

Lucrarea 9

Măsurarea inductanței, capacității, rezistenței și impedanței electrice (LCR metru)

1. Obiectivul lucrării

Această lucrare are ca și scop dobândirea abilităților de măsurare ale inductanței, capacității, rezistenței și impedanței electrice. Măsurarea acestor mărimi electrice este utilă și are aplicații în electronică, laboratoare de cercetare în domeniul electric și electronic, unități de producție în domeniul electric și electronic, unități de service în domeniul electric și electronic precum și în școli și universități cu profil tehnic.

2. Descrierea aparaturii

În cadrul acestei lucrări de laborator se vor folosi două instrumente de măsurare:

1. LCR Meter (BK Precision model 889A)
2. Capacitance Meter (BK Precision model 830B)

1. LCR Meter (BK Precision model 889A)

889A BK Precision este un aparat de mare precizie care măsoară inductanțe, capacități, impedanțe și rezistențe electrice. Acesta are o clasă de precizie de 0,1%. Pe lângă mărimile amintite, aparatul mai dispune de capacități de măsurare a curentului și tensiunii în c.a. și c.c. precum și verificarea diodelor și a continuității acustice.

Valorile nominale și caracteristicile aparatului sunt:

A. Măsurarea tensiunii:

- c.a. : True RMS, până la 600Vrms la 40 - 1K Hz
- c.c. : până la 600 V
- Impedanță de intrare : 1 MOhm

B. Măsurarea curentului:

- c.a. : True RMS, până la 2 Arms la 40 - 1K Hz
- c.c. : până la 2 A
- I Current Shunt : 0.1 Ohm @ > 20mA; 10 Ohm pentru 20mA

C. Verificarea diodelor și a continuității acustice:

- Circuit deschis (tensiune): 5 Vdc
- Scurtcircuit (Curent): 2.5 mA
- Beep On: $\leq 25 \Omega$
- Beep Off: $\geq 50 \Omega$

D. Măsurarea RLC:

- Condiții de test:
 - Frecvență: 100Hz / 120Hz / 1KHz / 10KHz / 100KHz / 200KHz
 - Nivel de tensiune: 1Vrms / 0.25Vrms / 50mVrms / 1VCC (doar R de CC)
- Parametrii mășurați: Z, Ls, Lp, Cs, Cp, DCR, ESR, D, Q și ϕ
- Clasa de precizie: 0.1%
- I RS-232 Interface Communication
- Calibrare
- Notăția parametrilor mășurați (primul cadran):
 - Z : AC Impedance (Impedanță de CA)
 - DCR : DC Resistance (Rezistență de CC)
 - Ls : Serial Inductance (Inductanță serie)
 - Lp : Parallel Inductance (Inductanță paralel)
 - Cs : Serial Capacitance (Capacitate serie)
 - Cp : Parallel Capacitance (Capacitate paralel)
- Notăția parametrilor mășurați (al doilea cadran):
 - ϕ : Defazajul
 - ESR : Equivalence Serial Resistance (Rezistența serie echivalentă)
 - D : Factor de disipare
 - Q : Factor de calitate
- Combinații ale afișajului:
 - Modul serie: Z – ϕ , Cs – D, Cs – Q, Cs – ESR, Ls – D, Ls – Q, Ls – ESR
 - Modul paralel : Cp – D, Cp – Q, Lp – D, Lp – Q

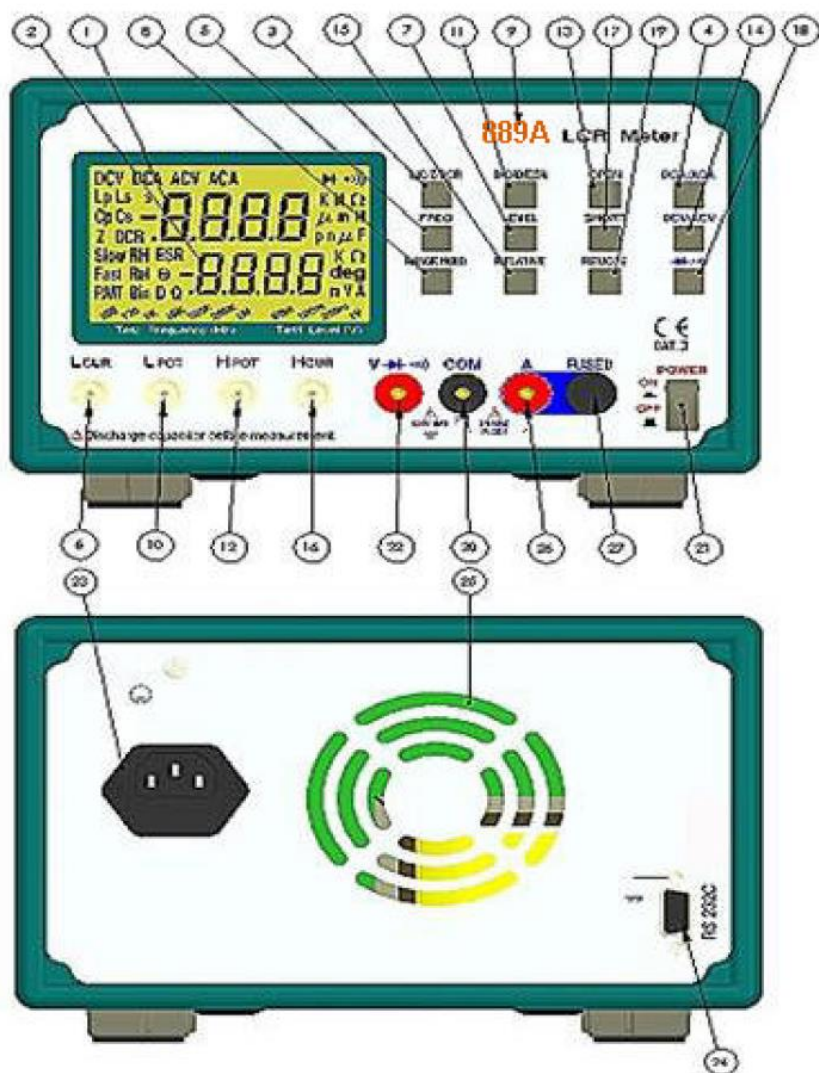


Fig. 1: Descrierea fizică a RLC metrului

1.Primul cadran al display-ului	2 Al doilea cadran al display-ului
3.Selector L/C/Z/DCR	4.Selector DCA/ACA
5. Frecvența (Measurement Frequency Key)	6.Terminal LCUR (Low Current)
7.Nivelul (Measurement Level Key)	8. Păstrarea Scalei (Range Hold Key)
9. Modelul	10.Terminal LPOT (Low Potential)
11.Selector D/Q/ ϕ /ESR	12.Terminal HPOT (High Potential)
13. Calibrare (Open Calibration Key)	14.Selector DCV/ACV
15. Buton pentru măsurarea	16.Terminal HCUR (High Current)

diferențelor între componente (Relative Key)	
17. Calibrare (Short Calibration Key)	18. Verificarea diodelor și a continuității acustice
19. Buton pentru funcționarea în modul RS 232 (Remote Function Key)	20. Terminalul COM
21. Butonul ON/OFF	22. Intrare pentru măsurarea Tensiunii V/Diodei/Continuității acustice
23. Alimentare CA	24. Port RS-232
25. Cooler-ul aparatului	26. Terminalul Intrare de curent A
27. Siguranță 2A	

2. Capacitance Meter (BK Precision model 830B)

830B BK Precision este un aparat de mare precizie care măsoară capacități electrice. Acesta are o toleranță de măsurare de 1%, 5%, 10% și 20%. Caracteristicile principale ale aparatului sunt prezentate pe display-ul următor:

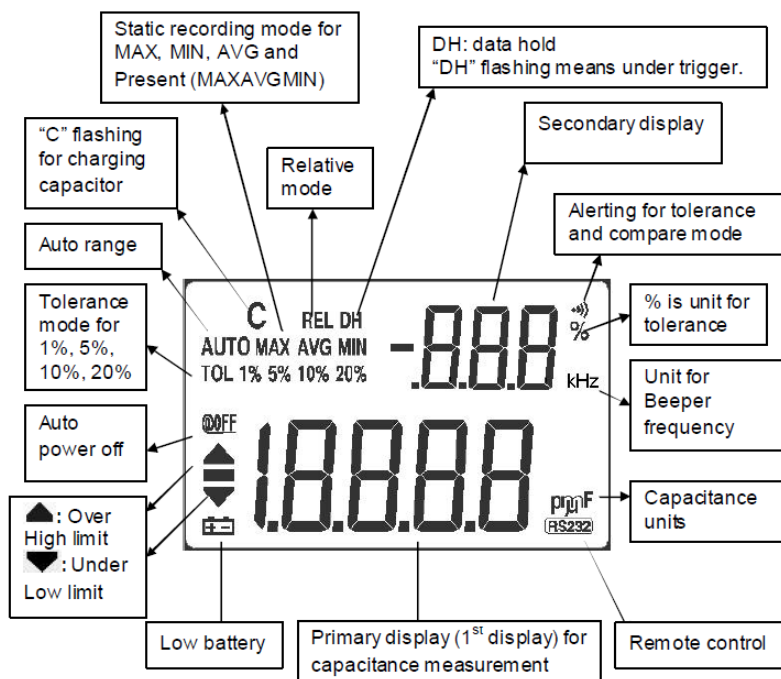


Fig. 2: Display-ul modelului 830B

Butoanele aparatului 830B sunt urmatoarele:

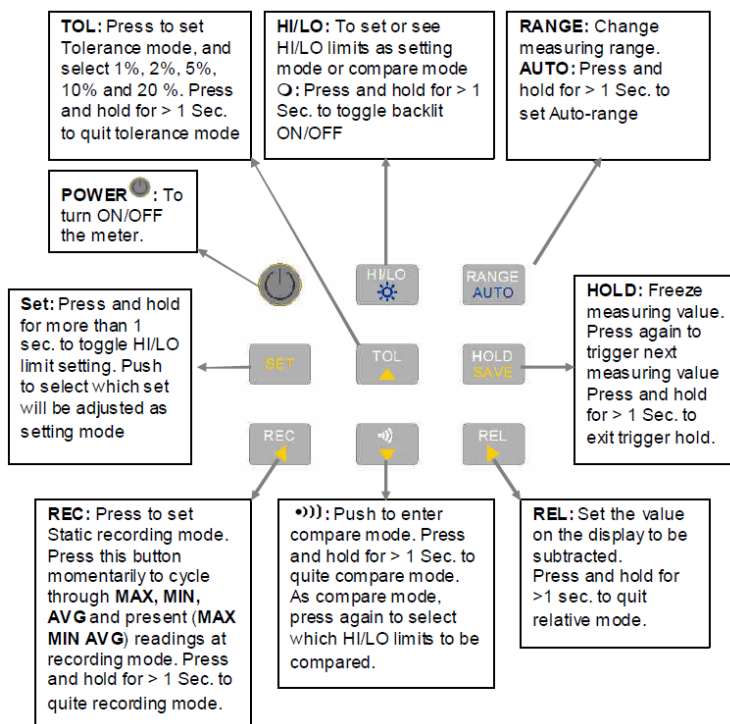


Fig. 3: Butoanele modelului 830B

Notă: datorită faptului că meniul aparatului utilizat în laborator este în limba engleză capturile de imagine au păstrat structura originală.

3. Considerații teoretice

Datorită diferitelor semnale utilizate de aparatele ce masoară impedanțe, acestea se pot clasifica în impedanțe de c.c. respectiv impedanțe de c.a.. Cu ajutorul aparatelor utilizate în cadrul acestei lucrări de laborator există posibilitatea calculării ambelor tipuri de impedanțe.

Este foarte important să se înțeleagă conceptul de impedanțe asociat componentelor electrice. Când analizăm impedanțele se poate utiliza graficul următor (figura 4), unde se poate observa axa reală precum și cea imaginară.

Graficul poate fi privit și din punctul de vedere al coordonatelor polare, unde Z reprezintă modulul impedenței și ϕ reprezintă defazajul impedenței respective.

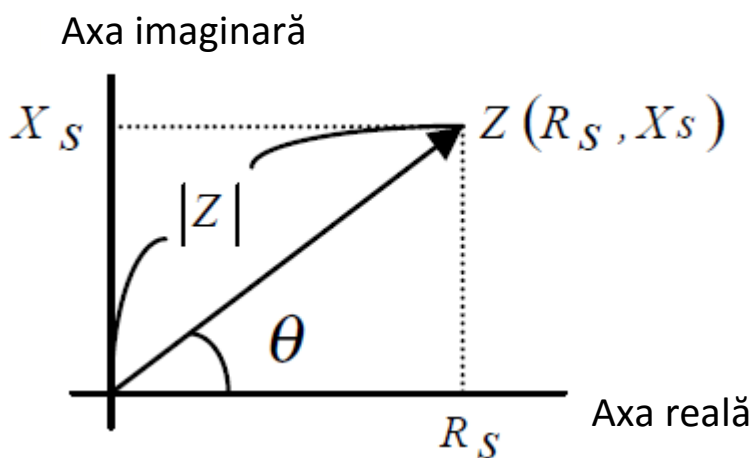


Fig. 4: Impedanța electrică

$$\begin{aligned}
 Z &= R_S + jX_S = |Z| \angle \theta \quad (\Omega) & |Z| &= \sqrt{R_S^2 + X_S^2} \\
 R_S &= |Z| \cos \theta & \theta &= \tan^{-1} \left(\frac{X_S}{R_S} \right) \\
 X_S &= |Z| \sin \theta
 \end{aligned} \tag{1}$$

unde:

Z =impedanța asociată unghiului θ ;

R_S =rezistența;

X_S =reactanța.

În aplicațiile practice se evidențiază două tipuri de reactanță:

- Inductivă: X_L
- Capacitivă: X_C

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2)$$

unde:

L=inducția (L)

C=capacitatea (F)

f=frecvența (Hz)

ω =pulsția (Hz) ($\omega=2\pi f$)

Este cunoscut faptul că orice componentă reactivă de circuit (condensatoare și bobine) are pe lângă partea imaginară (reactanța), și o parte reală (rezistența internă a componentei respective). Astfel există posibilitatea creării a două circuite echivalente: un circuit serie, în care rezistența internă este considerată în serie cu elementul reactiv (capacitatea/inducția), precum și un circuit paralel în care rezistența internă este considerată în paralel cu elementul reactiv (capacitatea/inductanța)(figura 5).

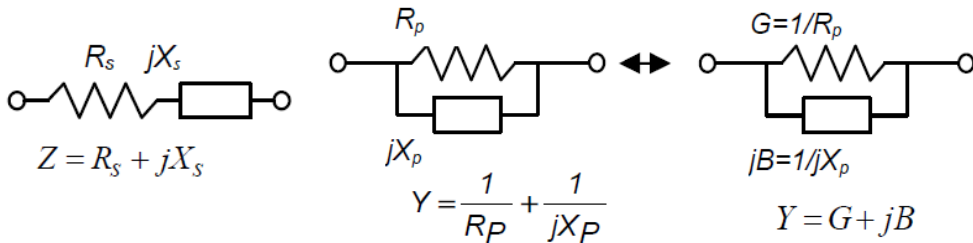


Fig. 5: Modul serie/paralel de aranjare a impedanțelor

Pentru a măsura corect o mărime electrică trebuie cunoscută și precizia cu care se execută acea măsurătoare. În continuare se va prezenta modalitatea de calcul a preciziei măsurării pentru condensatoare respectiv bobine, urmând ca valoarea preciziei măsurătorii să fie luată din tabelele 1 și 2. Se precizează că măsurătorile se vor realiza cu aparatul BK 889A la frecvențele de măsurare ale acestuia (100Hz, 120Hz, 1KHz, 10KHz, 100KHz, 200KHz).

Tabelul 1. BK 889A Tabel pentru măsurarea preciziei pentru condensatoare

100Hz	79.57pF 159.1pF	159.1pF 1.591nF	1.591nF 15.91nF	15.91nF 159.1uF	159.1nF 1.591uF	1.591uF 15.91uF	15.91uF 159.1uF	159.1uF 15.91mF
	2% ± 1	1% ± 1	0.5% ± 1	0.2% ± 1	0.1% ± 1	0.2% ± 1	0.5% ± 1	1% ± 1
	❶							❶
120Hz	66.31pF 132.6pF	132.6pF 1.326nF	1.326nF 13.26nF	13.26nF 132.6nF	132.6nF 1.326uF	1.326uF 13.26uF	13.26uF 132.6uF	132.6uF 13.26mF
	2% ± 1	1% ± 1	0.5% ± 1	0.2% ± 1	0.1% ± 1	0.2% ± 1	0.5% ± 1	1% ± 1
	❶							❶
1KHz	7.957pF 15.91pF	15.91pF 159.1pF	159.1pF 1.591nF	1.591nF 15.91nF	15.91nF 159.1nF	159.1nF 1.591uF	1.591uF 15.91uF	15.91uF 1.591mF
	2% ± 1	1% ± 1	0.5% ± 1	0.2% ± 1	0.1% ± 1	0.2% ± 1	0.5% ± 1	1% ± 1
	❶							❶
10KHz	0.795pF 1.591pF	1.591pF 15.91pF	15.91pF 159.1pF	159.1pF 1.591nF	1.591nF 15.91nF	15.91nF 159.1nF	159.1nF 1.591uF	1.591uF 15.91uF
	5% ± 1	2% ± 1	0.5% ± 1	0.2% ± 1	0.1% ± 1	0.2% ± 1	0.5% ± 1	1% ± 1
	❶							❶
100KHz ❶	NA	0.159pF 1.591pF	1.591pF 15.91pF	15.91pF 159.1pF	159.1pF 1.591nF	1.591nF 15.91nF	15.91nF 1.591uF	1.591uF 15.91uF
	NA	5% ± 1	2% ± 1	1% ± 1	0.4% ± 1	1% ± 1	2% ± 1	5% ± 1
	NA	0.079pF 0.795pF	0.795pF 7.957pF	7.957pF 79.57pF	79.57pF 795.7pF	795.7pF 7.957nF	7.957nF 79.57nF	79.57nF 7.957uF
200KHz ❶	NA	5% ± 1	2% ± 1	1% ± 1	0.4% ± 1	1% ± 1	2% ± 1	5% ± 1

Tabelul 1. BK 889A Tabel pentru măsurarea preciziei pentru bobine

100Hz	31.83KH 15.91KH	15.91KH 1591H	1591H 15.91H	15.91H 159.1H	159.1H 1.591H	1.591H 159.1mH	159.1mH 1.591mH	1.591mH 15.91uH
	2% ± 1	1% ± 1	0.5% ± 1	0.2% ± 1	0.1% ± 1	0.2% ± 1	0.5% ± 1	1% ± 1
	❶							❶
120Hz	26.52KH 13.26KH	13.26KH 1326H	1326H 132.6H	132.6H 13.26H	13.26H 1.326H	1.326H 132.6mH	132.6mH 1.326mH	1.326mH 132.6uH
	2% ± 1	1% ± 1	0.5% ± 1	0.2% ± 1	0.1% ± 1	0.2% ± 1	0.5% ± 1	1% ± 1
	❶							❶
1KHz	3.183KH 1.591KH	1.591KH 15.91H	15.91H 15.91H	15.91H 159.1H	159.1H 1.591H	1.591H 15.91mH	15.91mH 1.591uH	1.591uH 15.91uH
	2% ± 1	1% ± 1	0.5% ± 1	0.2% ± 1	0.1% ± 1	0.2% ± 1	0.5% ± 1	1% ± 1
	❶							❶
10KHz	318.3H 159.1H	159.1H 1.591H	1.591H 15.91H	15.91H 159.1mH	159.1mH 1.591mH	1.591mH 15.91mH	15.91mH 1.591uH	1.591uH 15.91uH
	5% ± 1	2% ± 1	0.5% ± 1	0.2% ± 1	0.1% ± 1	0.2% ± 1	0.5% ± 1	1% ± 1
	❶							❶
100KHz ❶	31.83H 15.91H	15.91H 1.591H	1.591H 15.91mH	15.91mH 1.591mH	1.591mH 15.91uH	1.591uH 1.591uH	1.591uH 0.159uH	0.159uH 0.159uH
	NA	5% ± 1	2% ± 1	1% ± 1	0.4% ± 1	1% ± 1	2% ± 1	5% ± 1
200KHz ❶	15.91H 7.957H	7.957H 795.7mH	795.7mH 79.57mH	79.57mH 7.957mH	7.957mH 795.7uH	795.7uH 79.57uH	79.57uH 0.795uH	0.795uH 0.079uH
	NA	5% ± 1	2% ± 1	1% ± 1	0.4% ± 1	1% ± 1	2% ± 1	5% ± 1

Calculul preciziei măsurătorilor pentru impedanța condensatoarelor (C_{Ae}) se realizează astfel:

$$|Z_x| = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_x} \quad (3)$$

unde:

C_{Ae} =precizia cu care a fost executată măsurătoarea

f =frecvența de testare (Hz)

C_x =valoarea capacității măsurate (F)

$|Z_x|$ =valoarea modulului impedanței măsurate (Ω)

Exemplu:

Condiții de testare:

Frecvență: 1KHz

Nivel de tensiune: 1Vrms

Capacitatea măsurată (DUT-Device Under Test): 100nF

Rezultă:

$$\begin{aligned} |Z_x| &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_x} \\ &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 1590 \Omega \end{aligned}$$

Din tabelul 1 rezultă că precizia măsurătorii este:

$$C_{Ae} = \pm 0.1\%$$

Calculul preciziei măsurătorilor pentru impedanța bobinelor (L_{Ae}) se realizează astfel:

$$|Z_x| = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_x \quad (4)$$

unde:

L_{Ae} =precizia cu care a fost executată măsurătoarea

f =frecvența de testare (Hz)

L_x =valoarea inducției măsurate (H)

$|Z_x|$ =valoarea modulului impedanței măsurate (Ω)

Exemplu:

Condiții de testare:

Frecvență: 1KHz

Nivel de tensiune: 1Vrms

Inducția măsurată (DUT-Device Under Test): 1mH

Rezultă:

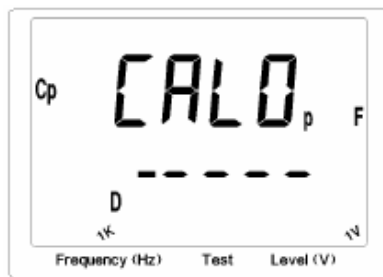
$$\begin{aligned} |Z_x| &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_x \\ &= 2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 6.283 \Omega \end{aligned}$$

Din tabelul 2 rezultă că precizia măsurătorii este:

$$L_{Ae} = \pm 0.5\%$$

4. Mersul lucrării și scheme de montaj

Pentru măsurători de o mai bună precizie, aparatul BK 889A dispune de posibilitatea calibrării după fiecare măsurătoare. Așadar, înainte de execuția oricărei măsurători trebuie apăsat butonul OPEN până apare următoarea indicație pe ecran:



Calibrarea va dura aproximativ 15 secunde, urmând ca apoi aparatul să anunțe posibilitatea executării unei măsurători printr-un beep.

BK 889A este o punte ce se auto-echilibrează, având patru terminale: Terminalul LCUR (Low Current), Terminalul LPOT (Low Potential), Terminalul HPOT (High Potential) și Terminalul HCUR (High Current). Acestea sunt utilizate pentru a introduce valorile maxime și minime de curent și tensiune în DUT (Device Under Test= Componenta măsurată).

Pentru obținerea măsurătorilor se vor crea trei scheme de montaj:

1. Schema 2T (Două terminale pe DUT) (aparatul BK 889A)
 2. Schema 4T (Patru terminale pe DUT) (aparatul BK 889A)
 3. Schema de măsurare cu Capacitance Meter (aparatul BK 830B)
-
1. Schema 2T este cea mai ușoară modalitate prin care se pot determina valorile pentru componenta măsurată, dar această metodă introduce și cele mai mari erori de măsurare. Aceste erori sunt datorate inductanței parazite, rezistenței parazite precum și a capacității parazite ce apar o dată cu executarea măsurătorii. Datorită acestor erori de măsurare, valoarea impedanței pentru componenta măsurată se va afla între limitele 100Ω până la 10KΩ.

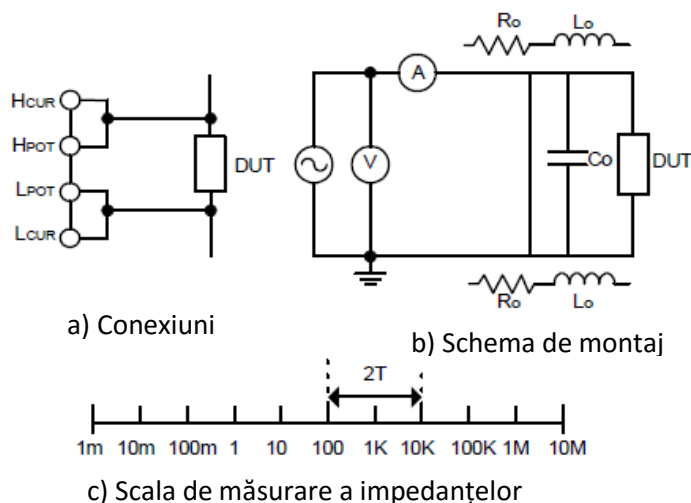


Fig. 6: Schema de montaj pentru conexiunea 2T

2. Schema 4T reduce erorile datorate rezistențelor parazite. Această conexiune mărește intervalul impedanțelor măsurate; astfel se vor putea măsura impedanțe cuprinse în intervalul 10m Ω până la 10K Ω . Inductanțele și capacitățile parazite nu vor putea fi eliminate.

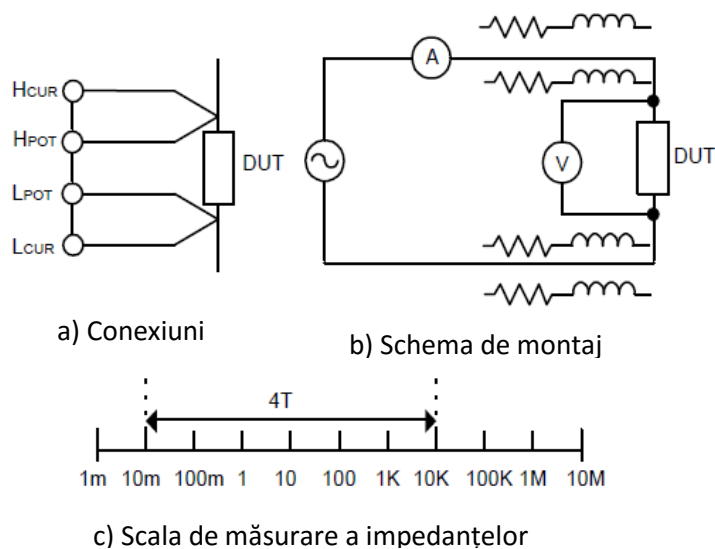


Fig. 7: Schema de montaj pentru conexiunea 4T

3. Pentru a realiza măsurătorile cu Capacitance Meter BK 830B trebuie conectat condensatorul la bornele +/- ale aparatului. Capacitățile măsurate trebuie să fie mai mari de $1000\mu\text{F}$. Înainte de orice măsurătoare trebuie să fie descărcat condensatorul. Apoi acesta se leagă la borna +, urmând ca să se apese butonul REL pentru a se calibra, apoi se leagă și borna -. Trebuie ca utilizatorul să se asigure cu privire la polaritatea condensatorului. Citirea se va efectua pe ecranul aparatului.

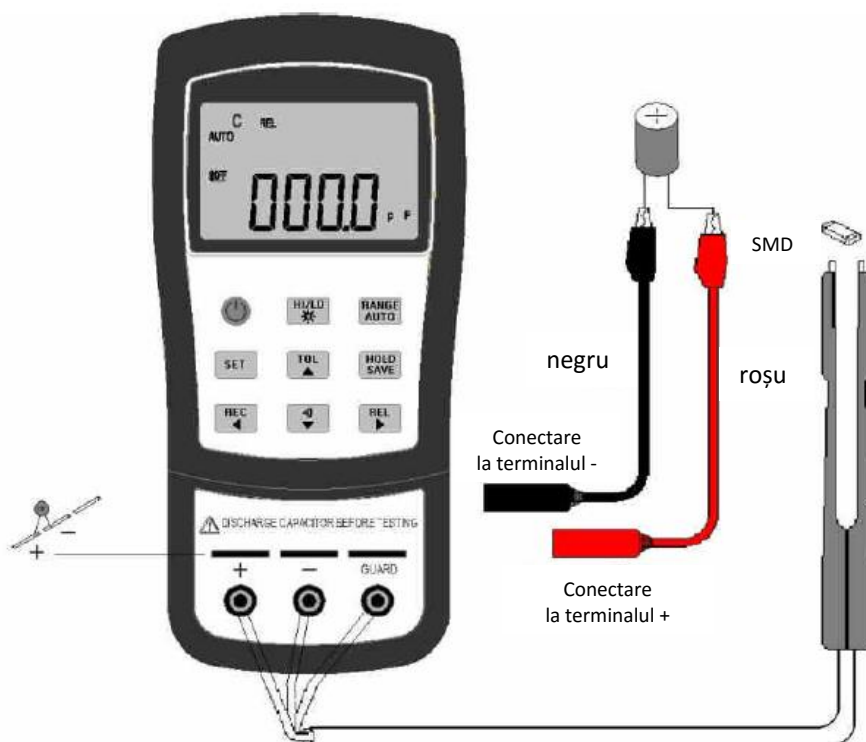


Fig. 8: Schema de montaj pentru măsurătorile cu Capacitance Meter BK 830B

Această lucrare este realizată în scopul determinării inductanței și capacității diferitelor componente electrice.

Pentru realizarea măsurătorilor pentru determinarea impedanței se vor lua 3 bobine măsurate la lucrarea de laborator anterioară (Q-metru) urmând ca acestea să fie măsurate cu ajutorul aparatului BK 889A folosindu-se schema 2T, iar apoi 4T. Se vor completa Tabelul 3, Tabelul 4 și Tabelul 5. În urma măsurătorilor se vor calcula erorile de măsurare dintre 2T-Qmetru și 4T-Qmetru, iar apoi se reprezintă grafic erorile absolute și relative în raport cu mărimea măsurată (impedanța) (măsurate cu Q-metru, cu schema 2T și cu schema 4T).

Pentru realizarea măsurătorilor pentru determinarea capacității se vor lua 3 condensatoare urmând ca acestea să fie măsurate cu ajutorul aparatului BK 889A folosindu-se schema 2T, 4T, iar în final se va folosi Capacitance Meter-ul BK830B. Se va completa Tabelul 6, Tabelul 7 și Tabelul 8. În urma măsurătorilor se vor calcula erorile de măsurare, iar apoi se reprezintă grafic erorile absolute și relative în raport cu mărimea măsurată (capacitatea) (măsurate cu schema 2T, cu schema 4T și cu BK 830B).

Tabelul 3. 2T-Q-metru

Nr. crt.	L [mH] (Q-metru)	L [mH] (2T)	ϵ_a [mH]	ϵ_r [%]

Tabelul 4. 4T-Q-metru

Nr. crt.	L [mH] (Q-metru)	L [mH] (4T)	ϵ_a [mH]	ϵ_r [%]

Tabelul 5. 2T-4T

Nr. crt.	L [mH] (2T)	L [mH] (4T)	ε_a [mH]	ε_r [%]

Tabelul 6. 2T-BK 830B

Nr. crt.	C [pF] (BK 830B)	C [pF] (2T)	ε_a [pF]	ε_r [%]

Tabelul 7. 4T-BK 830B

Nr. crt.	C [pF] (BK830B)	C [pF] (4T)	ε_a [pF]	ε_r [%]

Tabelul 8. 2T-4T

Nr. crt.	C [pF] (2T)	C [pF] (4T)	ϵ_a [pF]	ϵ_r [%]

5. Notatii

Tabelul 9 prezintă notațiile folosite în această lucrare.

Tabelul 9

Termen	Explicație
ω	Pulsăția
C	Capacitate
C_{Ae}	Precizia cu care a fost executată măsurătoarea
C_X	Valoarea capacității măsurate
ϵ_a	Eroarea absolută
ϵ_r	Eroarea relativă
f	Frecvență
L	Inducție
L_{Ae}	Precizia cu care a fost executată măsurătoarea
L_X	Valoarea inducției măsurate
R_S	Rezistență
X_S	Reactanță
X_C	Reactanță inductivă
X_L	Reactanță capacitivă
Z	Impedanță
$ Z_X $	Valoarea modulului impedanței măsurate