm \dots \text{V}$

- Mät med FLUKE 75 spänningen över de olika resistanserna. Anteckna i Tabell 1 uppmätta och beräknade värden på spänningarna i de olika mätpunkterna. Obs!! Du måste vid de teoretiska beräkningarna ta **hänsyn** till mätinstrumentets **inre resistans** (se datablad för FLUKE 75 sid. 14).



Figur 2: Resistansstege

Ledning: Vi tittar på fallet då voltmeteren är kopplad över R_1 . Denna parallellkoppling ger då den ekvivalenta resistansen

$$R_e = \frac{R_1 \cdot R_i}{R_1 + R_i} \quad (3)$$

där R_i är voltmeterens inre resistans på $10 \text{ M}\Omega$. Vi vet att strömmen i går genom både R_e och R_2 och med hjälp av Ohms lag får vi:

$$i = \frac{U}{R_e + R_2} \quad (4)$$

Vi beräknar spänningen över R_1 (egentligen den ekvivalenta resistansen R_e), som fås med hjälp av spänningsdelning

$$U_{R1} = U_{Re} = R_e \cdot i = R_e \cdot \frac{U}{R_e + R_2} \quad (5)$$

Dessutom vet vi att $U = 10 \text{ V}$. Med hjälp av detta kan vi räkna ut U_1 och med samma resonemang kunna räkna ut de andra spänningarna som kommer att mätas upp när voltmeteren är kopplad till dem.

Tabell 1: Spänningsmätning på resistansstege.

Uppmätt spänning över: (V)	Beräknad spänning över: (V)	Uppmätt spänning över: (V)	Beräknad spänning över: (V)
R_1	R_1	R_2	R_2
R_3	R_3	R_4	R_4

Spänningen är nu mätt över samtliga resistorer samt den totala matningsspänningen. Lägg ihop:

De uppmätta spänningarna över $R_1 + R_2 = \dots \pm \dots \text{ V}$

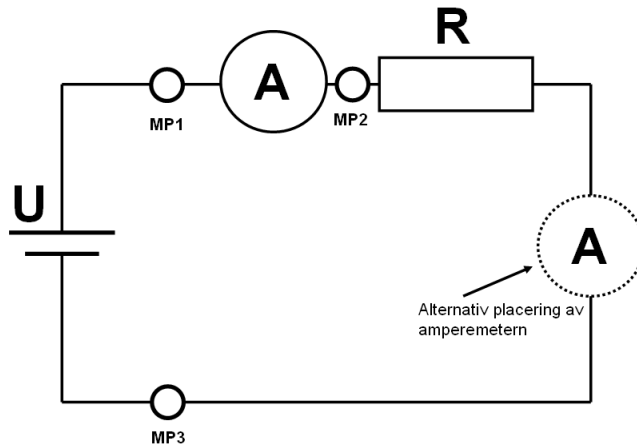
De uppmätta spänningarna över $R_3 + R_4 = \dots \pm \dots \text{ V}$

Försök förklara eventuella avvikelser jämfört med den ovan mätta matningsspänningen U .

.....

3 Strömmätning

En amperemeter (A-meter) kan betraktas som en tvåpol sett från mätobjektet. Men till skillnad från voltmeter som kopplades parallellt med mätobjektet lägger man en A-meter i serie med kretsen. Ett exempel på inkoppling ser du i Figur 3. Om du kopplar in A-metern före eller efter R har ingen betydelse.



Figur 3: Inkoppling av en A-meter för strömmätning. (MP står för mätpunkt!)

3.1 A-meters inverkan i kretsen

Mätuppgift 2: Visa A-meters inverkan i kretsen

Koppla nu upp kretsen enligt Figur 3 med A-metern mellan MP1 och MP2. Använd FLUKE 75 som amperemeter och som R motståndskedjen Metrel. Ställ in kedjen på 90Ω . Mätuppgiften består sedan av att man skall mäta spänningen över R . Enligt schemat kan man koppla in sin voltmeter på två olika sätt: MP1–MP3 eller MP2–MP3. Som spänningskälla använder ni BoSN17 inställt på 20 V. Mät sedan upp med hjälp av digitalmultimetern HP34401A spänningarna:

Spänningen MP1–MP3 \pm V (se sid. 17)

Spänningen MP2–MP3 \pm V (se sid. 17)

Strömmen i kretsen då voltmeter är inkopplad mellan MP2–MP3 \pm mA

(mätosäkerheten för strömmen hos FLUKE 75 finner du på sid. 14)

Hur stor är det inre motståndet i A-metern på 300 mA området? Ω

(Se labb-PM sid 14. Anges som mV/mA, vilket kan omräknas till den efterfrågade resistansen)

Verkar skillnaden mellan de två spänningsmätningarna bero på den extra resistans som finns med i kretsen?

.....

Beräkna effektutvecklingen i 90Ω :s motståndet med hjälp av Ekvation (6), samt bestäm osäkerheten i effekten P :

$$P = U \cdot I \tag{6}$$

$$P = \dots \pm \dots \text{ mW}$$

Mätosäkerheten i P består utav de osäkerheter som finns i U respektive I . Då man inte vet om det uppmätta värdet är större eller mindre än det sanna anges mätosäkerheten som; \pm ett värde i procent eller annan enhet.

I vårt exempel på första sidan angavs instrumentmätosäkerheten som \pm (någonting). Då vi ej vet tecknet på mätosäkerheterna i U och I måste vi bestämma det största respektive minsta värdet inom vilket vår beräknade effekt kan tänkas ligga. Det är den så kallade **min/max-metoden**.

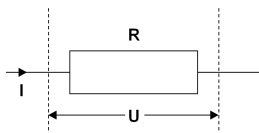
Vi beräknar den maximala respektive minimala effekten enligt mätosäkerheterna. Om vi sedan tar skillnaden mellan dessa och dividerar med 2 får vi fram mätosäkerheten i P enligt formeln.

$$\pm \Delta P = \frac{P_{max} - P_{min}}{2} = \pm \frac{(U + \Delta U) \cdot (I + \Delta I) - (U - \Delta U) \cdot (I - \Delta I)}{2} \quad (7)$$

4 Mätning av resistans

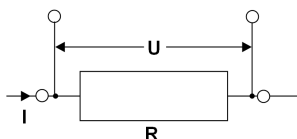
Begreppet resistans hos en komponent definieras genom Ohms lag

$$R = \frac{U}{I} \quad (8)$$



Figur 4: Resistansdefinition

Det är viktigt att notera att det finns komponenter där sambandet mellan ström och spänning inte är linjärt. Exempel på detta är dioder, termistorer eller glödande trådar där resistansen blir en funktion av strömmen. För att små resistanser ($< 1 \Omega$) skall vara väldefinierade bör dessa betraktas som fyrpoler, d.v.s. man har förutom två strömklämmor också två spänningsklämmor, så att spänningen U blir väldefinierad.

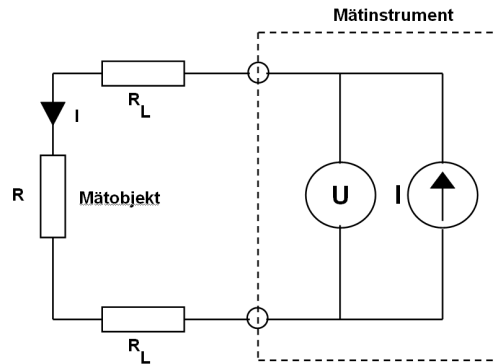


Figur 5: Fyrpolsmätning av resistans

4.1 Resistansmätning med digitalmultimeter

Digitalmultimetern är i grunden en digital voltmeter. För att möjliggöra resistansmätning innehåller multimetern en noggrann konstantströmgenerator, som matar en känd ström genom mätobjektet. Den genererade spänningen över mätobjektet mätes därefter med digitalvoltmetern. Självfallet är instrumentets visning i ohm. Det ekvivalenta schemat för en digitalmultimeter, då denna är inställd på resistansmätning, återges i Figur 6. Observera att vid resistansmätning är

mätinstrumentet aktivt, det vill säga man måste alltid förvissa sig om att mätobjektet tål den ström (eller spänning) som mätinstrumentet matar ut.



Figur 6: Kretsschema för en 2-polig resistansmätning

Mätuppgift 3: Mätning med resistiv temperaturgivare Pt-100 (2-polismätning)

Temperatur är en av de vanligaste storheterna som brukar mätas. För att omvandla temperatur till en elektrisk storhet används ofta en resistiv temperaturgivare. Denna kan bestå av en mycket tunn tråd som är limmad på en folie. Materialet i tråden är platina, nickel etc. Trådens resistans ändras med temperaturen enligt en bestämd formel. Denna typ av givare är mycket noggrann.

På labbplatsen finns en **Pt-100** givare där Pt står för just platina och 100 anger att den nominella resistansen vid noll grader Celsius är 100,00 Ω . Temperaturkonstanten är 2,58 $^{\circ}\text{C}/\Omega$, vilket betyder att temperaturen beror på resistansen enligt $t = 2,58 \cdot (R - 100)$

Vi tänker oss nu att du skall mäta temperaturen i en lagerlokal belägen 10 meter bort från din mätplats. En lång mätkabel måste dras. Den mätkabel som du skall använda finns på kopplingsplattan (grå rulle med tape omkring).

- Koppla samman givaren och mätinstrument 2-poligt med hjälp av mätkabeln.
- Ställ in **HP-multimetern HP 34401A** för resistansmätning.

Uppmätt resistans? Ω Vad motsvarar detta i temperatur? $^{\circ}\text{C}$

- Längst fram i labbsalen finns en digital termometer, avläs denna.

Rumstemperatur? $^{\circ}\text{C}$

Vad tror du orsaken är till den stora differensen?

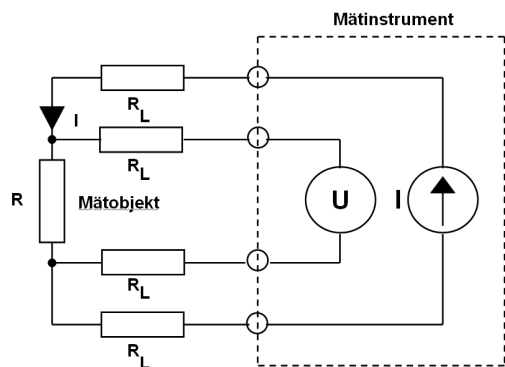
.....

Mätuppgift 4: Mätning med resistiv temperaturgivare Pt-100 (4-polismätning)

I Mätuppgift 3 upptäckte ni att skillnaden mellan den verkliga rumstemperaturen och den med HP-multimetern uppmätta skilde sig avsevärt. Förklaringen är ju den att multimetern inte bara mätte resistansen hos givaren, utan att även mätkablarnas resistans ($2 \cdot R_L$) fanns med i mätresultatet.

För att eliminera mätledningarnas resistans använder sig dyrare multimetrar av 4-polismätning.

Man har då tillgång till två separata kretsar. En som matar ut den konstanta mätströmmen (I) till mätobjektet, och en krets som mäter det uppkomna spänningsfallet (U) **direkt över mätobjektet**. Schemat i Figur 7 visar hur multimeteren är konstruerad för denna mätmetod. Vi har alltså 4 st separata utgångsklämmor: Två för strömmatning och två för spänningsmätning.



Figur 7: 4-polig resistansmätning

- Mät upp resistansen hos Pt-100 givaren med fyrpolsteknik. Samma mätledning (10 m) skall användas.

Uppmätt resistans? Ω Vad motsvarar detta i temperatur? $^{\circ}\text{C}$

- Mät tilledningsresistansen ($2 \cdot R_L$) $2 \cdot R_L =$ Ω

Vilket systematiskt fel ger R_L vid temperaturbestämningen?

Med systematiskt fel menar vi i detta fallet ett till tecken och storlek förutsägbart feltillskott. Som i vårt fall är mätledningarnas resistans.

2-pol $^{\circ}\text{C}$

4-pol $^{\circ}\text{C}$

5 Bryggmätningar

5.1 Wheatstonebryggan

De tidigare behandlade resistansmätningarna har baserats på att man mäter ström och spänning samtidigt eller att man använder en direktvisande ohmmeter. I en Wheatstonebrygga jämför man (komparerar) den okända resistansen R_x , med en annan känd resistans (se Figur 8).

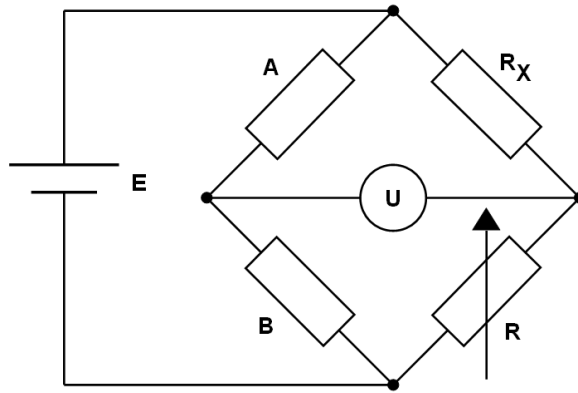
$$U = E \cdot \frac{B}{A+B} - E \cdot \frac{R}{R+R_x} = E \cdot \frac{B \cdot R_x - A \cdot R}{(A+B) \cdot (R+R_x)} \quad (9)$$

Vid balans, d.v.s. då detektorn visar att $U = 0$ fås:

$$B \cdot R_x - A \cdot R = 0 \quad (10)$$

varav följer;

$$R_x = R \cdot \frac{A}{B} \quad (11)$$



Figur 8: Wheatstonebrygga

Resistanserna A och B bildar en kvot, eller en ration. Dessa kan därför kallas för rationsmotstånd. I en kommersiell Wheatstonebrygga kan man vanligen variera kvoten stegvis, till exempel 1:100, 1:10, 1:10, 1:1, 10:1, 100:1. Det variabla motståndet R brukar utgöras av ett noggrannt dekadmotstånd.

Mätuppgift 5: Bestäm rumstemperaturen genom att med hjälp av en brygga mäta upp resistansen hos en termistor

Temperaturgivare av halvledarmaterial kallas ofta för termistorer och består av sintrade metalloxyder. Dessa har en mycket stor temperaturkoefficient, som vanligen är negativ men kan även vara positiv (NTC- eller PTC-termistorer). Termistorer kan göras små vilket ger fördelar som kort responstid. Nackdelen är att temperaturberoendet är starkt olinjärt och ett begränsat användbart temperaturområde på cirka $-200\text{ }^\circ\text{C}$ till $+700\text{ }^\circ\text{C}$. Resistansens temperaturberoende beskrivs med ett exponentiellt uttryck:

$$R = R_0 \cdot e^{\beta(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})} \quad (12)$$

Temperaturen T anges här i Kelvin. T_0 är 298 K, alltså $25\text{ }^\circ\text{C}$, och β är en sensorkonstant.

- Koppla upp en brygga på kopplingsplattan enligt Figur 8.
- Som A och B användes fasta motstånd på $1\text{ k}\Omega \pm 0,1\%$ (finns i tillbehörslådan inlödda i vita små plastbitar)
- Nätaggregatet Bang-Olufsen SN 17 justeras till 5 V
- Som R användes Metreldekaden som till att börja med inställes på $1500\ \Omega$
- Som mätobjekt användes mätobjekt märkt **Term**
- Som nollindikator användes HP-multimetern 34401A kopplad för likspänning.
- Slå på nätaggregatet och vrid på R tills multimetern visar så nära noll som möjligt.
- Avläs R $R = \dots\dots\dots\ \Omega$

Data för vår termistor:

Resistans $R_0 = 2 \text{ k}\Omega$ vid referenstemperatur $T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

β -värdet = 3528

Temperaturområde = $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ till $+125 \text{ }^\circ\text{C}$

Max. effekt = 250 mW

Om vi ur Ekvation (12) löser ut T får vi följande uttryck:

$$T = \frac{\beta}{\ln \frac{R}{R_0} + \frac{\beta}{T_0}} \quad (13)$$

Vår uppmätta temperatur blir då uträknad: $T = \dots\dots\dots^\circ\text{C}$.

Hur pass bra stämmer det överens med vad vår termometer i labbet visar, och med våra tidigare mätningar med Pt-100 givare?

.....
.....

6 Växelspänning

6.1 Mätning på ett filter

Det är ibland önskvärt att filtrera bort oönskade frekvenser eller frekvensområden för att inte störa eller få helt felaktiga mätresultat. För att åstadkomma detta använder man sig av olika filterkopplingar beroende vad man vill plocka bort.

- Lågpasfilter släpper igenom "allt" från likspänning (frekvens noll) upp till sin gränshfrekvens (kallas också övre gränshfrekvens)
- Högpasfilter spärrar "allt" från DC upp till filtrets gränshfrekvens
- Bandspärrfilter spärrar ett visst frekvensområde
- Bandpassfilter släpper igenom ett visst frekvensområde.

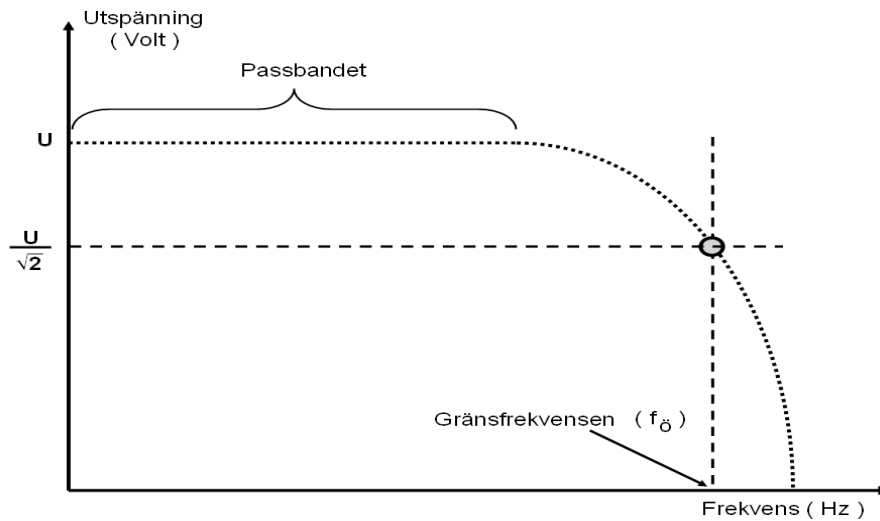
Gränshfrekvensen definieras där utspänningen sjunkit till $1/\sqrt{2}$ av värdet i passbandet, vid en konstant inspänning.

Bandbredden för en krets (t.ex. en förstärkare eller ett filter) definieras som avståndet i Hz mellan den undre gränshfrekvensen (f_u) och den övre ($f_ö$). För ett lågpasfilter blir bandbredden lika med den övre gränshfrekvensen då den undre alltid är noll (se Figur 9).

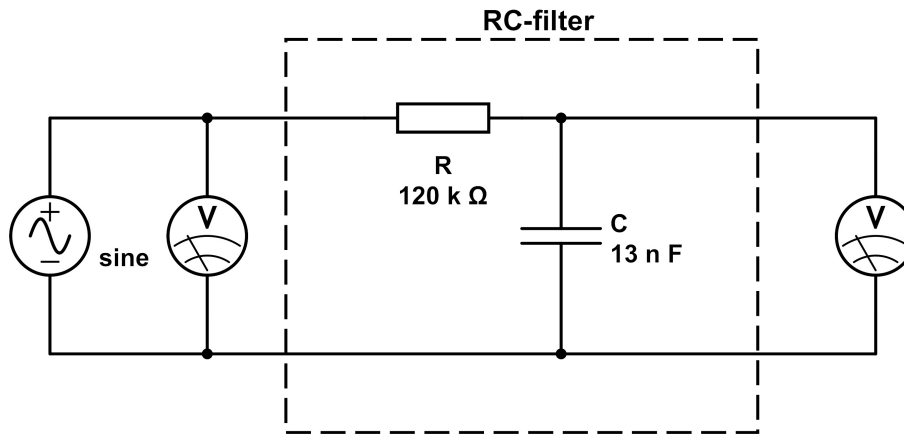
Mätuppgift 6: Bestämning av gränshfrekvensen hos ett lågpasfilter.

Ni skall med hjälp av resistansdekaden METREL modell MA2115 samt kapacitansdekaden BETA-CAP koppla upp ett lågpasfilter enligt Figur 10.

- Välj $R = 120 \text{ k}\Omega$ och $C = 13 \text{ nF}$
- Anslut funktionsgenerator TTI modell TG315 utgång (märkt MAIN OUT 50Ω på panelen) till filtrets ingång. Svart sladd = jord.
- Koppla in digitalmultimetern HP 34401A inställd för AC-mätning (AC = Alternating Current) till filtrets utgång.
- Koppla in digitalmultimetern FLUKE 75 inställd för AC-mätning till filtrets ingång.
- Ställ in generatorfrekvensen på 50 Hz och vrid amplitudratten på panelen (märkt AMPLITUDE) tills FLUKE 75 visar 6,00 V.



Figur 9: Amplituddiagram för ett låpassfilter.



Figur 10: Kopplingsschema för mätning på ett låpassfilter (ett RC-filter av 1:a ordningen).

- Vi antar veta att filtrets gränsfrekvens ligger inom området 0–1000 Hz. Låt oss därför mäta upp överföringskaraktärerna inom detta frekvensområde.
- Ställ in frekvensen på begynnelsevärdet 50 Hz och avläs inspänningen till filtret;

$$U_{in} = \dots\dots\dots \text{ V}$$

Det är sedan viktigt att denna är konstant vid mätningarna på de övriga frekvenserna. Håll därför ett öga på FLUKE-multimetern.

- Sedan skall ni mäta upp utgången vid de frekvenser som finns angivna i Tabell 2. Vi skall plotta förhållandet mellan inspänning och utspänning i dB i ett Bodediagram (se Figur 11). I figuren betecknas förhållandet (förstärkningen) G_{dB} . Då detta är ett passivt filter kan man också använda ordet dämpning istället för förstärkning..

$$G = 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{U_{ut}}{U_{in}} \right| \quad (14)$$

Tabell 2: överföringskaraktär för lågpasfilter

Frekvens Hz	Utspänning V	G dB
50		
100		
150		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1000		

Den övre gränshfrekvensen skrivs som:

$$f_{\ddot{o}} = \frac{1}{2\pi RC} \tag{15}$$

Beräkna gränshfrekvensen för lågpasfiltret:

$f_{\ddot{o}} = \dots\dots\dots$ Hz

Gränshfrekvensen definieras där utspänningen sjunkit till $1/\sqrt{2}$ av värdet i passbandet, vid en konstant inspänning. Detta motsvaras i Bodediagrammet av den frekvens där G_{dB} sjunkit med 3 dB.

Läs av filtrets gränshfrekvens i Bodediagrammet.

$f_{\ddot{o}} = \dots\dots\dots$ Hz

Kommentera avvikelserna mellan uppmätt och beräknad gränshfrekvens:

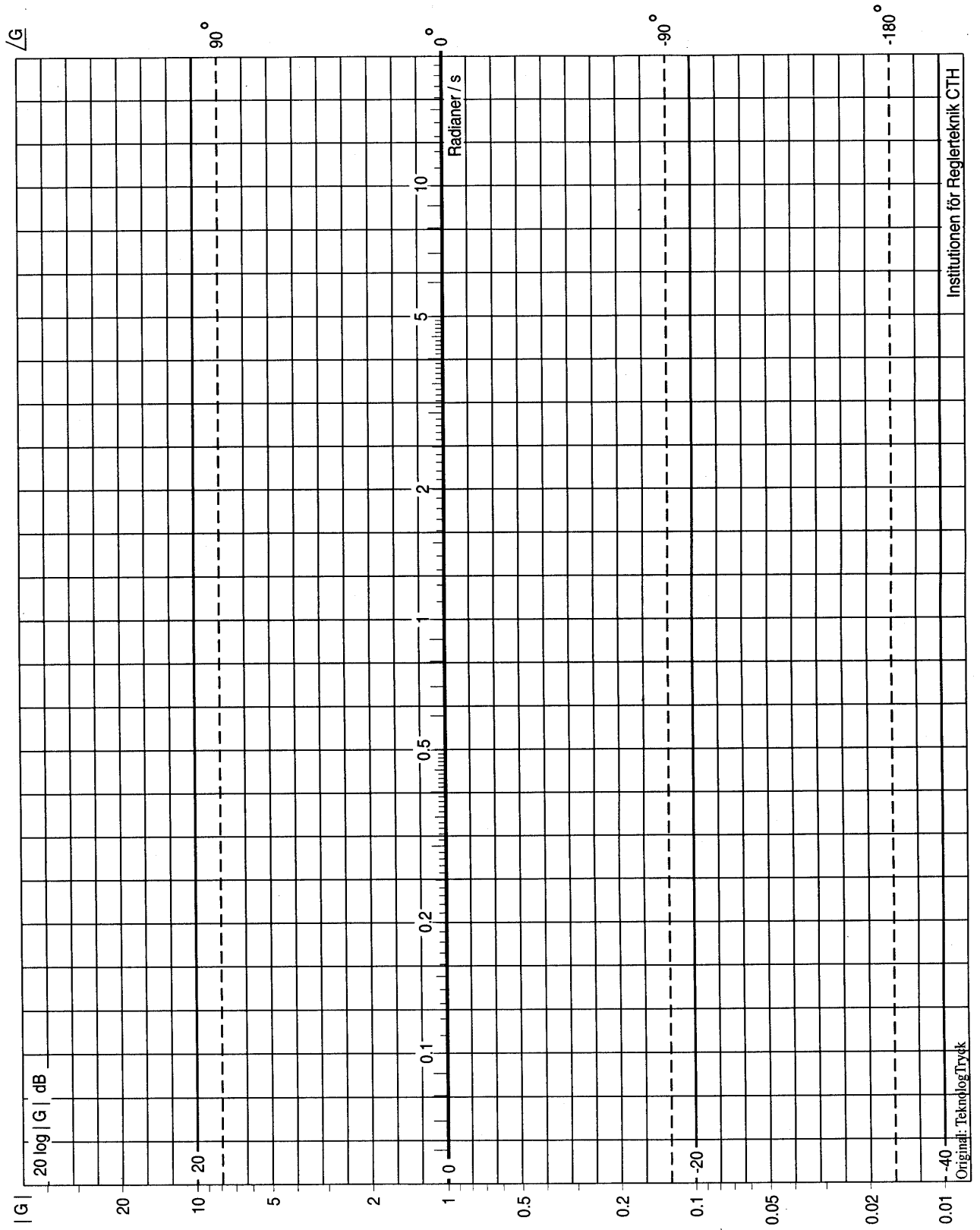
.....

Med dekad för ett frekvensintervall menas att frekvensförhållandet är 1:10. Ex. avståndet mellan 10 Hz och 100 Hz är en dekad.

Hur stor är dämpningen per dekad för vårt lågpasfilter? dB/dekad

Med oktav för ett frekvensintervall menas att frekvensförhållandet är 1:2. Till exempel är avståndet 440 Hz till 880 Hz en oktav.

Hur stor är dämpningen per oktav för filtret? dB/oktav



Figur 11: Bodediagram till Mätuppgift 6

Digital multimeter Fluke modell 75



Figur 12: FLUKE 75

Specifications

Accuracy is specified for a period of one year after calibration, at 18 °C to 28 °C (64 °F to 82 °F) with relative humidity to 90 %. AC conversions are ac-coupled, average responding and calibrated to the RMS value of a sine wave input.

Accuracy Specifications are given as:

\pm (% of reading + [number of least significant digits])

AC-voltage frequency range: 45–500 Hz for 3.2 V range. Other ranges 45 Hz – 1 kHz.

AC-current frequency range: 45 Hz – 1 kHz all ranges.

Tabell 3: Fluke specifications

Function	Range	Resolution	Accuracy	Burden voltage Typical
V \sim	3.200 V	0.001 V	$\pm(2\% + 2)$	not applicable
V \sim	32.00 V	0.01 V	$\pm(2\% + 2)$	not applicable
V \sim	320.0 V	0.1 V	$\pm(2\% + 2)$	not applicable
V \sim	750 V	1 V	$\pm(2\% + 2)$	not applicable
V=	3.200 V	0.001 V	$\pm(0.4\% + 1)$	not applicable
V=	32.00 V	0.01 V	$\pm(0.4\% + 1)$	not applicable
V=	320.0 V	0.1 V	$\pm(0.4\% + 1)$	not applicable
V=	1000 V	1 V	$\pm(0.4\% + 1)$	not applicable
Ω	320.0 Ω	0.1 Ω	$\pm(0.5\% + 2)$	not applicable
Ω	3200 Ω	1 Ω	$\pm(0.5\% + 1)$	not applicable
Ω	32.00 k Ω	0.01 k Ω	$\pm(0.5\% + 1)$	not applicable
Ω	320.0 k Ω	0.1 k Ω	$\pm(0.5\% + 1)$	not applicable
Ω	3.200 M Ω	0.001 M Ω	$\pm(0.5\% + 1)$	not applicable
Ω	32.00 M Ω	0.01 M Ω	$\pm(2\% + 1)$	not applicable
Diode and Buzzer	2.0 V	0.001	$\pm 1\%$ Typical	not applicable
A \sim	32.00 mA	0.01 mA	$\pm(2.5\% + 2)$	6 mV/mA
A \sim	320.0 mA	0.1 mA	$\pm(2.5\% + 2)$	6 mV/mA
A \sim	10.00 A \dagger	0.01 A	$\pm(0.5\% + 2)$	50 mV/ mA
A=	32.00 mA	0.01 mA	$\pm(1.5\% + 2)$	6 mV/mA
A=	320.0 mA	0.1 mA	$\pm(1.5\% + 2)$	6 mV/mA
A=	10.00 A \dagger	0.01 A	$\pm(1.5\% + 2)$	50 mV/mA

\dagger 10 A continuous, 20 A for 30 seconds maximum

Overload protection:

V=: 1000 V DC, 750 V AC RMS(sine)

mV=: 500 V DC, 500 V AC RMS(sine)

V \sim : 1000 V DC, 750 V AC rms (sine) (AC-coupled)

Diode or Buzzer: 500 V DC, 500 V RMS (sine)

Input impedance (Nominal):

V=: >10 M Ω <50 pF

mV=: 10 M Ω <50 pF

V \sim : 10 M Ω <50 pF

Common Mode Rejection Ratio (1 k Ω unbalance):

V=: > 120 dB at DC, 50 Hz or 60 Hz

mV=: >120 dB at DC, 50 Hz or 60 Hz

V \sim : >60 dB DC to 60 Hz

Normal Mode Rejection:

V=: > 60 dB at 50 Hz or 60 Hz

mV=: > 60 dB at 50 Hz or 60 Hz

Output Characteristics for Diode and Buzzer functions:

Max output voltage: <3.1 V dc

Max output current: 700 μ A (typical)

Tabell 4: U/I - characteristics for Diode function

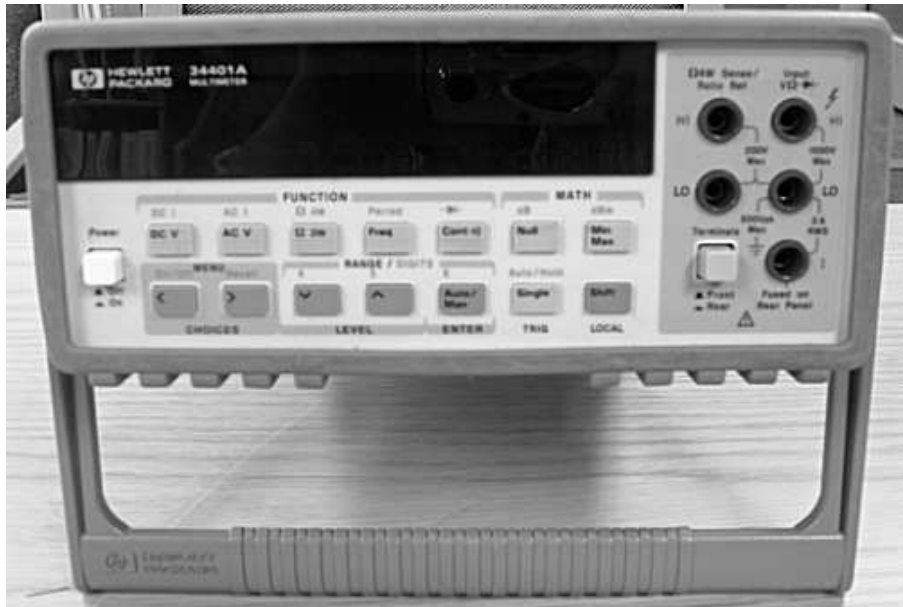
Typical test current	V_F
0.7 mA	0.0 V
0.5 mA	0.6 V
0.3 mA	1.2 V
0.1 mA	2.0 V

Constant currents on Ω :s ranges

Tabell 5: Constant currents on Ω :s ranges

Open circuit test voltage	Full scale voltage		Short circuit current
	To 3.2 M Ω	32 M Ω	
<3.1 V DC	< 440 mV DC	< 1.4 V DC	500 μ A

Digital multimeter Hewlett Packard model 34401A



Figur 13: HP 34401A

Specifications

Accuracy is specified for a period of one year after calibration, $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Accuracy specifications:

$\pm(\% \text{ of reading} + \% \text{ of range})$ 1-hour warm-up at 6 1/2 digits.

Tabell 6: DC-characteristics

Function	Range	Test current or Burden Voltage	Accuracy
DC Voltage	100.0000 mV		0.0050 + 0.0035
	1.000000 V		0.0040 + 0.0007
	10.00000 V		0.0035 + 0.0005
	100.0000 V		0.0045 + 0.0006
	1000.000 V		0.0045 + 0.0010
Resistance (1)	100.0000 Ω	1mA	0.010 + 0.004
	1.000000 k Ω	1 mA	0.010 + 0.001
	10.00000 k Ω	100 μ A	0.010 + 0.001
	100.0000 k Ω	10 μ A	0.010 + 0.001
	1.000000 M Ω	5 μ	0.010 + 0.001
	10.00000M Ω	500 nA	0.040 + 0.001
	100.0000 M Ω	500 nA/10 M Ω	0.800 + 0.010
DC Current	10.00000 mA	<0.1 V	0.050 + 0.020
	100.0000 mA	<0.6 V	0.050 + 0.005
	1.000000 A	<1 V	0.100 + 0.010
	3.000000 A	<2 V	0.120 + 0.020
Continuity	1000.0 Ω	1 mA	0.010 + 0.020
Diode Test	1.0000 V	1mA	0.010 + 0.020

(1) Specifications are for 4-wire ohms function, or 2-wire ohms using Math Null. Without Math Null, add 0.2 Ω additional error in 2-wire ohms function.

Tabell 7: DC:DC Ratio

Function	Range	Accuracy
DC:DC Ratio	100 mV to 1000 V	(Input accuracy) + (Reference accuracy) (Input accuracy = accuracy specification for the HI - LO input signal Reference accuracy = accuracy specification for the HI - LO reference input signal)

Measuring characteristics

DC Voltage:

Measurement method: Continuously integrating, multi-slope 111 A/D converter

A/D Linearity: 0.0002 % of reading + 0.0001 % of range.

Input resistance: Selectable 10 M Ω or >10 G Ω at 0.1 V, 1 V and 100 V ranges.
10 M Ω \pm 1 % at 100 V and 1000 V.

Input bias current: <30 pA at 25 $^{\circ}$ C **Input terminals:** Copper alloy

Input protection: 1000 V on all ranges

Resistance:

Measurement method: Selectable 4-wire or 2-wire. Current source referenced to LO input.

Max lead resistance 4-wire ohms: 10 % of range per lead for 100 Ω , 1 k Ω
1 k Ω per lead on all other ranges.

Input protection: 1000 V on all ranges

DC Current:

Shunt resistor: 0.6 Ω for 1 A and 3 A. 6 Ω for 10 mA and 100 mA.

Input protection: Externally accessible 3 A 250 V fuse. Internal 7 A 250 V fuse.

Continuity/Diode Test

Response time: 300 samples/sec with audible tone.

Continuity threshold: Adjustable from 1 Ω to 1000 Ω .

DC:DC Ratio:

Measurement method: Input HI - LO/ Reference HI - LO.

Input HI - LO: 100 mV to 1000 V ranges.

Reference HI - input LO: 100 mV to 10 V ranges (autoranged)

Input to reference: Reference LO to Input LO voltage < 2 V. Reference HI to Input LO voltage < 12 V.

Measurement Noise Rejection on 50 Hz DC CMRR. 1 k Ω unbalance in LO lead

(1) For power - line frequency ± 1 %, subtract 20 dB. For ± 3 %, subtract 30dB

Tabell 8: DC CMRR

Integration time	Normal Mode Rejection
100 PLC / 2 s	60 dB (1)
10 PLC / 200 ms	60 dB (1)
1 PLC / 20 ms	60 dB (1)
0.2PLC / 3 ms	0 dB
0.02 PLC / 400 μ s	0 dB

Operation characteristics

Reading speeds for 50 Hz operation. Autozero OFF.

Tabell 9: speed

Function	Digits	Readings/s	Additional Noise error
DCV, DCI, and Resistance	6 1/2	0.5	0 % of range
	6 1/2	5	0 % of range
	5 1/2	50	0.001 % of range
	5 1/2	300	0.001 % of range (1)
	4 1/2	1000	0.01 % of range (1)

(1) Add 20 μ V for DC volts, 4 μ A for DC current or 20 m Ω for resistance.

System speeds

Speeds are for 4 1/2 digits, Delay 0, Autozero OFF, and Display OFF. Includes measurement and data transfer over HP-IB.

Tabell 10: System speed

Function change	26/s
Range change	50/s
Autorange time	< 30ms
ASCII readings to RS-232	55/s
ASCII readings to HP-IB	1000/s
Max internal trigger rate	1000/s
Max external trigger rate	1000/s
Max external trigger rate to memory	1000/s
Max external trigger rate to HP-IB	900/s

Autozero OFF Operation:

Following instrument warm-up at calibration temperature $\pm 1^\circ C$ and < 10 minutes, add 0.0002 % range additional error $+5 \mu V$.

Settling considerations

Reading settling times are affected by source impedance, cable dielectric characteristics and input signal changes.

Measurement considerations

HP recommends the use of *Teflon*[®] or other high-impedance, low-dielectric absorption wire insulation for these measurements.

AC characteristics

Accuracy specifications: $\pm(\% \text{ of reading} + \% \text{ of range})$.

This specifications are for 1-hour warm-up at 6 1/2 digits, slow AC-filter, sinewave input.

Tabell 11: AC-characteristics

Function	Range (1)	Frequency	1 Year $23^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$
True RMS AC Voltage (3)	100.0000 mV	3 Hz – 5 Hz	1.00 + 0.04
		5 Hz – 10 Hz	0.35 + 0.04
		10 Hz – 20 kHz	0.06 + 0.04
		20 kHz – 50 kHz	0.12 + 0.05
		50 kHz – 100 kHz	0.60 + 0.08
		100 kHz – 300 kHz (2)	4.00 + 0.50
True RMS AC Voltage (3)	1.000000 V to 750.00 0V	3 Hz – 5 Hz	1.00 + 0.03
		5 Hz – 10 Hz	0.35 + 0.03
		10 Hz – 20 kHz	0.06 + 0.03
		20 kHz – 50 kHz	0.12 + 0.05
		50 kHz – 100 kHz (4)	0.60 + 0.08
		100 kHz – 300 kHz (2)	4.00 + 0.50
True RMS AC Current (3)	1.000000 A	3 Hz – 5 Hz	1.00 + 0.04
		5 Hz – 10 Hz	0.30 + 0.04
		10 Hz – 5 kHz	0.10 + 0.04
True RMS AC Current (3)	3.00000 A	3 Hz – 5 Hz	1.10 + 0.06
		5 Hz – 10 Hz	0.35 + 0.06
		10 Hz – 5k Hz	0.15 + 0.06

(1) 20 % overrange on all ranges, except 750 VAC, 3 A range.

(2) Typically 30 % of reading error at 1 MHz.

(3) Specifications are for sinewave input $>5\%$ of range. For inputs from 1 % to 5 % of range and $< 50\text{kHz}$ add 0.1 % of range additional error. For 50 kHz to 100 kHz add 0.13 % of range.

(4) 750 VAC range limited to 100 kHz or $8 \cdot 10^7$ Volt - Hz.

Measuring Characteristics

Measurements Noise Rejection (for 1 k Ω in LO lead):

AC CMRR 70 dB

True RMS AC Voltage

Measurement Method: AC-coupled True RMS-measures the AC component of input up to 400 VDC of bias on any range.

Crest factor: Maximum 5:1 at full scale

AC Filter Bandwidth:

Slow: 3 Hz–300 kHz

Medium: 20 Hz - 300 kHz

Fast: 200 Hz–300 kHz

Input impedance: 1 M Ω $\pm 2\%$ in parallell with 100 pF

Input protection: 750 V rms all ranges.

Operating Characteristics

Maximum reading rates for 0.01 % of AC step additional error. Additional settling delay required when input DC level varies.

Tabell 12: Operation Characteristics

Function	Digits	Reading/s	AC Filter
ACV, ACI	6 1/2	7 s/reading	Slow
	6 1/2	1 s/reading	Medium
	6 1/2	1.6 s/reading	Fast
	6 1/2	10 s/reading	Fast
	6 1/2	50 s/reading	Fast

System speeds

Function or Range Change: 5/s

Autorange time: < 0.8 s

ASCII readings to RS-232: 50 /s

ASCII readings to HP-IB: 50 /s

Max. internal Trigger Rate: 50 /s

Max external trigger rate to memory: 50 /s

Max. external trigger rate to HP-IB/RS-232: 50 /s

Frequency and Period Characteristics

Accuracy specifications: \pm (% of reading) for 1 hour warm-up at 6 1/2 digit.

Tabell 13: Frequency and Period Characteristics

Function	Range (1)	Frequency	1 Year 23 °C \pm 5 °C
Frequency Period (2)	100 mV	3 Hz – 5 Hz	0.10
	to	5 Hz – 10 Hz	0.05
	750 V	10 Hz – 40 Hz	0.03
		40 Hz – 300 kHz	0.01

(1) 20 % overrange on all ranges, except 750 VAC range.

(2) Input > 100 mV. For 10 mV input, multiply % of error reading by a factor of 10.

Additional Low-Frequency Errors (% of reading) for 1 hour warm-up at 6 1/2 digit.

Tabell 14: AdditionalLow - Frequency Errors

Frequency	Resolution		
	6 1/2	5 1/2	4 1/2
3 Hz – 5 Hz	0	0.12	0.12
5 Hz – 10 Hz	0	0.17	0.17
10 Hz – 40 Hz	0	0.2	0.2
40 Hz – 100 Hz	0	0.06	0.21
100 Hz – 300 Hz	0	0.03	0.21
300 Hz – 1 kHz	0	0.01	0.07
> 1 kHz	0	0	0.02

Measuring Characteristics

Frequency and Period:

Measurement method:

Reciprocal-counting technique, AC-coupled input using the ac voltage measurement function.

Voltage Ranges: 100 mV RMS full scale to 750 V RMS. Auto or manual ranging.

Gate time: 10 ms, 100 ms, or 1 s

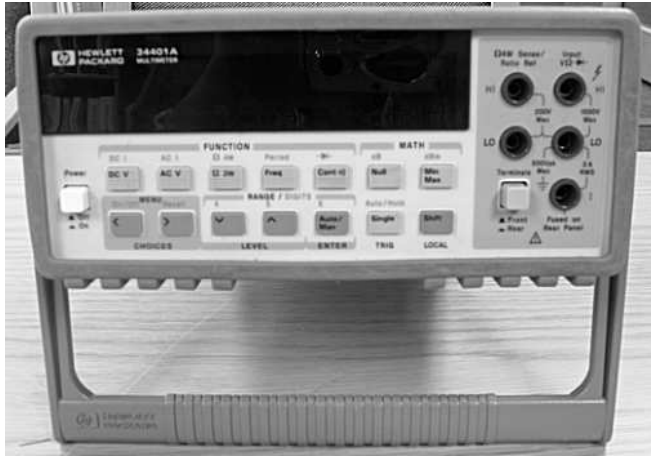
7 Bilder på instrument som användes



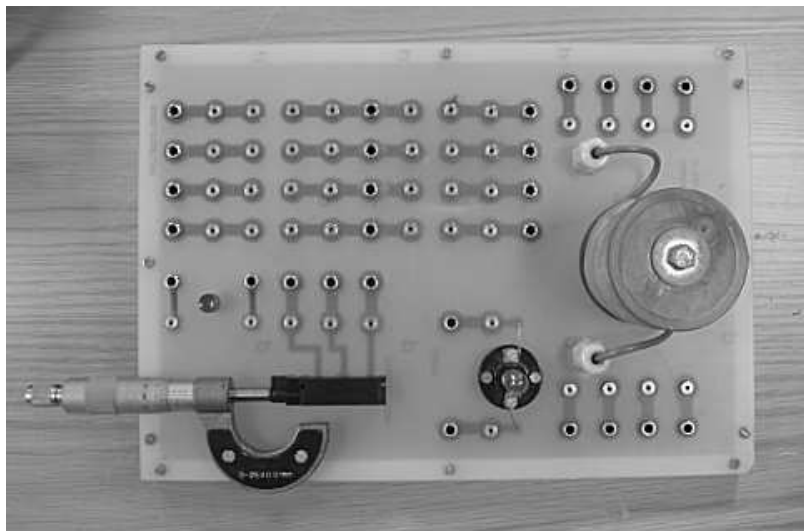
Figur 14: Likspänningsaggregat BoO SN17



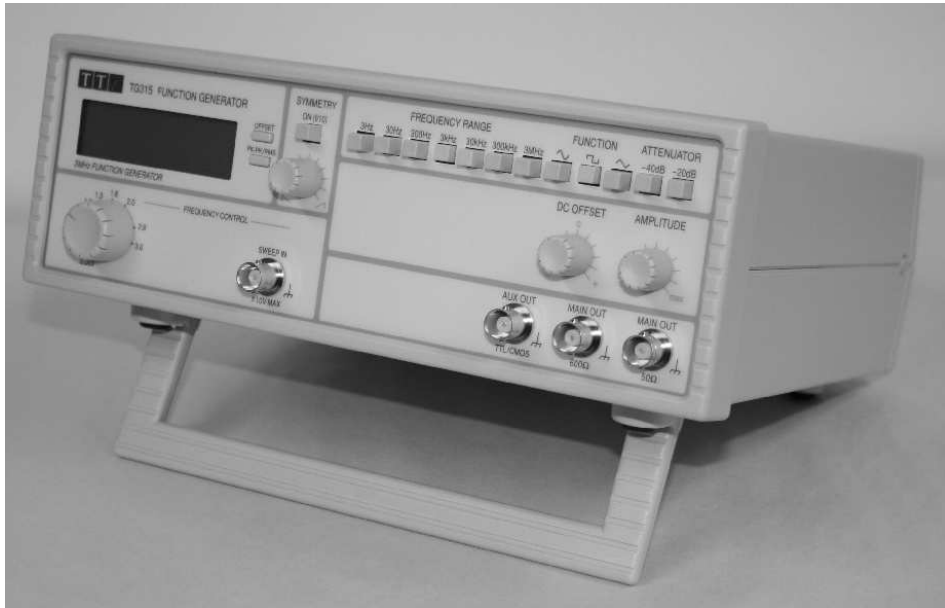
Figur 15: Resistansdekad Metrel



Figur 16: HP 34401A och FLUKE 75



Figur 17: Kopplingsplatta



Figur 18: Funktionsgenerator TG315



Figur 19: Kapacitansdekad BETA-CAP