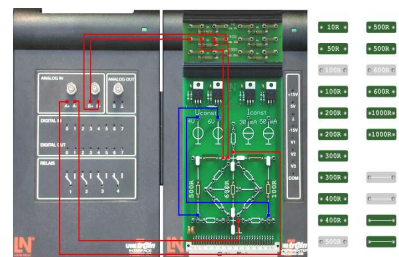
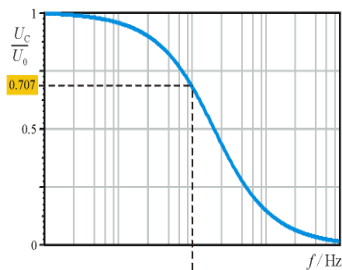
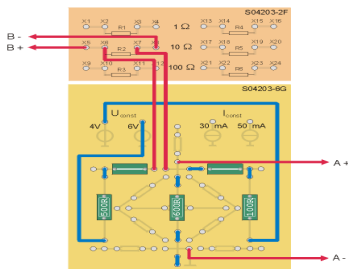
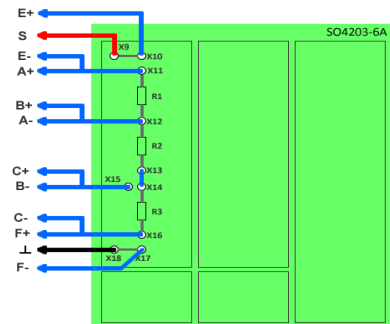
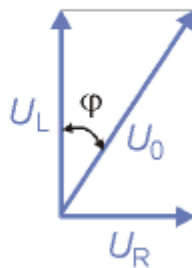
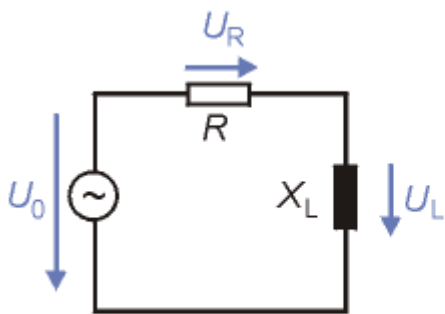


INDRUMAR PENTRU LABORATORUL DE ELECTROTEHNICA

2021



Universitatea Maritima Constanta
Nutu Catalin Silviu

Nutu Catalin Silviu

**INDRUMAR PENTRU LABORATORUL DE
ELECTROTEHNICA**



Nutu Catalin Silviu

**INDRUMAR PENTRU LABORATORUL DE
ELECTROTEHNICA**



**Editura
NAUTICA**

Constanța 2022

Copyright © Editura NAUTICA, 2011
pentru prezenta ediție

Editura **NAUTICA**, 2011
Editură recunoscută de CNCSIS
Str. Mircea cel Bătrân nr.104
900663 Constanța, România
tel.: +40-241-66.47.40
fax: +40-241-61.72.60
e-mail: info@cmu-edu.eu

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României:

se va completa de către Biblioteca Națională a României

pr

Titlul lucrării / autor(i) – Constanța: Nautica, 2011

Bibliogr.

ISBN XXX (*disponibil la solicitare*)

XXX(număr CIP) (*disponibil la solicitare*)

Nutu Catalin Silviu

Cuprinsul Indrumarului de laborator pentru Electrotehnica

Introducere / pag.5

Reguli de securitate si protectia muncii / pag.6

Prezentarea dispozitivelor si aparaturii de laborator / pag.11

Formularul studentului / pag.12

Lucrari de laborator la Teoria Circuitelor Electrice:

Lucrarea 1: Conectarea in serie a rezistoarelor / pag.15

Lucrarea 2: Conectarea in parallel a rezistoarelor / pag.19

Lucrarea 3: Verificarea Teoremei I a lui Kirchhoff pentru circuite de curent continuu / pag.23

Lucrarea 4: Verificarea Teoremei a II-a a lui Kirchhoff pentru circuite de curent continuu / pag.27

Lucrarea 5: Verificarea Teoremei Superpozitiei pentru circuite de curent continuu / pag.31

Lucrarea 6: Verificarea Teoremei Reciprocitatii pentru circuite de curent continuu / pag.35

Lucrarea 7: Divizorul de tensiune / pag.39

Lucrarea 8: Divizorul de curent / pag.43

Lucrarea 9: Circuitul serie de curent alternativ monofazat RL / pag.46

Lucrarea 10: Circuitul serie de curent alternativ monofazat RC / pag.54

Lucrarea 11: Rezonanta circuitului serie de curent alternativ monofazat RLC / pag.62

Lucrarea 12: Rezonanta circuitului paralel de curent alternativ monofazat RLC / pag.70

Lucrarea 13: Filtrul Lowpass RC / pag.78

Lucrarea 14: Filtrul Highpass RL / pag.83

Bibliografie / pag.88

I) Introducere

Prezentul capitol de Introducere reprezinta prima parte a Indrumarului.

Acesta este urmat de Regulile de securitate si protectia muncii care trebuie respectate in Laboratorul de Electrotehnica.

In urmatorul capitol sunt prezentate dispozitivele si aparatura de laborator, care sunt utilizate numai in cadrul lucrarilor cu aparatura clasica de laborator

Urmatorul capitol contine Formularul studentului, formular ce trebuie completat dupa fiecare lucrare de laborator efectuata.

Prezentarea fiecărei lucrări de laborator se bazează pe aceeași structură, și anume: montajul și respectiv circuitul electric aferent respectivei lucrări, componentele pe care acesta le conține, considerațiile teoretice care stau la baza fiecărei lucrări de laborator, modul de lucru aferent respectivei lucrări de laborator, tabelele cu rezultatele calculate, respectiv rezultatele experimentale obținute prin măsurare (determinare) și interpretările și concluziile aferente respectivei lucrări de laborator.

II) Norme si instructiuni de securitate si protectia muncii in Laboratorul de Electrotehnica

Urmatoarele norme si instructiuni de protectia muncii sunt valabile atat pentru aparatura clasica de laborator cat si pentru standurile Lucas Nuelle si au fost prezentate verbal si in scris si explicate studentilor participanti la orele de laborator:

- 1) Studentilor le este permisa intrarea in laborator numai in prezenta laborantului.
- 2) Aparatura de laborator se utilizeaza numai cu acordul laborantului.
- 3) Jocurile si/sau glumele sunt strict interzise in laborator.
- 4) Aparatele de masura utilizate se folosesc cu atentie; scala utilizata va fi determinata in urma evaluarii marimilor electrice ce urmeaza a fi masurate, astfel incat scala folosita sa fie de CC sau de CA, si in domeniul de masura al marimilor electrice respective (tensiune, current, etc). In cazul in care, in circuitele de current continuu, acul indicator al aparatului nedigital bate invers (sub zero), aparatului ii va fi inversata polaritatea bornelor (vor fi inversate bornele aparatului).
- 5) Valoarea aparatului, respectiv contravaloarea lucrarilor de reparatie a aparatelor distruse sau defectate, va fi imputata studentului/ studentilor raspunzatori.
- 6) Nu se va atinge in nici un moment montajul aflat sub tensiune, cu atat mai putin partile neizolate ale acestuia. **Atingerea cu ambele maini a montajului sub tensiune este STRICT INTERZISA!!!**
- 7) Este interzisa folosirea in montaje a conductoarelor neizolate, precum si a nodurilor in aer.

8) Modificarile montajului vor fi realizate numai dupa scoaterea acestuia de sub tensiune si vor fi realizate numai dupa informarea si acordul prealabile ale laborantului.

9) Pozitionarea aparatelor de masura va fi realizata astfel incat sa permita citirea cu usurinta a valorilor indicate, iar in cazul elementelor de circuit variabile, pozitia acestora sa permita modificarea cu usurinta a parametrilor acestora.

10) Orice defect sau situatie speciala va fi adusa la cunostinta laborantului.
In caz de pericol este permisa intreruperea alimentarii prin apasarea butonului rosu de urgenta al pupitrului de tensiune, de catre orice student!!!

11) In cazul in care montajul lucrarii contine sau a continut condensatoare, se va face inainte de efectuarea montajului si/sau dupa finalizarea realizarii montajului, descarcarea condensatorului, prin scurtcircuitarea bornelor condensatorului, utilizand un conductor izolat, fara a atinge capetele conductoare.

12) Desfacerea montajului se realizeaza numai dupa oprirea alimentarii cu tensiune, astfel incat nici o borna a montajului sau conductor sa nu se afle sub tensiune, **luandu-se in considerare inclusiv descarcarea condensatoarelor, daca montajul afferent lucrarii a continut condensatoare!**

Prezentele Norme de Securitate si Protectia Muncii in Laboratorul de Electrotehnica, mi-au fost explicate, le-am inteles si le voi respecta cu strictete, intomai:

Lista studentilor care au luat la cunostinta de Normele de Protectia Muncii in Laboratorul de Electrotehnica si s-au angajat sa le respecte cu strictete, intocmai:

Nr.crt.	Nume si prenume	Grupa	CNP	Semnatura
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				

29				
30				
31				
32				
33				

III) Prezentarea dispozitivelor aferente aparaturii clasice din laborator

Prezentarea urmatoare se refera numai la aparatura clasica din laborator!

Sursele de tensiune utilizate in cadrul lucrarilor de laborator sunt fie de curent continuu (CC) sau de curent alternative (CA). Ambele sunt fie cu valoare fixa, sau cu valoare reglabila (intre 0 si 250V).

Pentru intreruperea alimentarii circuitului sunt utilizate intreruptoarele electrice (monopolare, bipolare, tripolare), pentru comutare sunt utilizate comutatoarele (monopolare sau bipolare), in timp ce pentru inversarea curentului sunt utilizate inversoarele electrice.

Rezistoarele utilizate sunt fie rezistoare cu valoare fixa, fie cu valoare variabila care sunt denumite si reostate.

Instrumentele (aparatele) de masura folosite in laboratorul de electrotehnica sunt aparate de curent continuu sau de curent alternative, sau aparate de masura care pot fi utilizate pentru ambele tipuri de masuratori (marcate corespunzator cu ambele semne pentru dc si ac)

Alta clasificare a aparatelor de masura tine cont de marimea pe care acestea o masoara; acestea pot masura o singura marime (intensitatea, tensiunea, puterea etc.), fiind ampermetre, voltmetre, wattmeter, sau acelasi instrument de masura poate masura marimi diverse (bineinteles atunci cand este setat corespunzator pe respectiva marime electrica), si atunci se numesc multimetre.

Alta clasificare a aparatelor de masura tine cont de principiul de functionare al acestora, ele putand fi clasificate in aparate de masura magnetoelectrice, magnetomotoare, electrodinamice sau electromagnetice.

Alte elemente de circuit utilizate in cadrul lucrarilor de laborator, in afara rezistoarelor, sunt condensatoarele (capacitoarele) si bobinele (inductoarele), care sunt parte a lucrarilor aferente circuitelor de curent alternativ.

Formularul studentului

Universitatea Maritima Constanta

Numele si prenumele studentului:

.....

.....

An/Grupa

Titlul lucrarii de laborator

.....

1. Montajul si Schema electrica aferente lucrarii:

2. Dispozitivele si aparatura electrica utilizate pentru lucrarea de laborator:

3. Chestiuni de studiat:

4. Teoria si formulele utilizate pentru obtinerea rezultatelor teoretice:

5. Tabelul cu rezultatele calculate si rezultatele determinate prin masurare:

6. Concluzii si interpretarea rezultatelor:

Semnatura studentului:

.....

Observatiile profesorului:

Nota:.....

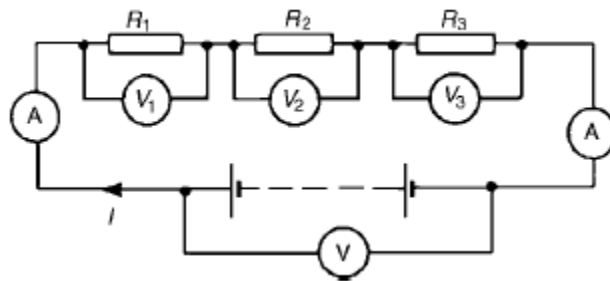
Semnatura profesorului:

.....

Lucrari de laborator la Teoria Circuitelor Electrice

1) Conectarea rezistoarelor in serie

Diagrama circuitului electric:



Componentele circuitului electric:

2 ampermetre, 4 voltmetre, o sursa de tensiune si 3 rezistoare conectate in serie

Consideratii teoretice

In circuitul de rezistoare conectate in serie, de mai sus, rezistoarele sunt conectate capat la capat si conexiunea serie indeplineste conditiile:

a) Curentul care circula prin fiecare resistor este acelasi si este curentul masurat de cele doua ampermetre

b) Tensiunea totala inregistrata de catre voltmetrul V reprezinta suma tensiunilor V_1 , V_2 and V_3 , adica: $V = V_1 + V_2 + V_3$

Prin aplicarea Legii lui Ohm pentru fiecare resistor rezulta:

$IR_{es} = IR_1 + IR_2 + IR_3$, si apoi, impartind prin curentul I , rezulta:

$R_{es}=R_1+R_2+R_3$, care reprezinta de fapt formula de calcul pentru conectarea in serie a 3 rezistoare

Formula de calcul pentru n rezistoare conectate in serie se determina in acelasi mod si are forma:

$$R_{es}=R_1+R_2+R_3+\dots+R_n$$

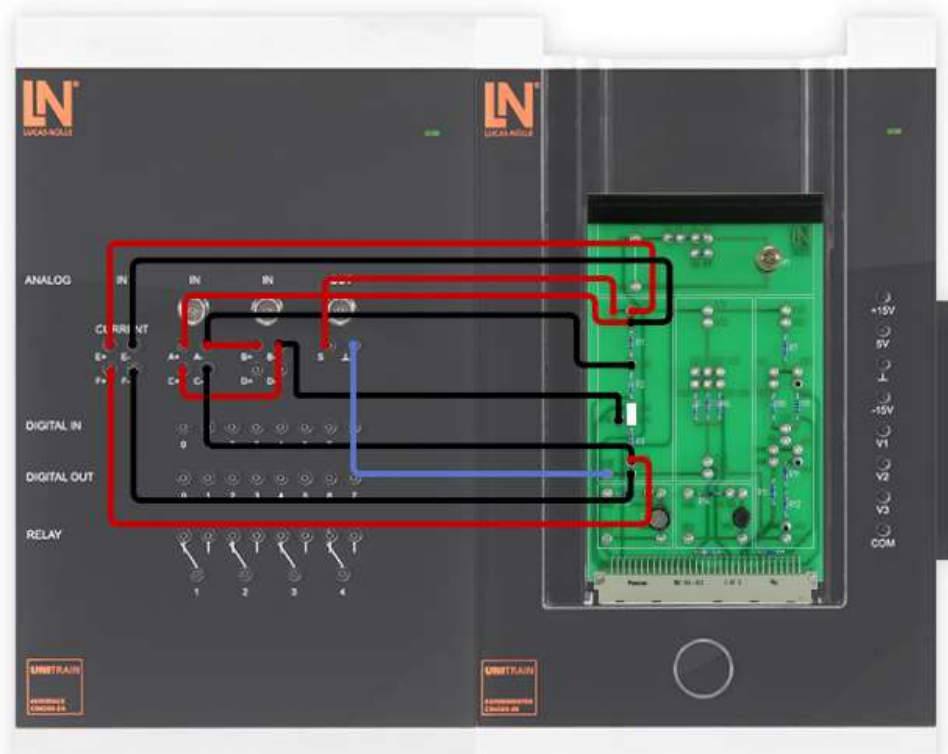
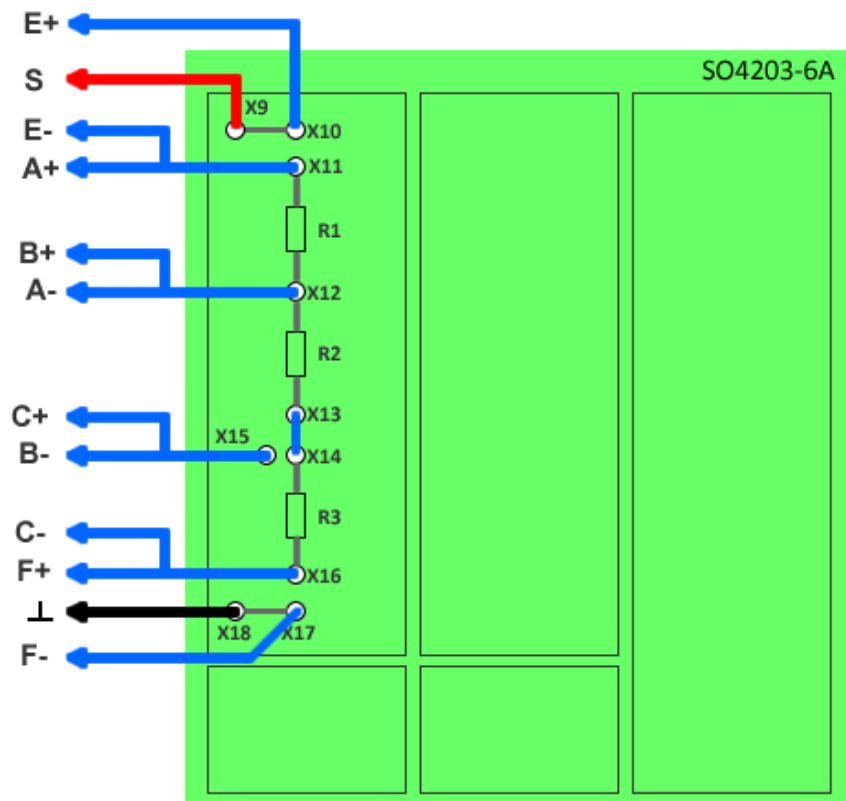
Modul de lucru:

A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini

B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale

C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4203 6A aferenta echipamentului Lucas Nuelle

D) Se realizeza montajul din imaginea de mai jos, utilizand placa de circuit SO 4203 6A aferenta echipamentului Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si rezistoare si se conecteaza montajul astfel realizat la sursa de tensiune de pe modulul din stanga al echipamentului Lucas Nuelle, corespunzator imaginilor de mai jos



Tema de laborator aferenta lucrarii consta in verificarea, cu ajutorul circuitului generat anterior a urmatoarelor:

1) Verificarea cu ajutorul unui aparat ampermetru virtual sau real (multimetru setat cu functia de ampermetru) ca intensitatea curentului masurata in doua locatii distincte ale circuitului, prin rezistoarele care formeaza conexiunea serie, este aceeaasi

2) Verificarea cu ajutorul unui aparat voltmetru virtual sau real (multimetru setat cu functia de voltmetru), ca tensiunea de alimentare de la bornele sursei, aceeaasi cu tensiunea la bornele conexiunii serie, reprezinta suma tensiunilor la bornele fiecarei resistor.

3) Verificarea formulei de calcul pentru 3 rezistoare conectate in serie, cu ajutorul unui multimetru, utilizand functia de ohmmetru a acestuia

Rezultate pentru circuitul corespunzator conexiunii serie:

1) Valorile intensitatilor curentilor care circula prin fiecare rezistor:

Valoarea intensitatii curentului care intra in conexiunea serie:	$I =$
Valoarea intensitatii curentului care iese din conexiunea serie:	$I =$

2) Verificarea regulii referitoare la tensiune:

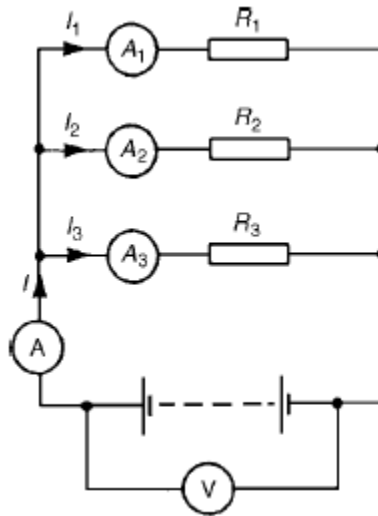
Tensiunea la bornele rezistorului R_1 este:	$U_1 = \dots$
Tensiunea la bornele rezistorului R_2 este:	$U_2 = \dots$
Tensiunea la bornele rezistorului R_3 este:	$U_3 = \dots$
Tensiunea la bornele rezistorului echivalent R_{es} este:	$U = U_1 + U_2 + U_3 = \dots$

3) Verificarea formulei pentru 3 seturi diferite de rezistoare:

Valori masurate	1 st set	2 nd set	3 rd set
R_1			
R_2			
R_3			
R_{es}			

2) Conectarea rezistoarelor in paralel

Diagrama circuitului electric



Componentele circuitului electric

4 ampermetre, 1 voltmetru, 1 sursa de tensiune si 3 rezistoare conectate in paralel

Consideratii teoretice

In circuitul de mai sus rezistoarele sunt conectate in paralel, toate in paralel cu bornele sursei de tensiune:

Circuitul astfel format indeplineste conditiile:

- a) Curentul I reprezinta suma curentilor I_1 , I_2 and I_3 : $I = I_1 + I_2 + I_3$
- b) Tensiunea la bornele fiecarui rezistor este aceeași și este egală cu tensiunea la bornele sursei

Prin aplicarea Legii lui Ohm pentru fiecare dintre cele 3 rezistoare:

$$I_1 = V/R_1, I_2 = V/R_2 \text{ și } I_3 = V/R_3$$

Aplicand aceeași Lege a lui Ohm pentru rezistorul echivalent al conexiunii in paralel, rezulta: R_p is: $I = V/R_p$

Prin egalarea termenilor din relatia a) rezulta:

$$V/R_p = V/R_1 + V/R_2 + V/R_3$$

Prin impartire la tensiunea V, rezulta:

$$1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3, \text{ valabila pentru 3 rezistoare conectate in paralel.}$$

Formula pentru n rezistoare conectate in parallel se determina in acelasi mod si are forma:

$$1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n$$

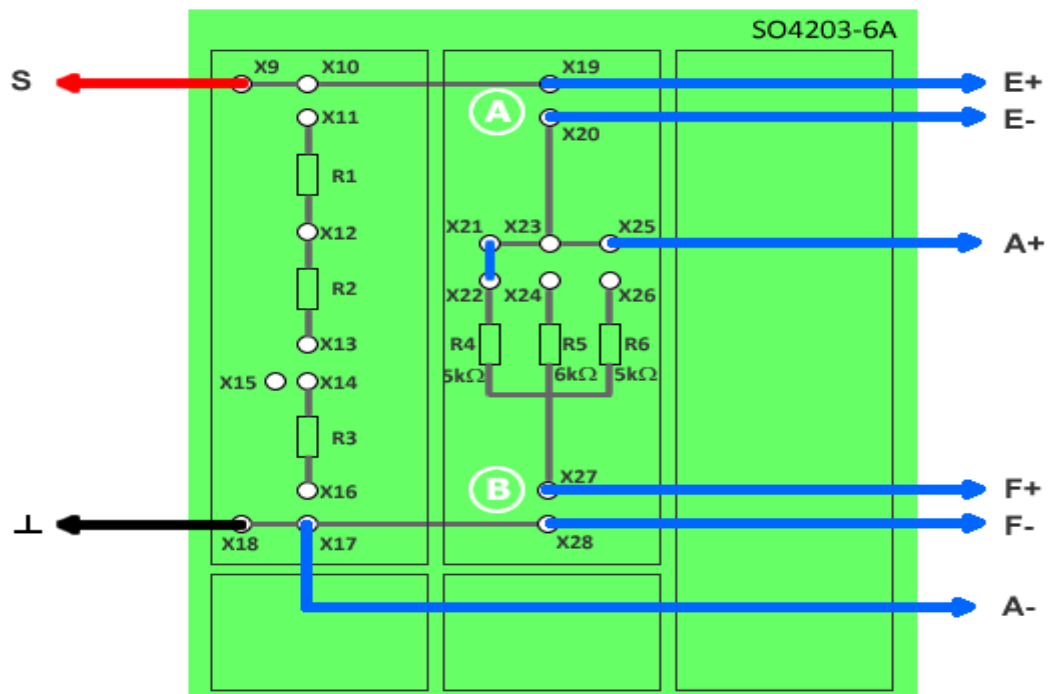
Modul de lucru:

A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini

B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale

C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4203 6A aferenta echipamentului Lucas Nuelle

D) Se realizeza montajul corespunzator diagramei, utilizand placa de circuit SO 4203 6A aferenta echipamentului Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si rezistoare si se conecteaza montajul astfel realizat la sursa de tensiune de pe modulul din stanga al echipamentului Lucas Nuelle, corespunzator imaginilor de mai jos



Se verifica conditiile conexiunii paralel, si anume:

- 1) Suma intensitatilor curenților care parcurg fiecare rezistor este egala cu intensitatea curentului care intra/iese in/din sursa de tensiune
- 2) Formula pentru 3 rezistoare conectate in parallel se verifica utilizand functia de ohmmetru a unui multimetru

Rezulate pentru conectarea in parallel a rezistoarelor:

- 1) Verificarea conditiei referitoare la intensitatile curenților:

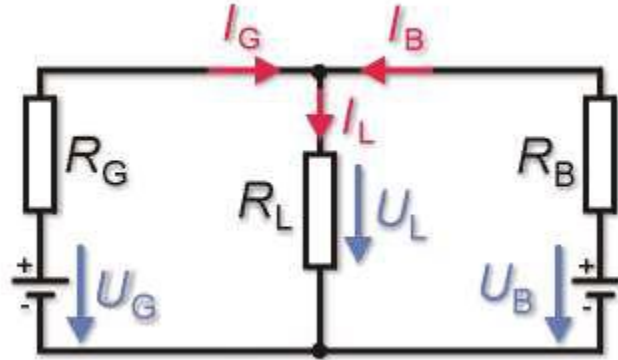
Curentul care intra in rezistorul R_1 este:	$I_1 = \dots$
Curentul care intra in rezistorul R_2 este:	$I_2 = \dots$
Curentul care intra in rezistorul R_3 este:	$I_3 = \dots$
Curentul din/in rezistorul echivalent R_{ep} este:	$I = I_1 + I_2 + I_3 =$

- 2) Verificarea formulei pentru rezistenta echivalenta a conexiunii in paralel:

Valori masurate	1 st set	2 nd set	3 rd set
R_1			
R_2			
R_3			
R_{ep}			

3) Teorema I a lui Kirchhoff pentru circuite electrice de current continuu

Diagrama circuitului electric :



Componentele montajului electric

1. A_1 , A_2 si A_3 , ampermetre utilizate pentru determinarea curentilor prin laturi
2. Valorile componentelor circuitului (E_1 , E_2 , R_1 , R_2 and R_3) vor fi masurate inaintea verificarii Teoremelor lui Kirchhoff

Consideratii teoretice:

Consideram un circuit electric de current continuu cu $n=2$ noduri si $l=3$ laturi, avand o-2 ochiuri fundamentale.

Se va verifica Teorema I a lui Kirchhoff

Teorema I a lui Kirchhoff (referitoare la curenti): *In fiecare nod al unui circuit electric suma algebrica a curentilor apartinand respectivului node este nula. Suma algebrica este calculate tinand cont ca sunt considerate pozitivi curentii care ies din nod si negativi, curentii care intra in nod.*

Sau in forma ei echivalenta:

In orice nod al unui circuit electric suma curentilor care intra in acel nod este egala cu suma curentilor care ies din acel nod.

$$\sum_{K=1}^L I_K = 0$$

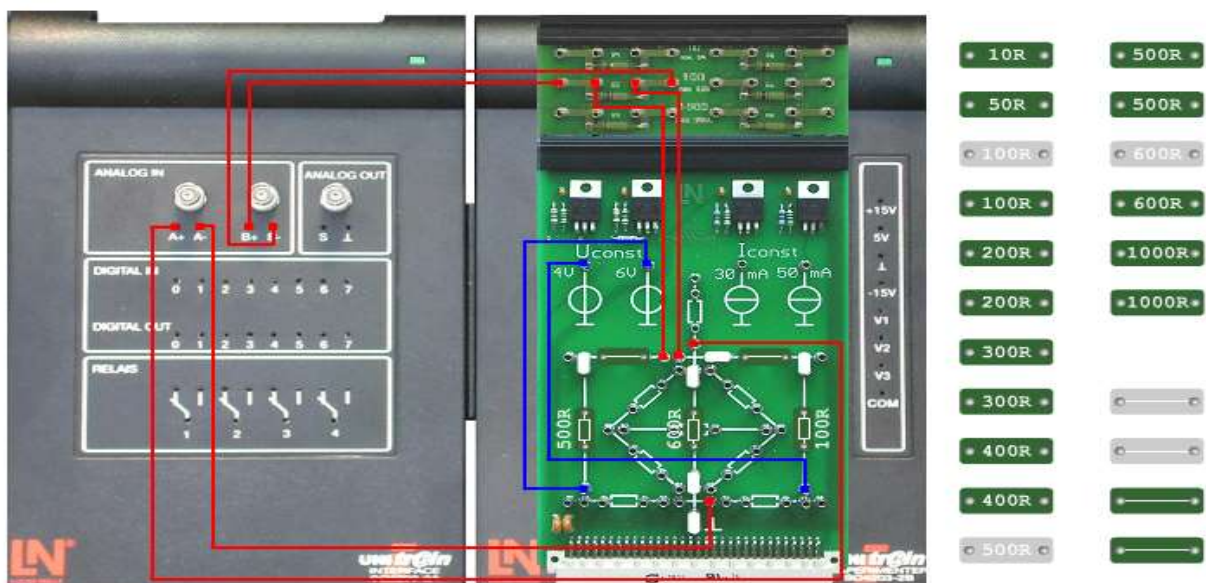
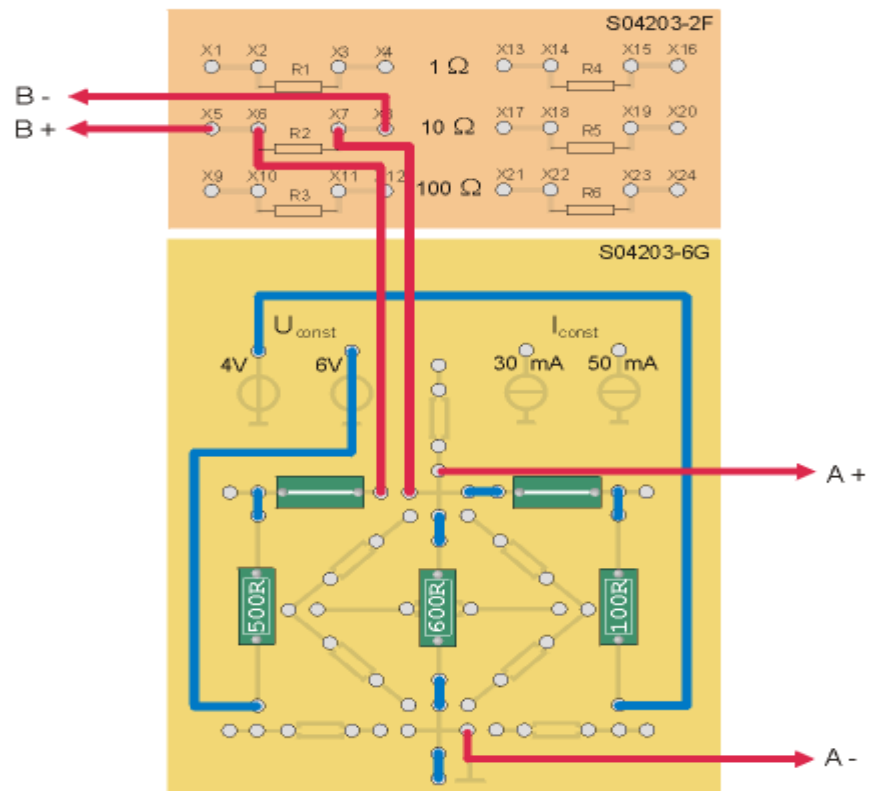
Modul de lucru:

A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini

B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale

C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4203 6G si placuta aditionala SO 4203 2F, cu rezistoare pentru ampermetrul B cu rezistenta de shunt ce va fi folosit aferenta echipamentului Lucas Nuelle

D) Se realizeza montajul din imaginea de mai jos, utilizand cele doua placi de circuit aferente echipamentului Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si rezistoare si se conecteaza montajul corespunzator imaginilor de mai jos



Se considera: $I_1 = I_G$, $I_2 = I_B$, $I_3 = I_L$

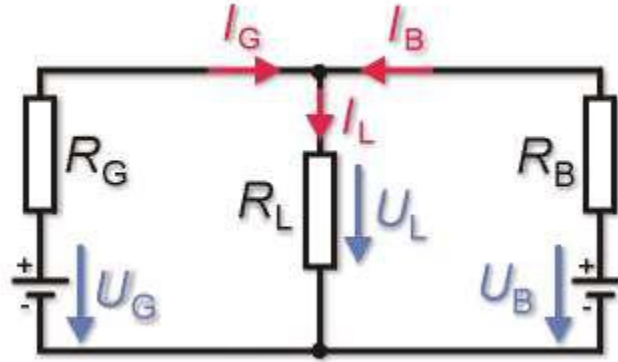
- Se calculeaza valorile curenților (curenții din laturi, pentru a rezolva circuitul, se vor considera pozitivi dacă sunt în sensul din diagrama electrică) se determina rezolvand sistemul algebric corespunzator Teoremelor Kirchhoff
- Se verifica Teorema I Kirchhoff, masurand curenții înregistrați în fiecare latura a circuitului
- Valorile teoretice (rezultatele calculate) împreuna cu valorile experimentale (rezultatele masurate) se completeaza în tabelul urmator:

Rezultatele pentru Teorema I a lui Kirchhoff

Rezultate calculate			Rezultate masurate		
I_1	I_2	I	I_1	I_2	I
[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]

4) Teorema a II-a a lui Kirchhoff pentru circuite electrice de current continuu

Diagrama circuitului electric :



Componentele montajului electric

1. A_1 , A_2 si A_3 , ampermetre utilizate pentru determinarea curentilor prin laturi
2. Valorile componentelor circuitului (E_1 , E_2 , R_1 , R_2 and R_3) vor fi masurate inaintea verificarii Teoremelor lui Kirchhoff

Consideratii teoretice:

Consideram un circuit electric de current continuu cu $n=2$ noduri si $l=3$ laturi, avand o-2 ochiuri fundamentale.

Se va verifica Teorema II a lui Kirchhoff

Pentru fiecare din cele doua ochiuri fundamentale considerate, tinand cont de valorile masurate ale curentilor prin laturi, se va verifica Teorema a II-a a lui Kirchhoff, adica daca consideram pozitiva orientarea orara a celor doua ochiuri:

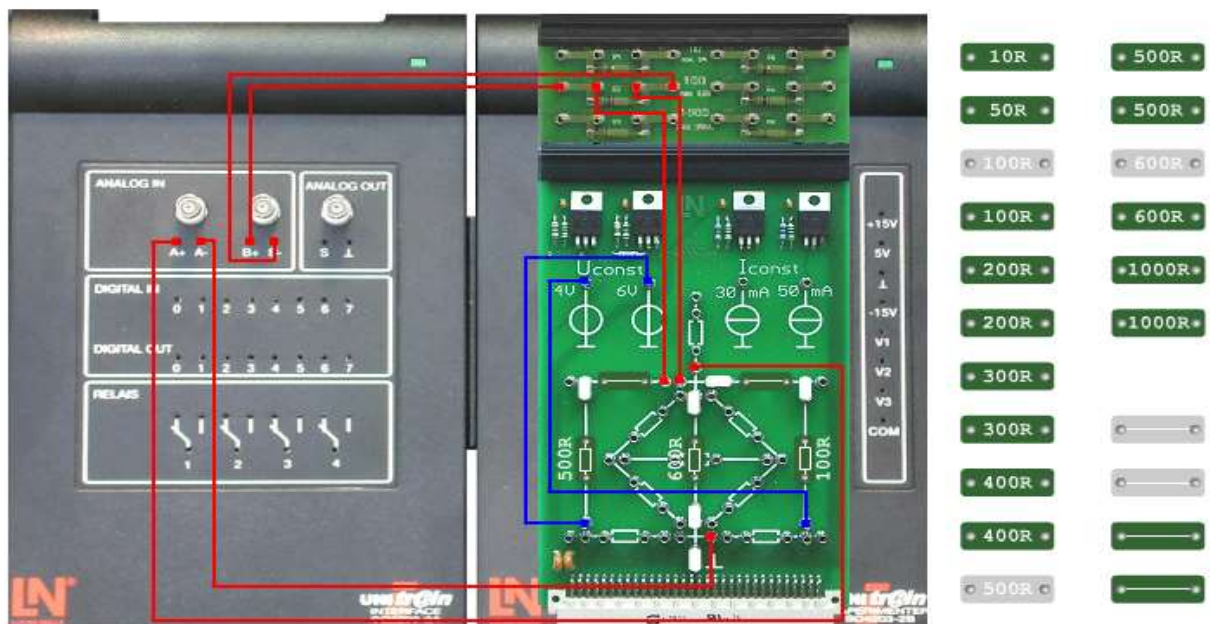
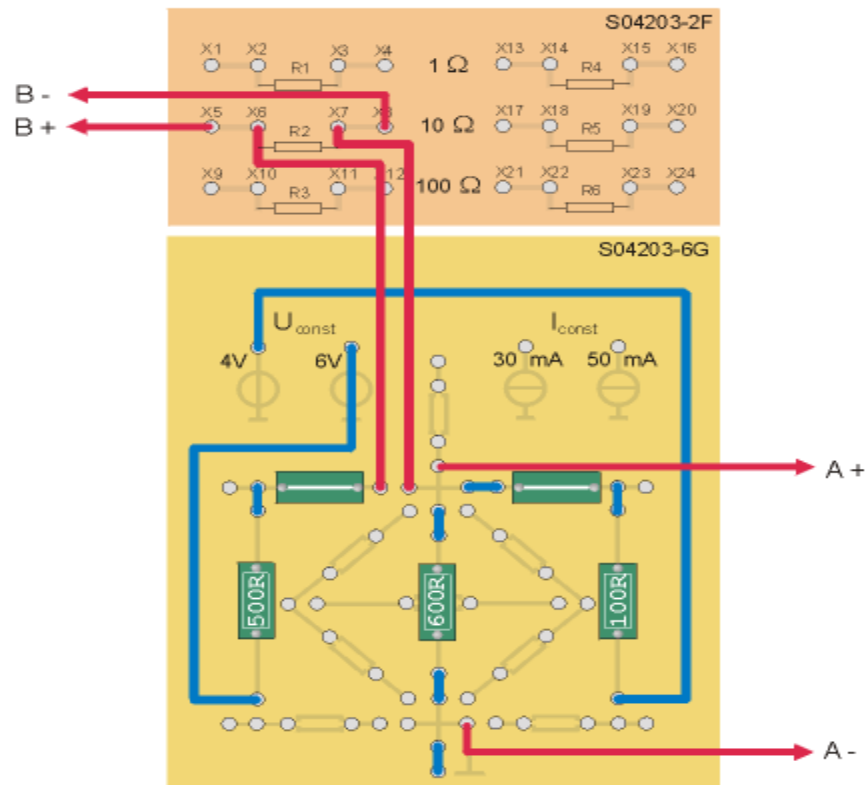
- a) Pentru ochiul fundamental stang: $E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$
- b) Pentru ochiul fundamental drept: $E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3$

Teorema a II-a a lui Kirchhoff (referitoare la tensiuni): *In orice ochi fundamental al unei retele electrice, suma algebrica a caderilor de tensiune (produse dintre curenți și rezistențe), de-a lungul ochiului, este egală cu suma algebrica a tensiunilor electromotoare care acționează în ochiul respectiv. Suma algebrica a caderilor de tensiune este considerată pozitivă dacă orientarea curentului prin latura respectivă este aceeași cu orientarea aleasă pentru parcurgerea ochiului. Tensiunile electromotoare sunt considerate pozitive dacă sensul de parcurgere al ochiului parcurge sursele de la borna negativă la borna pozitivă a acestora, și negative dacă sunt parcurse invers.*

$$\sum_{K=1}^L E_K = \sum_{K=1}^L R_K \cdot I_K$$

Modul de lucru:

- A) Se instalează standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele două module principale, modulul de alimentare cu tensiune și modulul de introducere card, cele două fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini
- B) Se conectează modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizând mufa corespunzătoare și priza de tensiune de perete, iar pe de altă parte modulul principal se conectează la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurată comunicarea cu computerul în vederea utilizării aparatelor de măsură virtuale
- C) Se introduce în slotul de card, placa de circuit SO 4203 6G și placuta adițională SO 4203 2F, cu rezistoare pentru ampermetrul B cu rezistență de shunt ce va fi folosit aferent echipamentului Lucas Nuelle
- D) Se realizează montajul din imaginea de mai jos, utilizând cele două plăci de circuit aferente echipamentului Lucas Nuelle și elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori și rezistoare și se conectează montajul corespunzător imaginilor de mai jos



Se aleg sensuri arbitrare pentru ochiurile circuitului si se completeaza tabelul urmator:

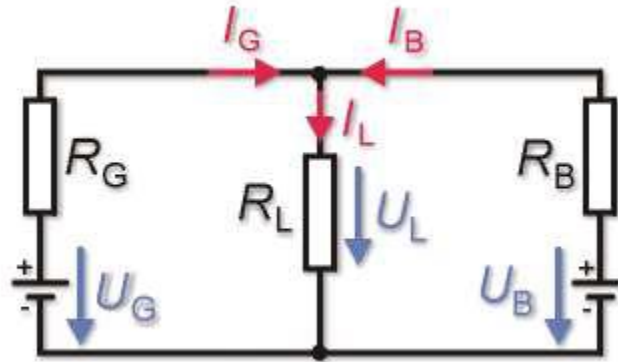
Se considera: $I_1 = I_G$, $I_2 = I_B$, $I_3 = I_L$

Rezultatele verificarii Teoremei a II-a a lui Kirchhoff:

$E_1 = \dots$	$I_1 =$	$R_1 =$	$I_1 R_1$
$E_2 = \dots$	$I_2 =$	$R_2 =$	$I_2 R_2$
	$I_3 =$	$R_3 =$	$I_3 R_3$
$E_1 - E_2 = \dots$			
$I_1 R_1 - I_2 R_2 = \dots$			
$E_2 = \dots$			
$I_2 R_2 + I_3 R_3 = \dots$			

5) Teorema Superpozitiei pentru circuite electrice de curent continuu

Diagrama circuitului electric :



Componentele montajului electric

1. A_1 , A_2 si A_3 , ampermetre utilizate pentru determinarea curentilor prin laturi
2. Valorile componentelor circuitului (E_1 , E_2 , R_1 , R_2 and R_3) vor fi masurate inaintea verificarii Teoremelor lui Kirchhoff

Consideratii teoretice:

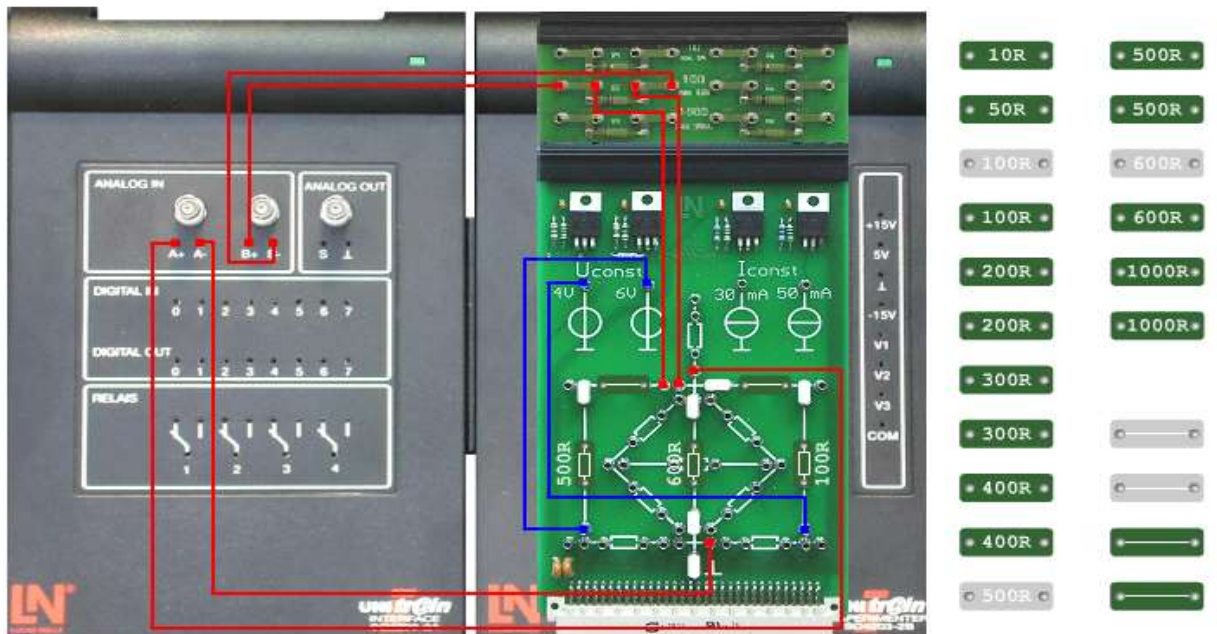
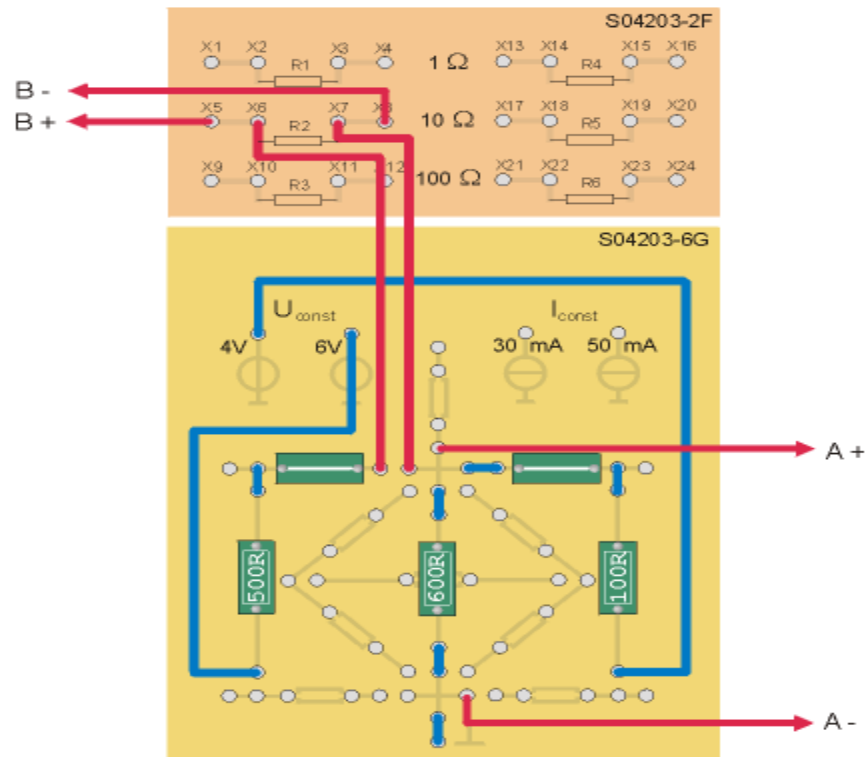
Consideram un circuit electric de current continuu cu $n=2$ noduri si $l=3$ laturi, avand o-2 ochiuri fundamentale.

Cu ajutorul acestui circuit va fi verificata Teorema Superpozitiei, care are urmatorul enunt:

In orice retea formata din rezistoare lineare care contine mai mult de o sursa de tensiune electromotoare, curentul rezultat in orice latura este suma algebrica a curentilor care ar parcurge acea latura, daca fiecare sursa de tensiune electromotoare ar fi considerata separat, toate celelalte surse fiind inlocuite prin rezistenta interna a acestora.

Modul de lucru:

- A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini
- B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale
- C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4203 6G si placuta aditionala SO 4203 2F, cu rezistoare pentru ampermetrul B cu rezistenta de shunt ce va fi folosit aferenta echipamentului Lucas Nuelle
- D) Se realizeza montajul din imaginea de mai jos, utilizand cele doua placi de circuit aferente echipamentului Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si rezistoare si se conecteaza montajul corespunzator imaginilor de mai jos
- E) Se pasivizeaza succesiv cele doua surse din circuit
- F) Se masoara cei 6 curenti rezultati din cele doua circuite pasivizate



Verificarea Teoremei Superpozitiei:

- Se vor calcula numeric valorile curentilor prin fiecare latura
- Se vor compara valorile calculate cu valorile experimentale (determinate prin masurare)
- Valorile calculate si cele experimentale vor fi inregistrate in tabelul de mai jos:

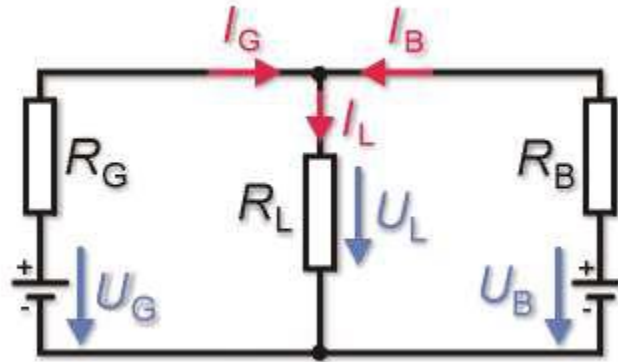
Se considera: $I_1 = I_G$, $I_2 = I_B$, $I_3 = I_L$

Rezultate:

Calculated results									Experimental results								
I_1'	I_1''	I_1	I_2'	I_2''	I_2	I'	I''	I	I_1'	I_1''	I_1	I_2'	I_2''	I_2	I'	I''	I

6) Teorema Reciprocitatii pentru circuite electrice de current continuu

Diagrama circuitului electric:



Componentele montajului electric

1. A_1 , A_2 si A_3 , ampermetre utilizate pentru determinarea curentilor prin laturi
2. In circuit se va pastra o singura sursa de tensiune, cealalta fiind pasivizata

Consideratii teoretice:

Consideram un circuit electric de current continuu cu $n=2$ noduri si $l=3$ laturi, avand o-2 ochiuri fundamentale.

Cu ajutorul acestui circuit va fi verificata Teorema Reciprocitatii, care are urmatorul enunt:

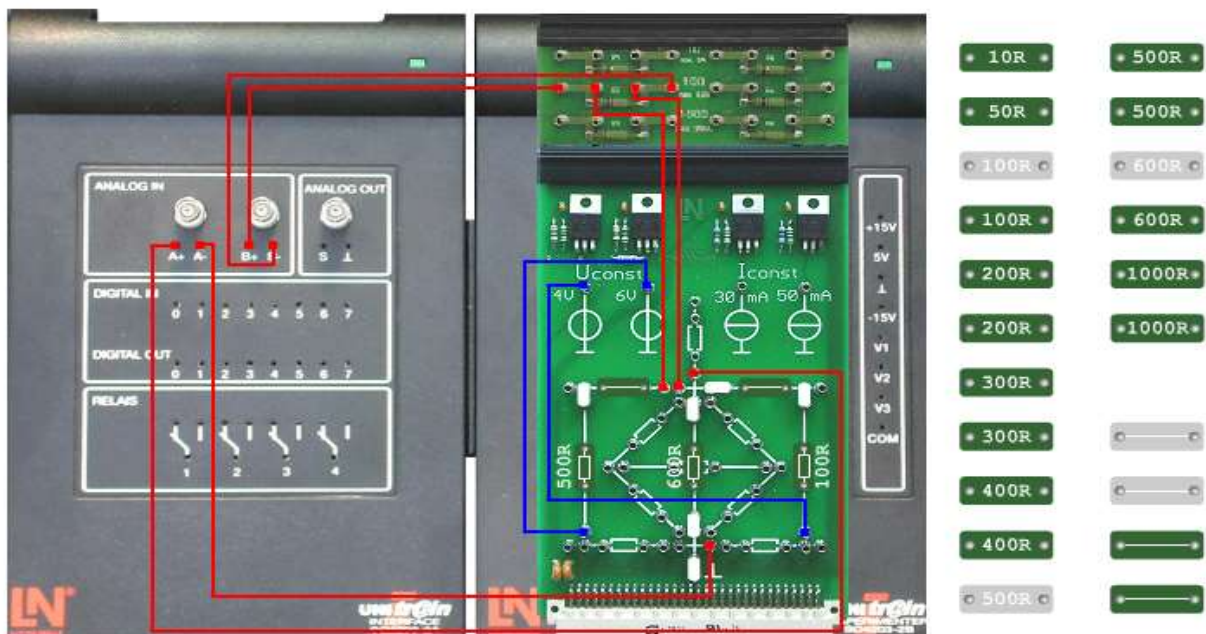
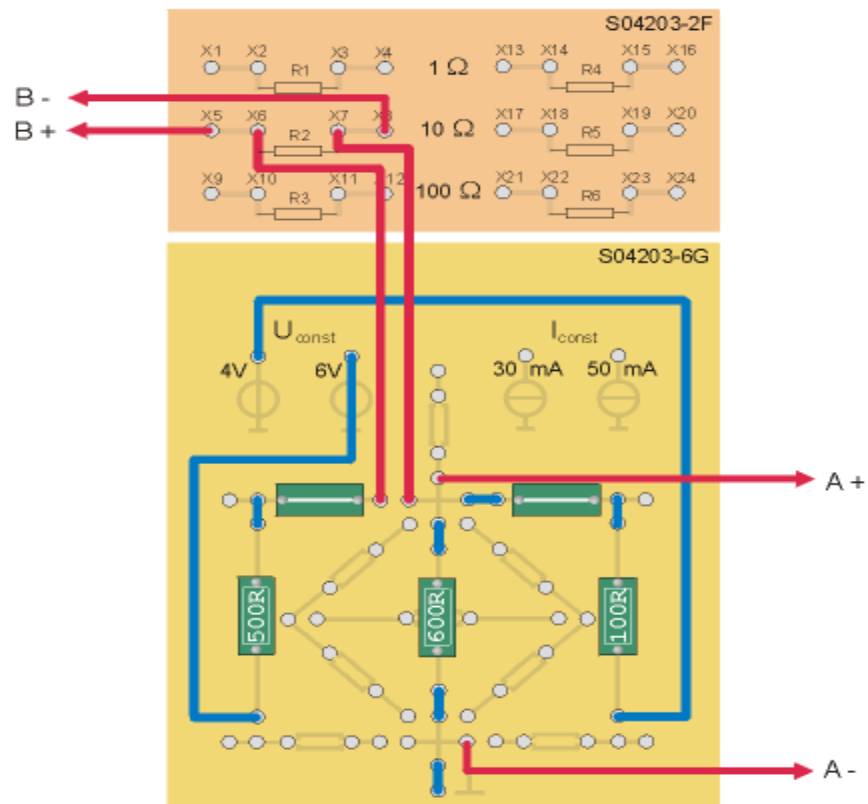
Intr-un circuit electric cu o singura sursa de tensiune electromotoare, curentul produs de aceasta tensiune electromotoare (atunci cand sursa este plasata in latura k a circuitului) in alta latura j a circuitului respective, este acelasi cu curentul produs in latura k a circuitului, cand respective sursa este plasata in latura j .

Sau in forma sa comprimata:

$$\left(I_{jk}\right)_{E_k=E} = \left(I_{kj}\right)_{E_j=E}$$

Modul de lucru:

- A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini
- B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale
- C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4203 6G si placuta aditionala SO 4203 2F, cu rezistoare pentru ampermetrul B cu rezistenta de shunt ce va fi folosit aferenta echipamentului Lucas Nuelle
- D) Se realizeza montajul din imaginea de mai jos, utilizand cele doua placi de circuit aferente echipamentului Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si rezistoare si se conecteaza montajul corespunzator imaginilor de mai jos
- E) Se pasivizeaza una din cele doua surse ale circuitului
- F) Se masoara curentul determinat de sursa ramasa intr/una din cele doua laturi ramase
- G) Se muta sursa pe alta latura si se masoara curentul in latura in care se afla initial sursa de detnsiune
- H) Se verifica egalitatea celor doi curenti



Verificarea Teoremei Reciprocitatii:

Daca in circuitul din figura de mai sus, este folosita numai una dintre cele doua surse de tensiune, (de exemplu E_1), cealalta sursa pasivizandu/se. Teorema Reciprocitatii se verifica, atat experimental cat si prin calcul.

Se considera: $I_1 = I_G$, $I_2 = I_B$, $I_3 = I_L$

Rezultatele trebuie completate in tabelul urmator:

Rezultate experimentale:

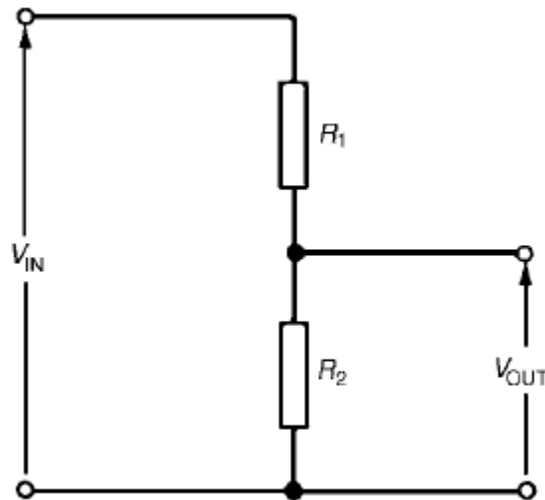
Sursa de tensiune electromotoare E_1 se afla in latura 1	Aceeasi sursa de tensiune E_1 , este mutata in latura 2
Curentul produs in acest caz in latura 2 este:	Curentul produs de data aceasta in latura 1 este:
$I_2 = \dots$	$I_1 = \dots$

Rezultate calculate:

Sursa de tensiune electromotoare E_1 se afla in latura 1	Aceeasi sursa de tensiune E_1 , este mutata in latura 2
Curentul produs in acest caz in latura 2 este:	Curentul produs de data aceasta in latura 1 este:
$I_2 = \dots$	$I_1 = \dots$

7) Divizorul de tensiune

Diagrama circuitului electric:



Componentele montajului:

R_1 si R_2 : rezistoare cu valori cunoscute (sau determinate prin masurare)

1 sursa de tensiune continua de valoare cunoscuta (sau determinata prin masurare) care sa alimenteze montajul (V_{in})

1 voltmetru care sa masoare tensiunile V_{in} si V_{out}

Consideratii teoretice:

Formula divizorului de tensiune rezulta din formula de grupare serie (conectare serie) a rezistoarelor. In cazul particular, al diagramei electrice de mai sus, a doua rezistoare cu valorile R_1 si R_2 , formula divizorului de tensiune este:

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Modul de lucru:

A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini

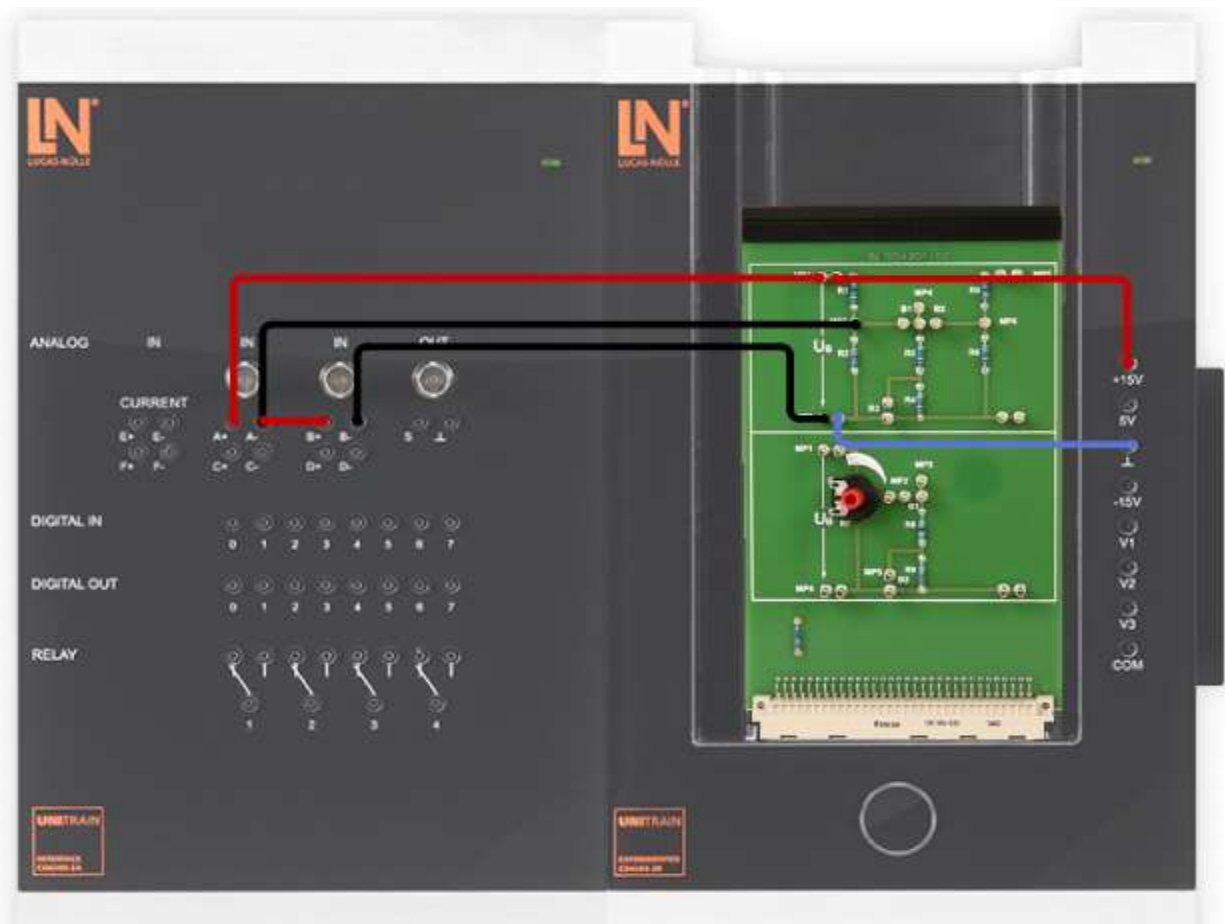
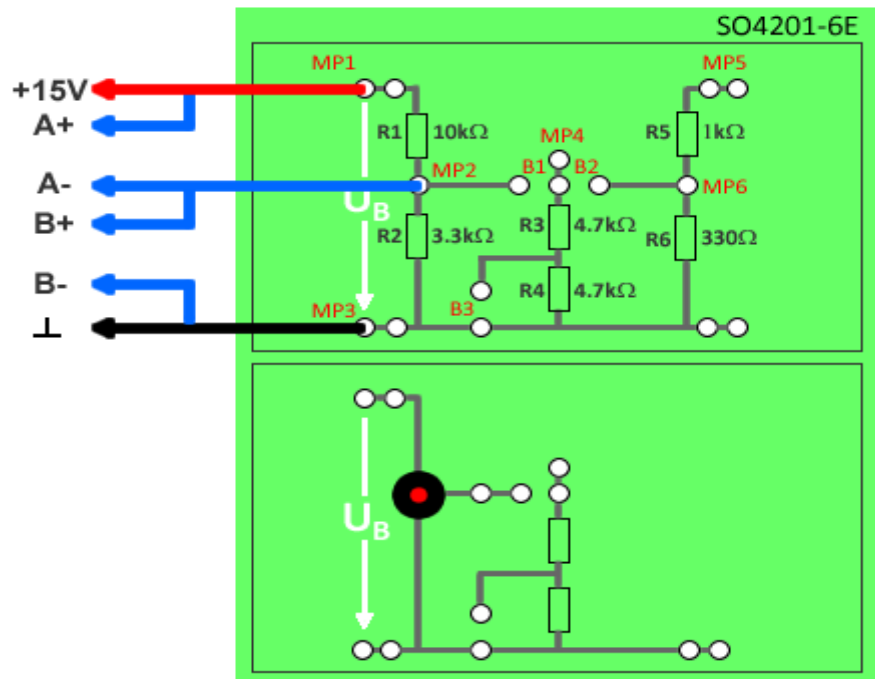
B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale

C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4201 6E aferenta echipamentului Lucas Nuelle, urmand a se verifica formulele divizorului de tensiune pentru mai multe seturi de cate 2 rezistoare

D) Se realizeza montajul aferent verificarii formulelor divizorului de tensiune, utilizand placa de circuit SO 4201 6E aferenta echipamentului Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si rezistoare si se conecteaza tensiunea de intrare in divizor la sursa de tensiune de 15V (modulul din dreapta) al echipamentului Lucas Nuelle

E) Se determina prin masurare valorile tensiunilor V_{in} (tensiunea de alimentare a montajului) si V_{out} (tensiunea de iesire a divizorului de tensiune), precum si valorile rezistentelor celor doua rezistoare, R_1 si R_2 , in eventualitatea ca acestea nu se cunosc.

Se verifica formula divizorului de tensiune pentru diferite seturi de rezistoare si diferite tensiuni de alimentare (V_{in}) diferite.



Se vor inregistra rezultatele intr-un tabel de forma:

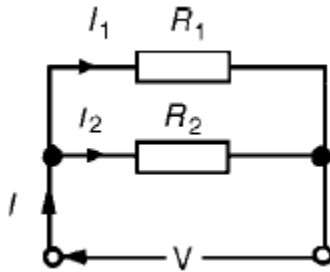
V_{in} [Volt]	R_1 [Ohm]	R_2 [Ohm]	$R_2/(R_1+R_2)$ (adimensional)	$V_{out.calc.} = V_{in}[R_2/(R_1+R_2)]$ [Volt]	$V_{out.mas.}$ [Volt]
$V_{in 1} = \dots$					
$V_{in 2} = \dots$					
$V_{in 3} = \dots$					
$V_{in 4} = \dots$					
$V_{in 5} = \dots$					

Concluzii si interpretare a rezultatelor:

Se vor stabili diferentele dintre valorile calculate si cele masurate si se vor explica cauzele fizice ale acestor diferente.

8) Divizorul de curent

Diagrama circuitului electric:



Componentele montajului:

R_1 si R_2 : rezistoare cu valori cunoscute (sau determinate prin masurare)

1 sursa tensiune continua de valoare cunoscuta (sau determinata prin masurare), care sa alimenteze gruparea in paralel a rezistoarelor R_1 si R_2

1 ampermetru care sa determine curentul I , prin latura principala

1 ampermetru care sa determine curentul I_1 , prin rezistorul R_1

Consideratii teoretice:

Formula divizorului de tensiune rezulta din formula de grupare in paralel (conectare paralel) a rezistoarelor. In cazul particular, al diagramei electrice de mai sus, a doua rezistoare cu valorile R_1 si R_2 , formula divizorului de curent este:

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Modul de lucru:

A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini

B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale

C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4203 6A aferenta echipamentului Lucas Nuelle, care a fost utilizata pentru conexiunea paralel a rezistoarelor, urmand a se verifica formulele divizorului de tensiune pentru mai multe seturi de cate 2 rezistoare

D) Se realizeza montajul aferent verificarii formulelor divizorului de curent, utilizand placa de circuit SO 4203 6A aferenta echipamentului Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si rezistoare si se conecteaza tensiunea de alimentare a divizorului de curent la sursa de tensiune de 15V (modulul din dreapta) al echipamentului Lucas Nuelle

E) Se determina prin masurare valorile curentilor I (curentul in ramura principala) si I_1 si I_2 (curentii prin rezistoarele R_1 si R_2) precum si valorile rezistentelor celor doua rezistoare, R_1 si R_2 , in eventualitatea ca acestea nu se cunosc.

Se verifica prin masurare formula divizorului de curent, pentru 5 tensiuni de alimentare diferite.

Se vor inregistra rezultatele intr-un tabel de forma:

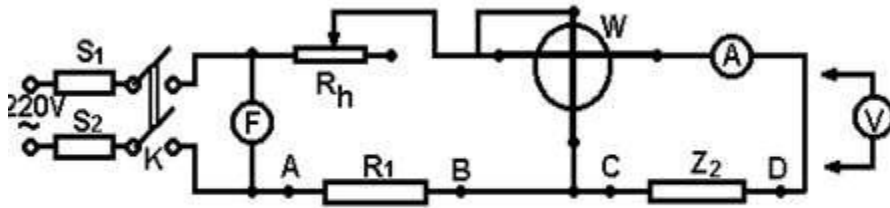
U (tensiunea de alimentare)	R ₁	R ₂	$R_2/(R_1+R_2)$	$I_{1.calc.} =$ $I * [R_2/(R_1+R_2)]$	I _{1.mas.}
[Volt]	[Ohm]	[Ohm]	(adimensional)	[Amper]	[Amper]
U ₁ =					
U ₂ =					
U ₃ =					
U ₄ =					
U ₅ =					

Concluzii si interpretare a rezultatelor:

Se vor stabili diferentele dintre valorile calculate si cele masurate si se vor explica cauzele fizice ale acestor diferente.

9) Circuitul serie RL de curent alternativ monofazat

Diagrama unui circuit electric RL de curent alternativ:



Componentele circuitului:

W, wattmetru

A, ampermetru

V, voltmetru

R_h, rezistor variabil

K, intrerupator bipolar

Z₂, impedanta care reprezinta fie un rezistor fie un circuit RL

Consideratii teoretice:

Curentul care parcurge circuitul RLC reprezinta o marime sinusoidala de forma:

$$i(t) = I\sqrt{2} \sin(\omega t)$$

Relatia care defineste tensiunea la bornele circuitului este:

$$u(t) = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

Caderile de tensiune pe fiecare dintre elementele circuitului sunt:

$$u_R(t) = Ri = RI\sqrt{2} \sin(\omega t) \text{ si } u_L(t) = X_L I\sqrt{2} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Ecuatia (1) poate fi solutionata mai usor prin utilizarea egalitatii intre vectorii asociati fiecarei caderi de tensiune (fazorii asociati), si anume:

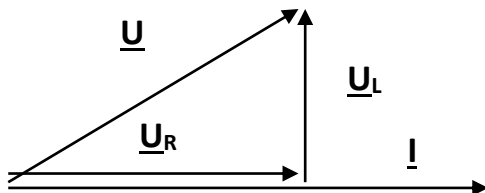
$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L$$

In care vectorii $\vec{U}, \vec{U}_R, \vec{U}_L$ reprezinta fazorii asociati celor 3 caderi de tensiune: la bornele circuitului RL, la bornele rezistorului si ale bobinei. Modulele si fazele acestor fazori sunt date de:

$U_R = RI$, in faza cu curentul i ,

$U_L = X_L I$, defazata cu $(\frac{\pi}{2})$ inaintea curentului i ,

Diagrama fazoriala asociata circuitului este:



Valoarea efectiva a caderii de tensiune la bornele circuitului RL este data de relatia dintre elementele triunghiurilor de mai sus, si anume:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} \quad (2)$$

sau:

$$U^2 = I^2 [R^2 + X_L^2] \quad (3)$$

Reactanta circuitului RL serie este data de:

$$X = X_L = \omega L \quad (4)$$

si:

$$Z^2 = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (5)$$

Denumita impedanta circuitului RL serie si relatia devine astfel :

$$U = Z I$$

rezulta:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L)^2}} \quad (6)$$

Impartind triunghiul tensiunilor prin valoarea effective a curentului I ce parcurge circuitul, se obtine triunghiul impedantelor si functia tangent a fazei φ se calculeaza ca si relatie intre valoarea rezistentei circuitului si reactanta (inductive sau capacitiva) a circuitului, adica:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{L\omega}{R} \quad (7)$$

si corespunzator, valoarea factorului de putere al circuitului este data de:

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \quad (8)$$

Faza φ este pozitiva si respectivul circuit este denumit inductiv.

Puterile intr-un circuit de current alternative sunt:

$$\text{Putere activa: } P = UI \cos\varphi = U \frac{U}{Z} \frac{R}{Z} = R \frac{U^2}{Z^2} = RI^2 \quad (11)$$

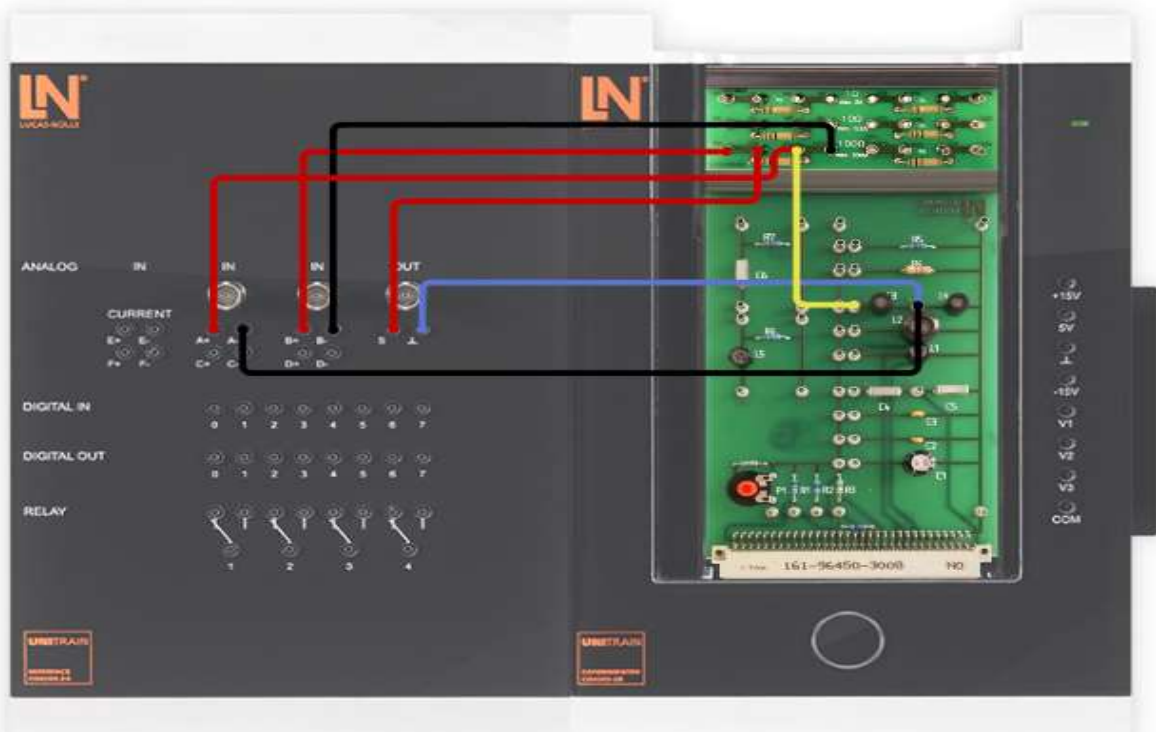
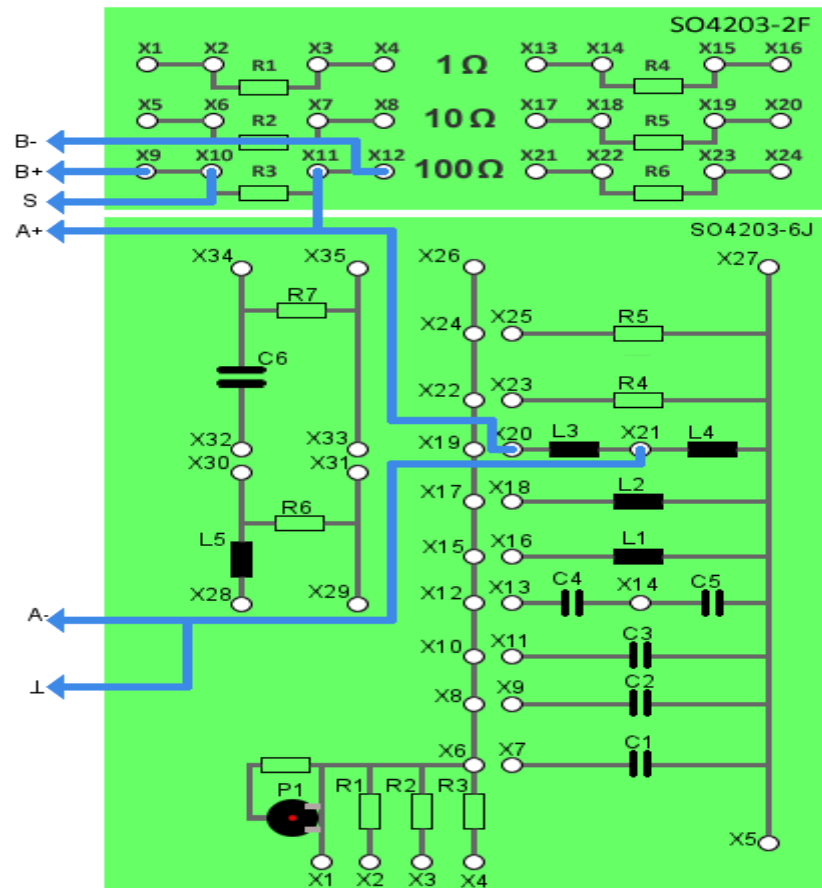
$$\text{Putere reactiva: } Q = UI \sin\varphi = U \frac{U}{Z} \frac{X}{Z} = X \frac{U^2}{Z^2} = XI^2 \quad (12)$$

$$\text{Putere aparenta: } S = UI = U \frac{U}{Z} = \frac{U^2}{Z} = ZI^2 \quad (13)$$

$$\text{Si relatia existenta intre acestea este: } S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (14)$$

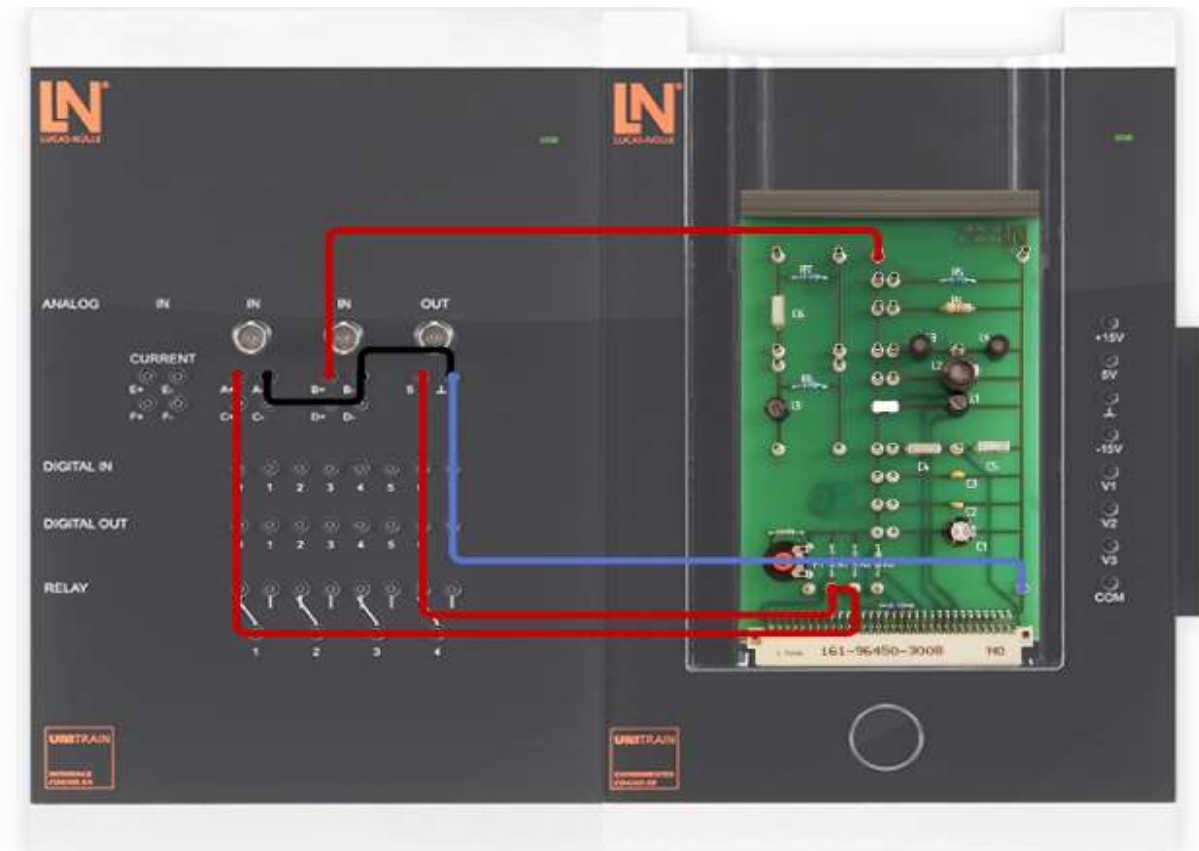
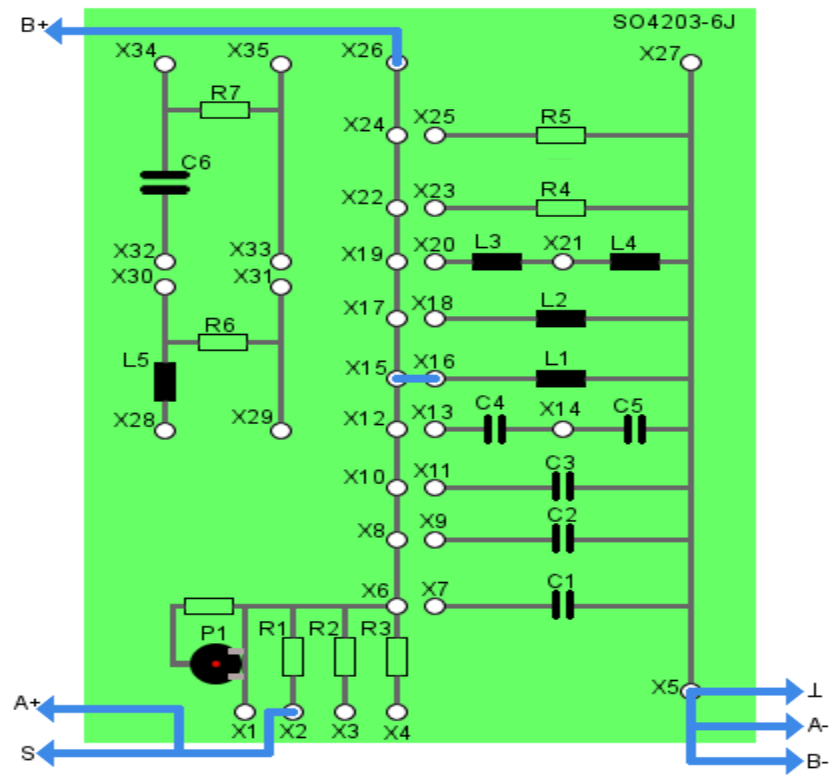
Modul de lucru decalaj de faza dintre tensiunea pe rezistor si cea pe bobina:

- A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini
- B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale
- C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4203 6J si placuta aditionala SO 4203 2F cu rezistoare aferenta echipamentului Lucas Nuelle
- D) Se realizeza montajul din imaginea de mai jos, utilizand cele doua placi de circuit aferente echipamentului Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si rezistoare si se conecteaza montajul corespunzator imaginilor de mai jos
- E) Pe cele doua canale A si B ale osciloscopului vor fi vizualizate cele doua semnale, pe rezistor si bobina
- F) Se citeste decalajul de timp dintre cele doua semnale, si pe baza acestuia se calculeaza decalajul de faza (unghi)



Modul de lucru pentru calculul inductivitatii bobinei din decalajul de faza:

- A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini
- B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale
- C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4203 6J si placuta aditionala SO 4203 2F cu rezistoare aferenta echipamentului Lucas Nuelle
- D) Se realizeza montajul din imaginea de mai jos, utilizand cele doua placi de circuit aferente echipamentului Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si rezistoare si se conecteaza montajul corespunzator imaginilor de mai jos
- E) Pe cele doua canale A si B ale osciloscopului vor fi vizualizate cele doua semnale inregistrate de osciloscop, citindu-se decalajul de timp
- F) Din decalajul de timp dintre cele doua semnale se calculeza decalajul de faza si pe baza acestuia, cunoscand valoarea rezistentei din montaj, se calculeaza inductivitatea bobinei



Circuitul RL serie:

Pentru un circuit de curent alternativ pur rezistiv se verifica faptul ca valorile caderilor de tensiune se aduna algebric, ca si numere.

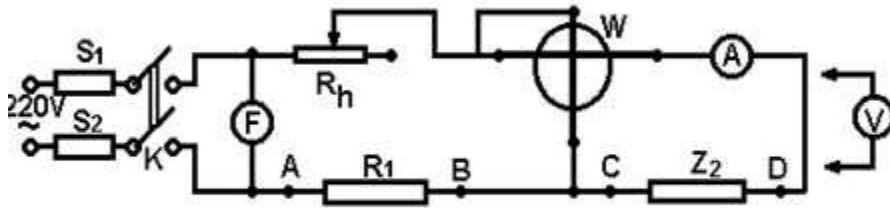
Rezultate experimentale:				Rezultate calculate :		
I	U_1	U_2	U	$U_1 = IR_1$	$U_2 = IR_2$	$U = U_1 + U_2$
A	V	V	V	Ω	Ω	Ω

Pentru circuitele de curent alternativ monofazat RL, caderile de tensiune pe elementele de circuit adica U_R si U_L nu se aduna algebric (ca si numere), ci numai ca vectori (fazori), tinandu/se cont de defazaje.

Rezultate experimentale/ calculate :							Rezultate experimentale/calculate :			
I	$U_1=U_R$	$U_2=U_L$	$U=U_1+U_2$	R	$X_L = Z_L$	$Z^2=(R^2+Z_L^2)$	φ		P exp	P calc
A	V	V	V	Ω	Ω	Ω^2	exp	calc	W	W

10) Circuitul serie RC de curent alternativ monofazat

Diagrama unui circuit electric RC serie de curent alternativ:



Componentele circuitului:

W, wattmetru

A, ampermetru

V, voltmetru

R_h, rezistor variabil

K, intrerupator bipolar

Z₂, impedanta care reprezinta fie o reactanta capacitiva sauun circuit RC

Consideratii teoretice:

Curentul care parcurge circuitul RLC reprezinta o marime sinusoidala de forma:

$$i(t) = I\sqrt{2} \sin(\omega t)$$

Relatia care defineste tensiunea la bornele circuitului este:

$$u(t) = Ri + \frac{1}{C} \int i dt \quad (1)$$

Caderile de tensiune pe fiecare dintre elementele circuitului sunt:

$$u_R(t) = Ri = RI\sqrt{2} \sin \omega t \text{ si } u_C(t) = X_C I \sqrt{2} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

Ecuatia (1) poate fi solutionata mai usor prin utilizarea egalitatii intre vectorii asociati fiecarei caderi de tensiune (fazorii asociati), si anume:

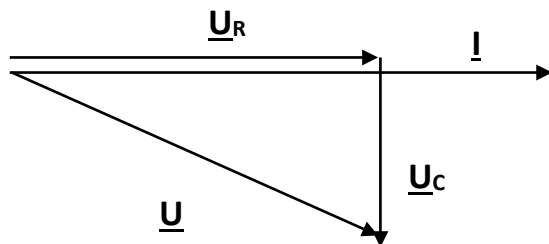
$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_C$$

In care vectorii $\vec{U}, \vec{U}_R, \vec{U}_C$ reprezinta fazarorii asociati celor 3 caderi de tensiune: la bornele circuitului, la bornele rezistorului si ale condensatorului. Modulele si fazele acestor fazori sunt date de:

$U_R = RI$, in faza cu curentul i ,

si $U_C = X_C I$, defazata cu $\left(\frac{\pi}{2} \right)$ in urma curentului i .

Diagrama fazoriala a circuitului este:



Valoarea efectiva a caderii de tensiune la bornele circuitului RC este data de relatia dintre elementele triunghiurilor de mai sus, si anume:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} \quad (2)$$

sau:

$$U^2 = I^2 [R^2 + X_C^2] \quad (3)$$

Reactanta circuitului RC serie este data de:

$$X = X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (4)$$

si:

$$Z^2 = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (5)$$

Denumita impedanta circuitului RLC serie si relatia devine astfel :

$$U = Z I$$

rezulta:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_C)^2}} \quad (6)$$

Impartind triunghiul tensiunilor prin valoarea efectiva a curentului I ce parcurge circuitul, se obtine triunghiul impedantelor si functia tangenta a fazei φ se calculeaza ca si relatie intre valoarea rezistentei circuitului si reactanta (capacitiva) a circuitului, adica:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{(-\frac{1}{\omega C})}{R} \quad (7)$$

si corespunzator, valoarea factorului de putere al circuitului este data de:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (8)$$

Faza φ este negativa si respectivul circuit este denumit capacitiv.

Puterile intr-un circuit de current alternative sunt:

$$\text{Putere activa: } P = UI \cos \varphi = U \frac{U}{Z} \frac{R}{Z} = R \frac{U^2}{Z^2} = RI^2 \quad (11)$$

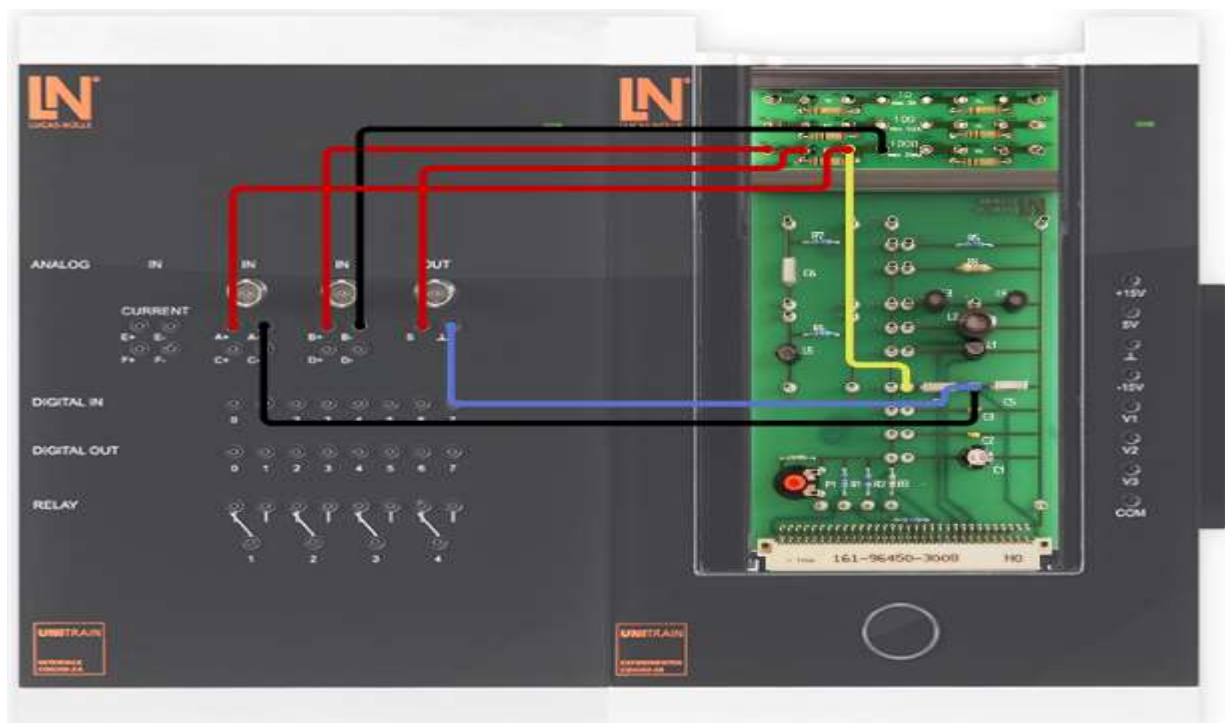
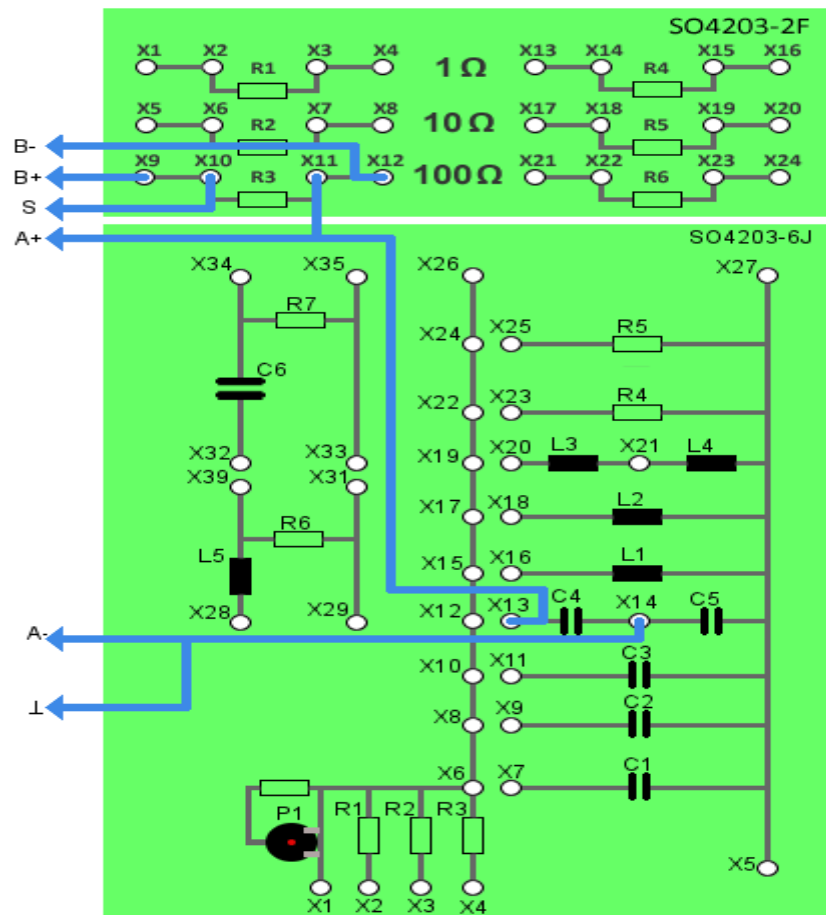
$$\text{Putere reactiva: } Q = UI \sin \varphi = U \frac{U}{Z} \frac{X}{Z} = X \frac{U^2}{Z^2} = XI^2 \quad (12)$$

$$\text{Putere aparenta: } S = UI = U \frac{U}{Z} = \frac{U^2}{Z} = ZI^2 \quad (13)$$

$$\text{Si relatia existenta intre acestea este: } S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (14)$$

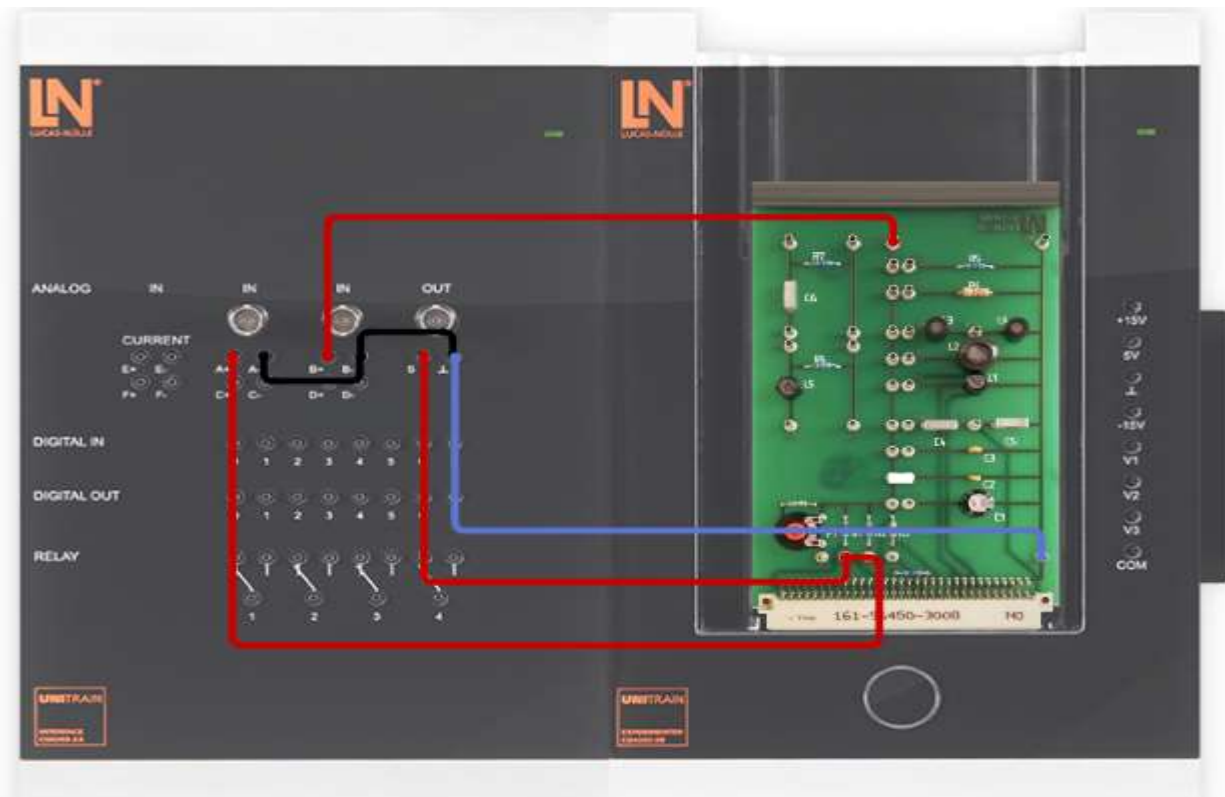
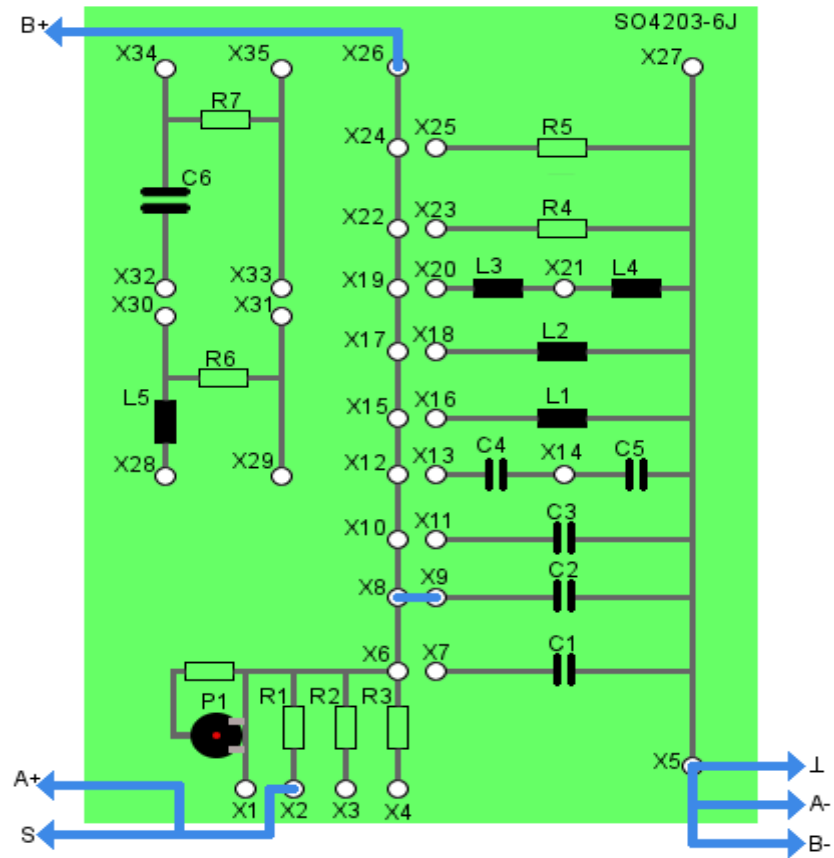
Modul de lucru decalaj de faza dintre tensiunea pe rezistor si cea pe condensator:

- A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini
- B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale
- C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4203 6J si placuta aditionala SO 4203 2F cu rezistoare aferenta echipamentului Lucas Nuelle
- D) Se realizeza montajul din imaginea de mai jos, utilizand cele doua placi de circuit aferente echipamentului Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si rezistoare si se conecteaza montajul corespunzator imaginilor de mai jos
- E) Pe cele doua canale A si B ale osciloscopului vor fi vizualizate cele doua semnale, pe rezistor si condensator
- F) Se citeste decalajul de timp dintre cele doua semnale, si pe baza acestuia se calculeaza decalajul de faza (unghi)



Modul de lucru pentru calculul capacității condensatorului din decalajul de fază:

- A) Se instalează standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele două module principale, modulul de alimentare cu tensiune și modulul de introducere card, cele două fiind conectate prin intermediul interfeței de 96 de pini
- B) Se conectează modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizând mufa corespunzătoare și priza de tensiune de perete, iar pe de altă parte modulul principal se conectează la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurată comunicarea cu computerul în vederea utilizării aparatelor de măsură virtuale
- C) Se introduce în slotul de card, placa de circuit SO 4203 6J aferentă echipamentului Lucas Nuelle
- D) Se realizează montajul din imaginea de mai jos, utilizând echipamentul Lucas Nuelle și elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori și rezistoare și se conectează montajul corespunzător imaginilor de mai jos
- E) Pe cele două canale A și B ale osciloscopului vor fi vizualizate cele două semnale înregistrate de osciloscop, citindu-se decalajul de timp
- F) Din decalajul de timp dintre cele două semnale se calculează decalajul de fază și pe baza acestuia, cunoscând valoarea rezistenței din montaj, se calculează capacitatea condensatorului



Circuitul RC serie:

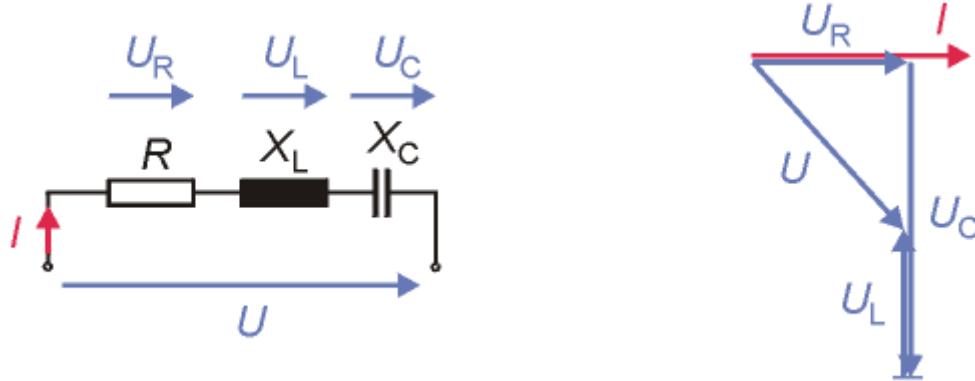
Pentru un circuit de curent alternativ pur rezistiv sau pur capacitiv se verifica faptul ca valorile caderilor de tensiune se aduna algebric, ca si numere.

Rezultate experimentale:				Rezultate calculate :		
I	U_1	U_2	U	$U_1 = IR_1$	$U_2 = IR_2$	$U = U_1 + U_2$
A	V	V	V	Ω	Ω	Ω

Pentru circuitele de current alternativ monofazat RC, caderile de tensiune pe elementele de circuit adica U_R si U_C nu se aduna algebric (ca si numere), ci numai ca si vectori (fazori), tinandu/se cont de defazaje.

Rezultate experimentale/ calculate :							Rezultate experimentale/calculat e :			
I	$U_1 = U_R$	$U_2 = U_C$	$U = U_1 + U_2$	R	$X_C = Z_C$	$Z^2 = (R^2 + Z_C^2)$	ϕ		P exp	P calc
A	V	V	V	Ω	Ω	Ω^2	exp	calc	W	W

11) Rezonanta circuitului serie RLC de curent alternativ monofazat



Situatia fazorilor de tensiune pentru situatia de rezonanta serie este:

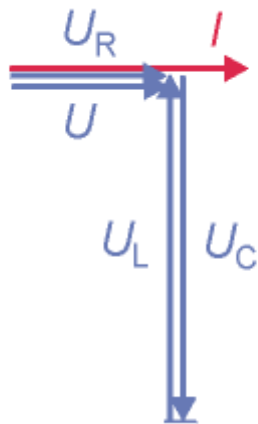
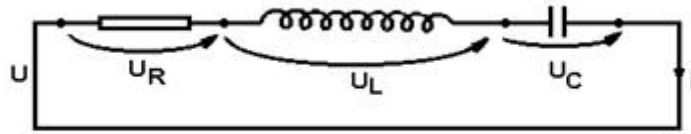
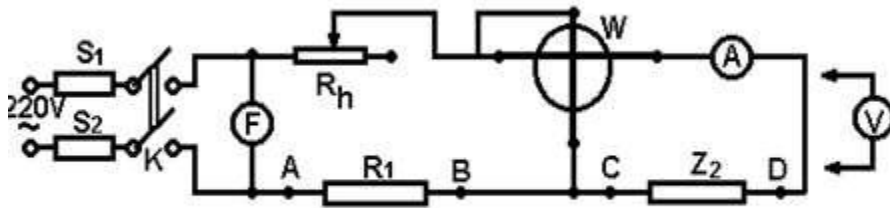


Diagrama unui circuit electric RLC serie de curent alternativ:



Schema de montaj



Componentele circuitului:

W, wattmetru

A, ampermetru

V, voltmetru

R_h , rezistor variabil

K, intrerupator bipolar

Z_2 , impedanta care reprezinta fie un rezistor, un circuit RL, un circuit RC sau un circuit RLC.

Consideratii teoretice:

Curentul care parcurge circuitul RLC reprezinta o marime sinusoidala de forma:

$$i(t) = I\sqrt{2} \sin(\omega t)$$

Relatia care defineste tensiunea la bornele circuitului este:

$$u(t) = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt \quad (1)$$

Caderile de tensiune pe fiecare dintre elementele circuitului sunt:

$$u_R(t) = Ri = RI\sqrt{2} \sin \omega t, \quad u_L(t) = X_L I\sqrt{2} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \text{ si } u_C(t) = X_C I\sqrt{2} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

Ecuatia (1) poate fi solutionata mai usor prin utilizarea egalitatii intre vectorii asociati fiecarei caderi de tensiune (fazorii asociati), si anume:

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$$

In care vectorii $\vec{U}, \vec{U}_R, \vec{U}_L, \vec{U}_C$ reprezinta fazarorii asociati celor 4 caderi de tensiune: la bornele circuitului RLC, la bornele rezistorului, ale bobinei si ale condensatorului. Modulele si fazele acestor fazori sunt date de:

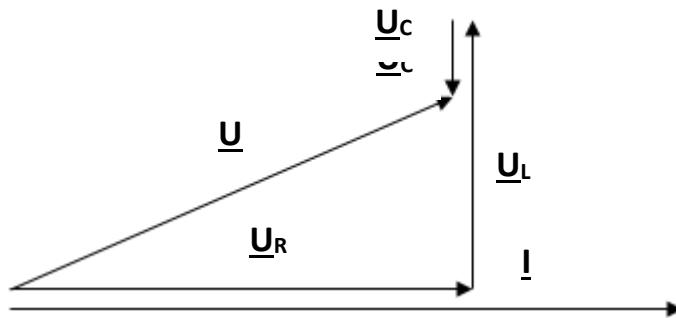
$U_R = RI$, in faza cu curentul i ,

$U_L = X_L I$, defazata cu $\left(\frac{\pi}{2} \right)$ inaintea curentului i ,

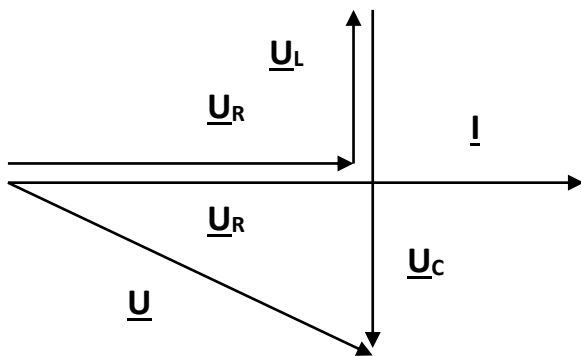
si $U_C = X_C I$, defazata cu $\left(\frac{\pi}{2} \right)$ in urma curentului i .

Exista doua cazuri, prezentate mai jos, si relatia pentru rezonanta ($U_L = U_C$), care se reprezinta ca mai jos, dupa cum urmeaza:

1) $U_L > U_C$, cu urmatoarea diagrama fazoriala:



2) $U_L < U_C$, cu urmatoarea diagrama fazoriala:



Valoarea efectiva a caderii de tensiune la bornele circuitului RLC este data de relatia dintre elementele triunghiurilor de mai sus, si anume:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} \quad (2)$$

sau:

$$U^2 = I^2 [R^2 + (X_L - X_C)^2] \quad (3)$$

Reactanta circuitului RLC serie este data de:

$$X = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C} \quad (4)$$

si:

$$Z^2 = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (5)$$

Denumita impedanta circuitului RLC serie si relatia devine astfel :

$$U = Z I$$

rezulta:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad (6)$$

Impartind triunghiul tensiunilor prin valoarea effective a curentului I ce parcurge circuitul, se obtine triunghiul impedantelor si functia tangent a fazei φ se calculeaza ca si relatie intre valoarea rezistentei circuitului si reactanta (inductive sau capacitiva) a circuitului, adica:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (7)$$

si corespunzator, valoarea factorului de putere al circuitului este data de:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (8)$$

Cand $U_L > U_C$, faza φ este pozitiva si respectivul circuit este denumit inductiv, in caz contrar $U_L < U_C$ si circuitul este denumit capacitiv si faza este in acest caz negativ.

Puterile intr-un circuit de current alternative sunt:

$$\text{Putere activa: } P = UI \cos \varphi = U \frac{U}{Z} \frac{R}{Z} = R \frac{U^2}{Z^2} = RI^2 \quad (11)$$

$$\text{Putere reactiva: } Q = UI \sin \varphi = U \frac{U}{Z} \frac{X}{Z} = X \frac{U^2}{Z^2} = XI^2 \quad (12)$$

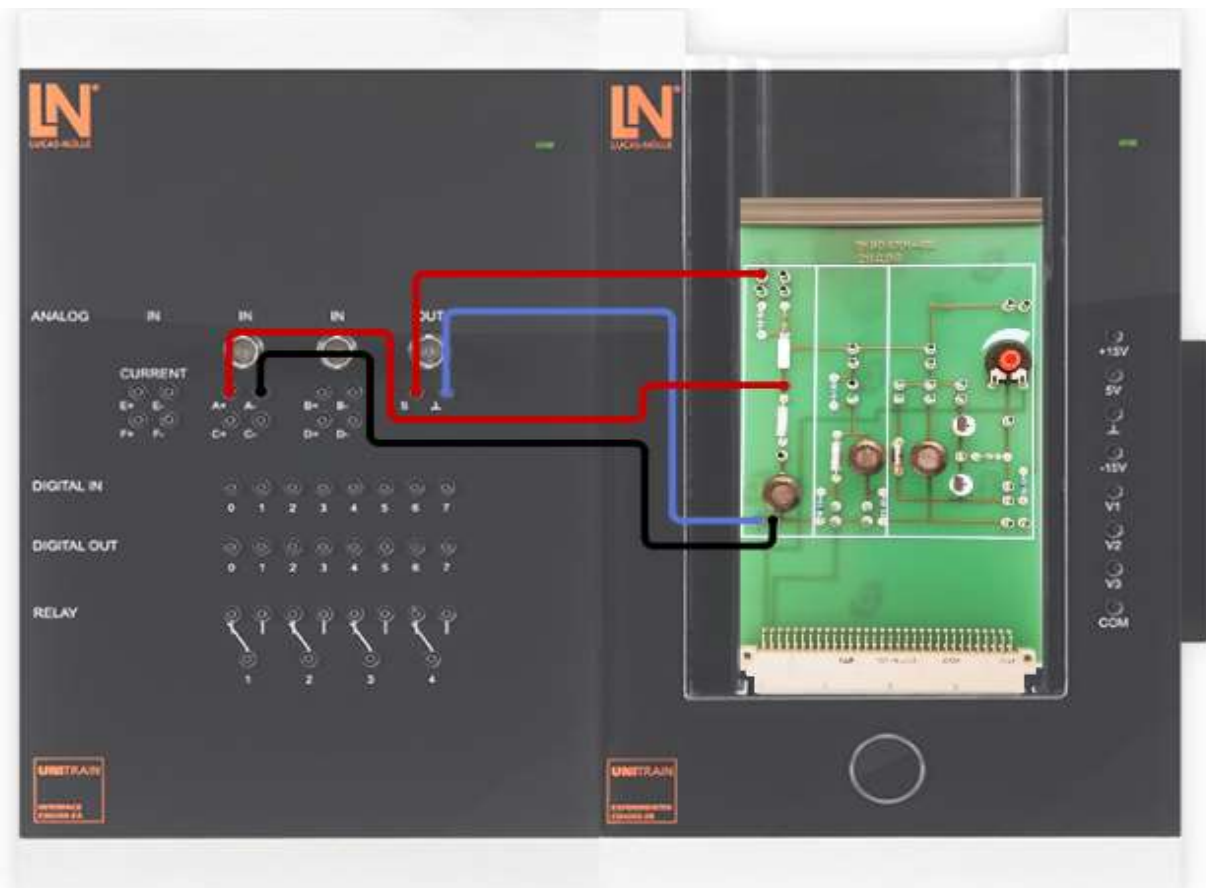
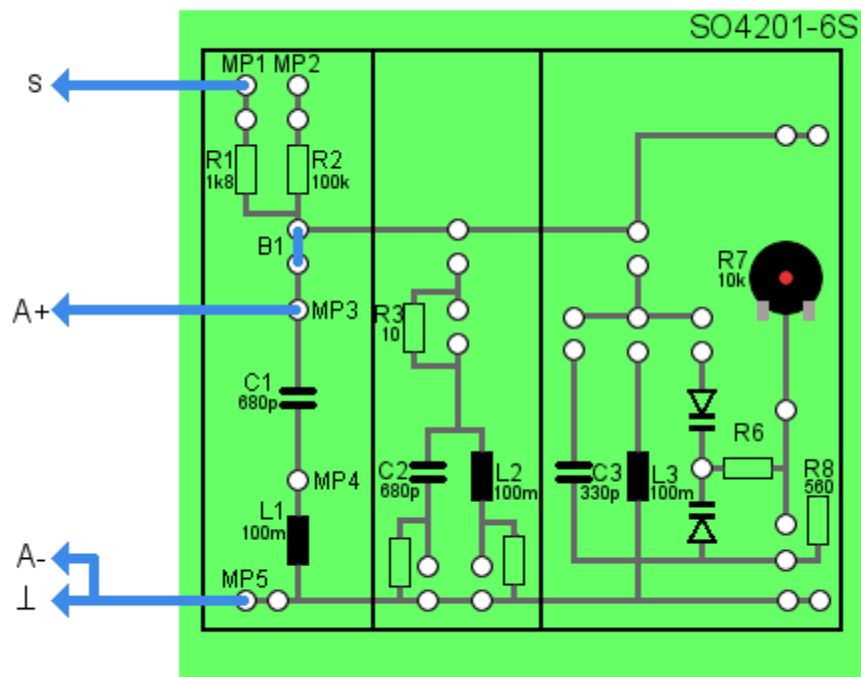
$$\text{Putere aparenta: } S = UI = U \frac{U}{Z} = \frac{U^2}{Z} = ZI^2 \quad (13)$$

$$\text{Si relatia existenta intre acestea este: } S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (14)$$

Modul de lucru rezonanta circuitului RLC serie:

- A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini
- B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale
- C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4203 6S aferenta echipamentului Lucas Nuelle
- D) Se realizeza montajul din imaginea de mai jos, utilizand echipamentul Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si rezistoare si se conecteaza montajul corespunzator imaginilor de mai jos
- E) Se inregistreaza valorile tensiunii inregistrata de voltmetrul A pe ansamblu bobina condensator, pentru setul de frecvente dintre 12 si 26 kHz, dat de generatorul de functie
- F) Pe baza seturilor de date frecventa/ tensiune, se determina frecventa de rezonanta a acestui circuit RLC serie

f [kHz]	Ua [Vpp]
12,00	
13,00	
14,00	
14,40	
14,80	
15,20	
15,60	
16,00	
16,40	
16,80	
17,20	
17,60	
18,00	
18,40	
18,80	
19,20	
19,60	



Circuitul RLC serie:

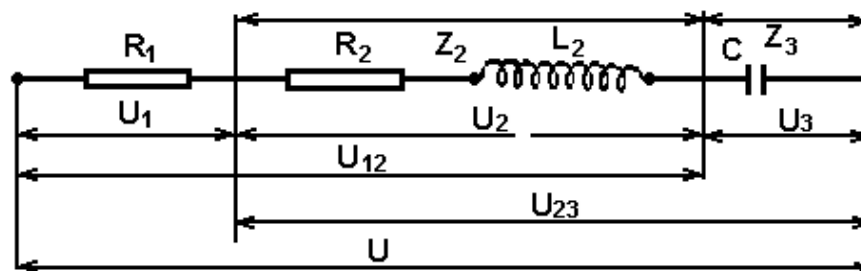
1) Pentru un circuit de curent alternativ pur rezistiv se verifica faptul ca valorile caderilor de tensiune se aduna algebric, ca si numere.

Rezultate la 1)

Rezultate experimentale:				Rezultate calculate :		
I	U_1	U_2	$U=U_1+U_2$	$R_1=\frac{U}{I}$	$R_2=\frac{U_2}{I}$	R $U/I=R_1+R_2$
A	V	V	V	Ω	Ω	Ω

2) Pentru un circuit de curent alternativ monofazat RLC, caderile de tensiune pe fiecare dintre elementele circuitului U_R , U_L si U_C , nu se aduna ca si numere (algebric), ci ca marimi vectoriale (fazori).

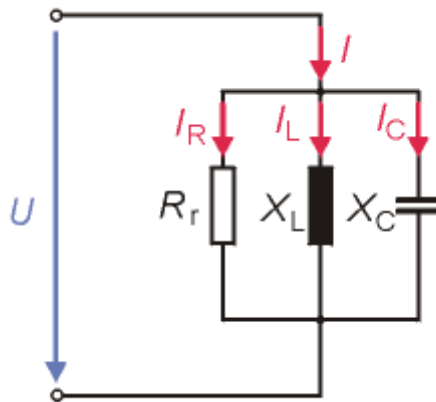
Schema electrica pentru 2)



Rezultate la 2)

Rezultate experimentale:							Rezultate calculate:										
I	U ₁	U ₂	U ₃	U ₁₂	U ₂₃	U	R ₁	Z ₂	Z ₃ =X _C	φ ₂		φ ₃		φ		P exp	P calc
A	V	V	V	V	V	V	Ω	Ω	Ω	calc	diagr	calc	diagr	calc	diagr	W	W

12) Rezonanta circuitului paralel RLC de current alternativ monofazat



Situatia fazorilor de tensiune pentru situatia de rezonanta serie este:

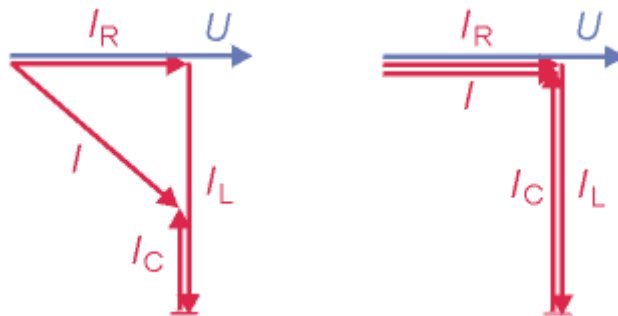
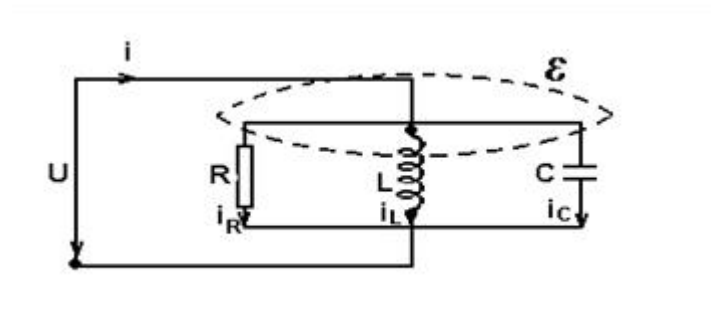
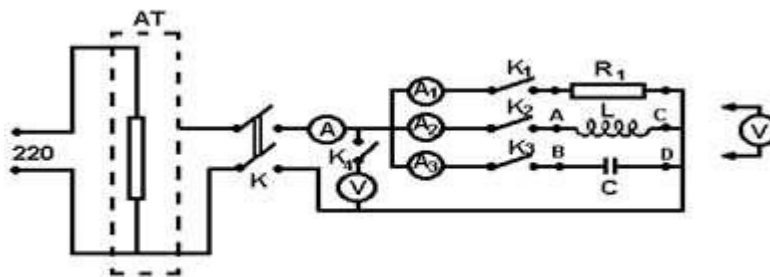


Diagrama unui circuit RLC parallel de curent alternativ:



Schema de montaj



Componentele circuitului:

K₁, K₂, K₃ and K₄: intrerupatoare monopolare

K: intrerupator bipolar

A₁, A₂, A₃ and A₄: ampermetre

V: voltmetru

R₁, R₂: rezistoare

L₁, L₂: bobine (inductoare)

C: condensator (capacitor)

Consideratii teoretice:

Tensiunea alternative aplicata la bornele circuitului RLC are forma:

$$u(t)=U\sqrt{2} \sin (\omega t)$$

Aplicand Legea conservarii sarcinii electrice pentru o suprafata Σ , rezulta egalitatea intre curenti, si anume:

$$i_{\Sigma}= i_R+i_L+i_C-I = - \frac{\Delta q}{\Delta t} = 0 \quad (1)$$

si rezulta:
$$I = I_R+I_L+I_C \quad (2)$$

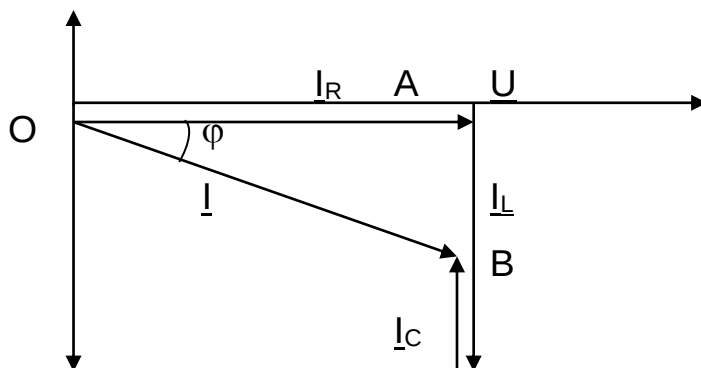
Curentul de alimentare de la sursa si faza acestuia φ in raport cu tensiunea U poate fi determinat cu ajutorul curentilor care parcurg fiecare din laturile circuitului RLC paralel:

In rezistor: $I_R = \frac{U}{R}$, curentul este in faza cu tensiunea aplicata la bornele circuitului RLC paralel;

In bobina (inductor): $I_L = \frac{U}{\omega L}$, curentul are un defazaj de $(\frac{\pi}{2})$ in urma tensiunii aplicate U ;

In condensator (capacitor): $I_C = \omega CU$, curentul are un defazaj $(\frac{\pi}{2})$ inaintea tensiunii aplicate U .

Reprezentand curentii de mai sus, pentru fiecare din elementele de circuit mentionate si utilizand diagrama fazoriala, cu tensiunea la bornele circuitului ca origine de faza, si considerand $I_L > I_C$, curentul total de la sursa poate fi determinat ca:



Astfel, utilizand relatia in triunghiul OAB de mai sus, rezulta:

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = U \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2} = U^2 Y(3)$$

in care

$$Y = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2} = \sqrt{G^2 + B^2}$$

este denumita admitanta circuitului de current alternativ si reprezinta marimea inversa a impedantei pentru respectivul circuit paralel de current alternativ.

Marimile:

$$G = \frac{R}{Z^2} \text{ și } B = \frac{X}{Z^2}$$

sunt denumite conductanta (G) si respectiv susceptanta (B) ale circuitului de current alternativ si unitatea lor de masura este Siemens ($1S = \Omega^{-1}$)

Factorul de putere al circuitului paralel este dat de relatia :

$$\cos\varphi = \frac{I_C - I_L}{I}$$

Puterile absorbite de circuitul paralel de current alternative, de mai sus, sunt:

$$P = U^2 G, \text{ puterea activa a circuitului;}$$

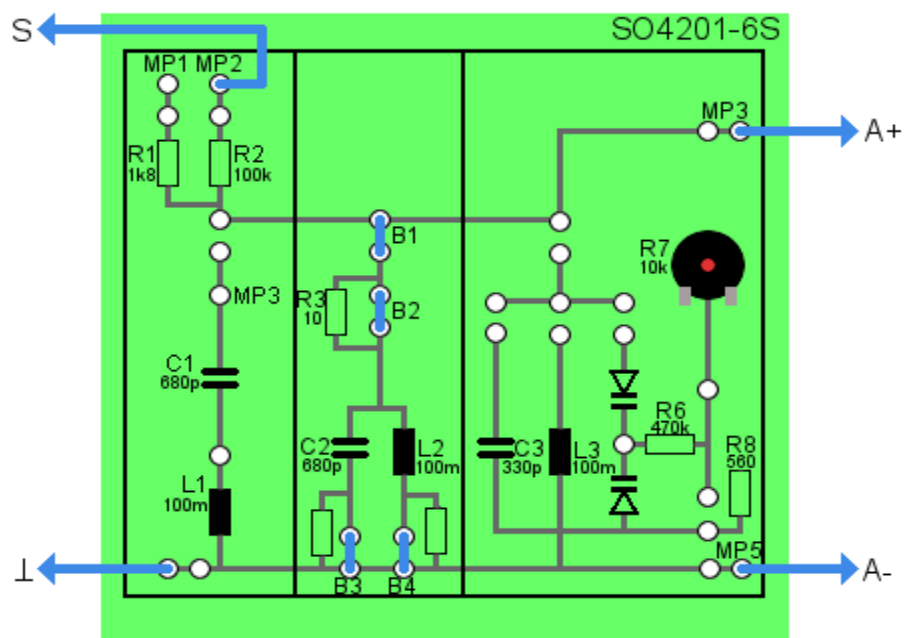
$$Q = U^2 B, \text{ puterea reactiva a circuitului;}$$

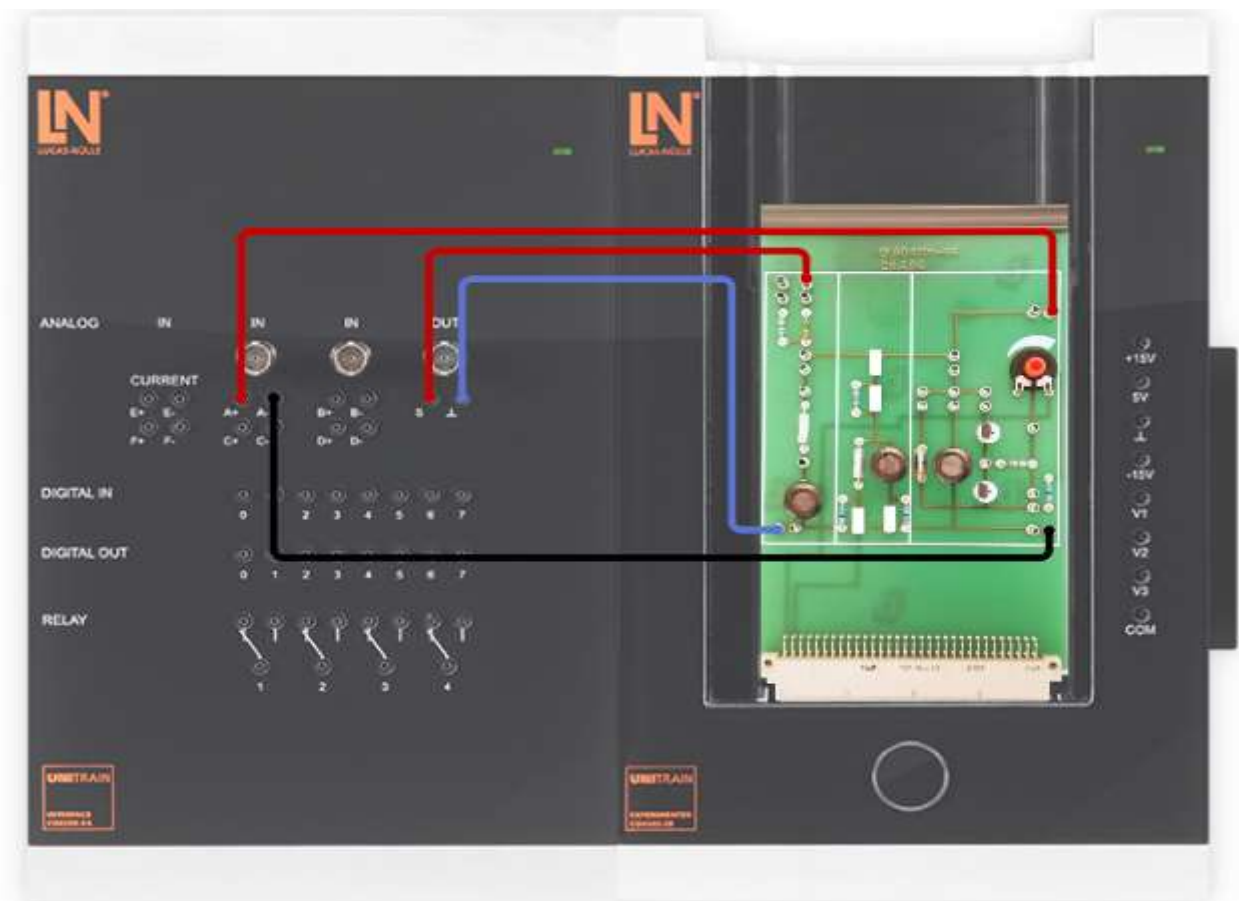
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = U^2 \sqrt{G^2 + B^2} = U^2 Y, \text{ puterea aparenta a circuitului.}$$

Modul de lucru rezonanta circuitului RLC paralel:

- A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini
- B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale
- C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4203 6S aferenta echipamentului Lucas Nuelle
- D) Se realizeza montajul din imaginea de mai jos, utilizand echipamentul Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si rezistoare si se conecteaza montajul corespunzator imaginilor de mai jos
- E) Se inregistreaza valorile tensiunii inregistrata de voltmetrul A pe ansamblu bobina condensator, pentru setul de frecvente dintre 4 si 28 kHz, dat de generatorul de functie
- F) Pe baza seturilor de date frecventa/ tensiune, se determina frecventa de rezonanta a acestui circuit RLC paralel

f [kHz]	Da [Vpp]
4,00	
5,00	
6,00	
7,00	
8,00	
9,00	
10,00	
11,00	
12,00	
13,00	
14,00	
15,00	
16,00	
17,00	
18,00	
19,00	
20,00	





Circuitul RLC paralel:

Pentru circuitul paralel de current alternativ, format din trei rezistoare in paralel, cu rezistentele R_1 , R_2 si R_3 , ca valoarea curentului I la bornele circuitului este obtinuta ca suma algebrica a curentilor I_1 , I_2 si I_3 care parcurg cele trei rezistoare.

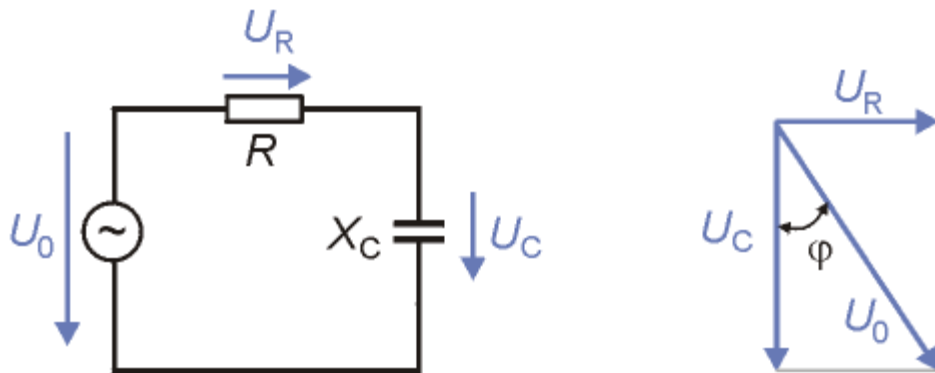
Rezultate experimentale:					Rezultate calculate:			
U	I	I_1	I_2	I_3	$I_1 = \frac{U}{R_1}$	$I_2 = \frac{U}{R_2}$	$I_3 = \frac{U}{R_3}$	$I_1 + I_2 + I_3$
...V	...A	...A	...A	...A	...A	...A	...A	...A

Pentru circuitul paralel de curent alternativ RLC, format din bobina, condensator si resistor, cu rezistorul R in una din laturi, bobina L in cea de-a doua latura si condensatorul C in cea de-a treia latura, ca valoarea efectiva a curentului total I, nu este egala cu suma algebrica a valorilor efective a curentilor I_R , I_L and I_C , dar este egala cu suma vectoriala a fazorilor corespunzatori curentilor alternativi: $\underline{I}_R$, $\underline{I}_L$ si $\underline{I}_C$.

Rezultate experimentale:					Rezultate calculate:				
U	I	I_1	I_2	I_3	$I_1+I_2+I_3$	$Z=\frac{U}{I}$	$R_1=\frac{U}{I_1}$	$Z_2=\frac{U}{I_2}$	$Z_3=\frac{U}{I_3}$
...V	...A	...A	..A	..A	A	Ω	Ω	Ω	Ω

13) Filtrul Lowpass RC

Diagrama electrica si diagrama fazoriala circuitului electric:



Componentele circuitului electric:

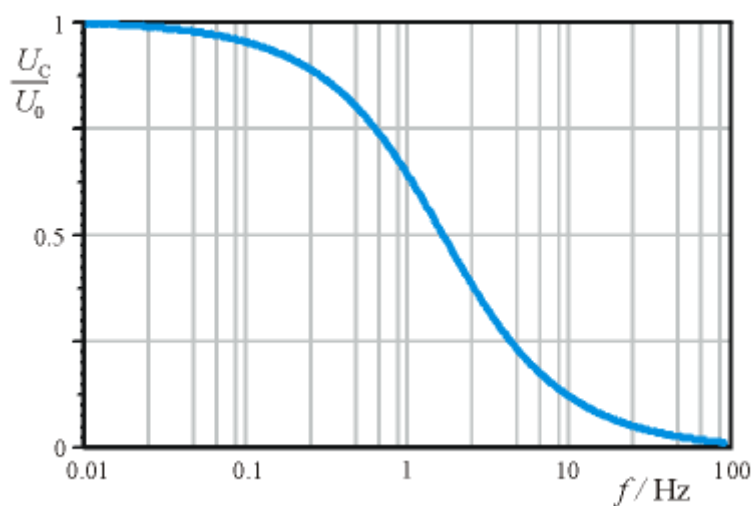
1 generator de functie, 1 rezistor, 1 condensator, osciloscop si 2 voltmetre

Consideratii teoretice

In circuitul descris anterior, tensiunea la iesirea din divizorul de tensiune RC de mai sus, se calculeaza astfel:

$$U_C = U_0 \frac{X_C}{Z} = U_0 \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = U_0 \frac{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(2\pi \cdot f \cdot C)^2}}} = U_0 \frac{1}{\sqrt{(2\pi \cdot f \cdot R \cdot C)^2 + 1}}$$

Amplitudinea de raspuns a filtrului este:

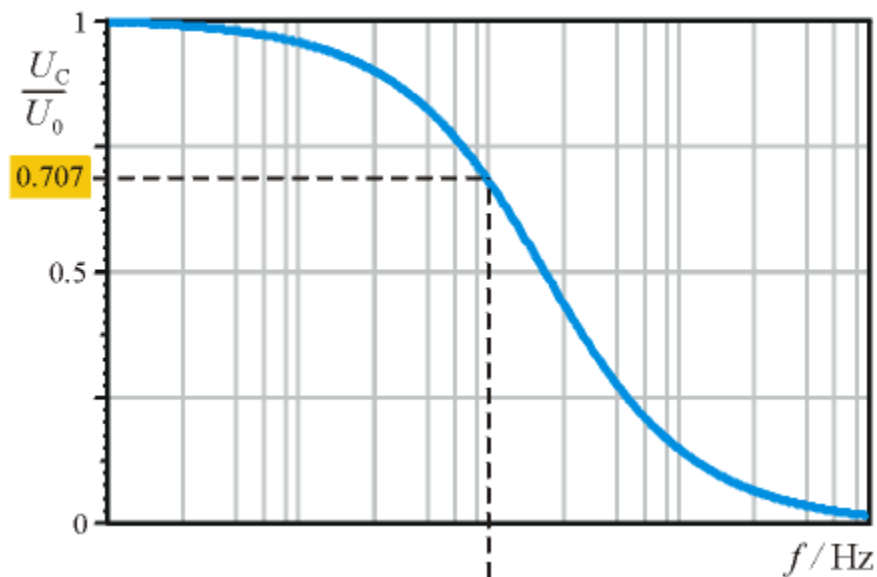


Frecventa de taiere (cutoff frequency) a filtrului este:

$$f_G = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}.$$

Substituind aceasta frecventa in amplitudinea de raspuns a filtrului, rezulta:

$$\frac{U_c(f_G)}{U_0} = \frac{1}{\sqrt{(2\pi \cdot f_G \cdot R \cdot C)^2 + 1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$



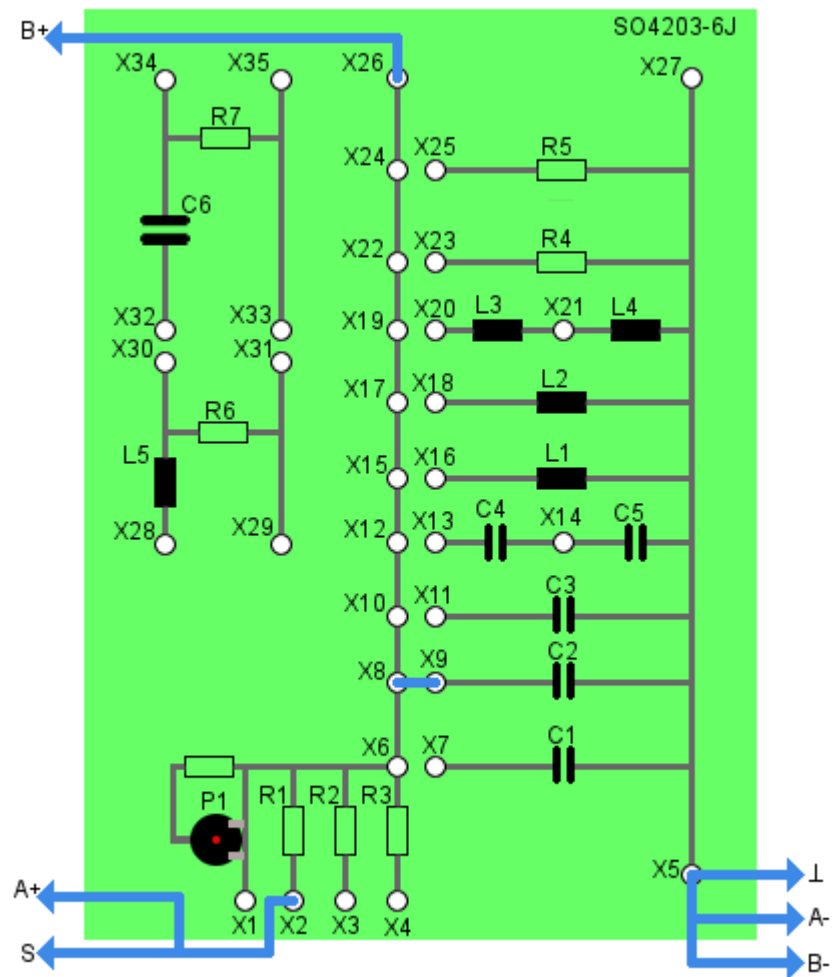
Modul de lucru:

A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini

B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale

C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4203 6J aferenta echipamentului Lucas Nuelle

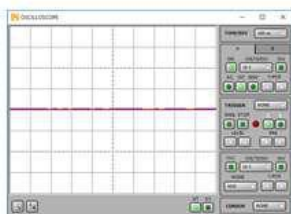
D) Se realizeza montajul din imaginea de mai jos, utilizand placa de circuit SO 4203 6J aferenta echipamentului Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si rezistor, condensator si se conecteaza montajul astfel realizat la generatorul de functie de pe modulul din stanga al echipamentului Lucas Nuelle, corespunzator imaginii de mai jos:



E) Se seteaza generatorul de functie, osciloscopul si cele doua voltmetre conform urmatoarelor instructiuni:



Function generator settings	
Mode:	SINE
Amplitude:	1:1, 75%
Frequency:	10 Hz



Oscilloscope settings	
Channel A	2 V/div
Channel B	2 V/div
Time base:	20 ms/div
Mode:	X/T, AC
Trigger:	Channel A / rising edge / pre-trigger 0%



Voltmeter A/B settings	
Range:	10 V AC
Mode:	PP

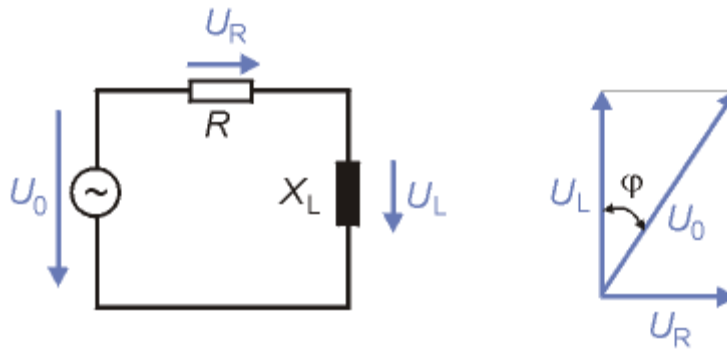
Tema de laborator aferenta lucrarii consta in verificarea, cu ajutorul circuitui generat anterior a urmatoarelor:

Generarea amplitudinii de raspuns pentru 3 filtre care au valori diferite ale capacitatii condensatorului din componenta si inregistrarea valorilor in tabelul de mai jos, frecventa fiind crescuta pana la 10.000 Hz. Se constata ca frecventa de taiere este invers proportionala cu capacitatea condensatorului.

R=R1=1k	C=100nF	C=470nF	C=1µF
f / Hz	U_c/U_o	U_c/U_o	U_c/U_o
10	1.000	0.993	1.000
14	1.000	0.993	0.993
21	1.000	1.000	0.993
30	0.999	0.993	0.980
43	1.000	0.980	0.966
62	1.000	0.973	0.933
89	0.999	0.960	0.874
127	0.990	0.927	0.781
183	0.999	0.860	0.655
264	0.970	0.761	0.509
379	0.966	0.642	0.384
546	0.930	0.516	0.278
785	0.880	0.390	0.198
1130	0.794	0.291	0.145
1620	0.667	0.211	0.099
2340	0.549	0.152	0.072

14) Filtrul Highpass RL

Diagrama electrica si diagrama fazoriala circuitului electric:



Componentele circuitului electric:

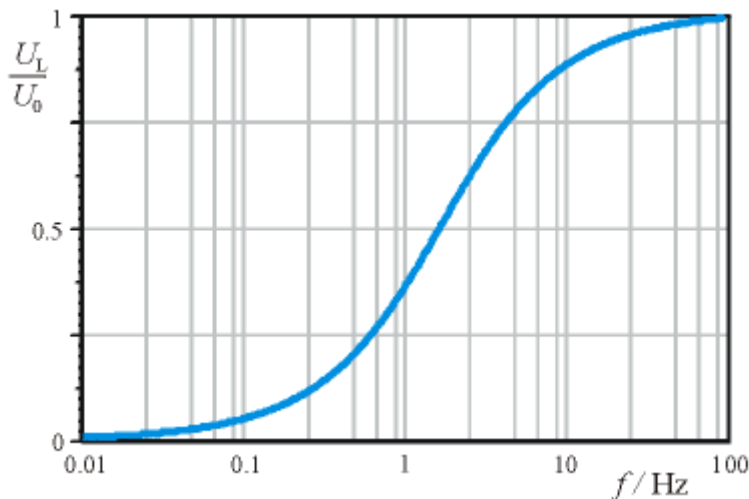
1 generator de functie, 1 rezistor, 1 bobina, osciloscop si 2 voltmetre

Consideratii teoretice

In circuitul descris anterior, tensiunea la iesirea din divizorul de tensiune RL de mai sus, se calculeaza astfel:

$$U_L = U_0 \frac{X_L}{Z} = U_0 \frac{2\pi \cdot f \cdot L}{\sqrt{R^2 + (2\pi \cdot f \cdot L)^2}} = U_0 \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{R}{2\pi \cdot f \cdot L}\right)^2 + 1}}$$

Amplitudinea de raspuns a filtrului este:



Frecventa de taiere (cutoff frequency) a filtrului este:

$$f_G = \frac{R}{2\pi \cdot L}.$$

Modul de lucru:

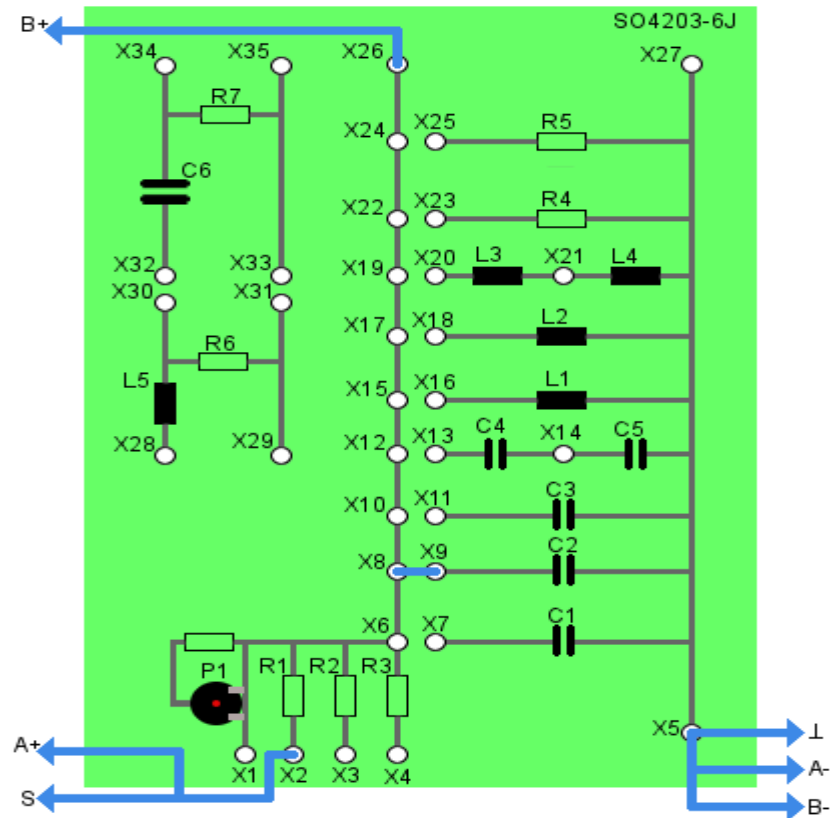
A) Se instaleaza standul de lucru Lucas Nuelle, format din cele doua module principale, modulul de alimentare cu tensiune si modulul de introducere card, cele doua fiind conectate prin intermediul interfetei de 96 de pini

B) Se conecteaza modulul principal pe de o parte, la alimentarea cu tensiune, utilizand mufa corespunzatoare si priza de tensiune de perete, iar pe de alta parte modulul principal se conecteaza la unitatea PC prin intermediul cablului USB argintiu, pentru a fi asigurata comunicarea cu computerul in vederea utilizarii aparatelor de masura virtuale

C) Se introduce in slotul de card, placa de circuit SO 4203 6J aferenta echipamentului Lucas Nuelle

D) Se realizeza montajul din imaginea de mai jos, utilizand placa de circuit SO 4203 6J aferenta echipamentului Lucas Nuelle si elementele suplimentare necesare: conductoare electrice, conectori si resistor, condensator si se conecteaza montajul astfel realizat la generatorul de

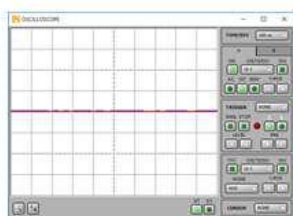
functie de pe modulul din stanga al echipamentului Lucas Nuelle, corespunzator imaginii de mai jos:



E) Se seteaza generatorul de functie, osciloscopul si cele doua voltmetre conform urmatoarelor instructiuni:



Function generator settings	
Mode:	SINE
Amplitude:	1:1, 75%
Frequency:	10 Hz



Oscilloscope settings	
Channel A	2 V/div
Channel B	2 V/div
Time base:	20 ms/div
Mode:	X/T, AC
Trigger:	Channel A / rising edge / pre-trigger 0%



Voltmeter A/B settings	
Range:	10 V AC
Mode:	PP

Tema de laborator aferenta lucrarii consta in verificarea, cu ajutorul circuitului generat anterior a urmatoarelor:

Generarea amplitudinii de raspuns pentru 3 filtre care au valori diferite ale inductivitatii bobinei din componenta filtrului si inregistrarea valorilor in tabelul de mai jos, frecventa fiind crescuta pana la 100.000 Hz. Se constata ca amplitudinea tensiunii la iesire este proportionala cu inductivitatea bobinei.

R2=100R	L=1mH	L=10mH	L=100mH
f / Hz	UL/Uo	UL/Uo	UL/Uo
10			
15			
22			
32			
46			
68			
100			
147			
215			
316			
464			
681			
1000			
1470			
2150			
3160			
4640			

Bibliografie

1. Labsoft, interfata software a aparaturii Lucas Nuelle
2. C. Sora: Bazele Electrotehnicii, Editura Didactica si Pedagogica 1982
3. C. Maxfield, J. Bird, M.A. Laughton: Electrical Engineering, Elsevier 2008