CAPITOLUL 2. ELEMENTE PASIVE DE CIRCUIT

2.1 REZISTOARE

2.1.1. GENERALITĂŢI PRIVIND REZISTOARELE

A. DEFINIŢIE.

REZISTORUL – este o componentă electronică pasivă, prevăzută cu 2 terminale, care are proprietatea fizică de a se opune trecerii curentului electric.

Mărimea fizică care caracterizează rezistorul se numeşte ***rezistenţă electrică*** **(R)**

Rezistorul este un dispozitiv fizic iar *rezistenţa electrică* este o proprietatea fizică .

Rezistenţa electrică se poate exprima în 2 moduri:

- în funcţie de proprietăţile materialului din care este construit rezistorul (la rece)

$$(1) R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

unde: ρ (rho)= rezistivitatea electrică a materialului

l = lungimea conductorului din care este construit rezistorul

S = secţiunea transversală a conductorului

- în funcţie de valorile mărimilor electrice dintr-un circuit electric (la cald)

$$(2) R = \frac{U}{I}$$ (Legea lui Ohm)

unde: U = tensiunea electrică la bornele rezistorului

I = curentul electric care circulă prin rezistor

B. UNITĂŢI DE MĂSURĂ

Rezistenţa electrică se măsoară în **ohmi (Ω).** *1ohm este rezistenţa unui rezistor parcurs de un curent de 1 amper atunci când la bornele sale se aplică o tensiune de 1 volt*.

Rezistenţa electrică $R = \frac{U}{I}$ $[R] = \frac{1V}{1A} = 1\Omega$

Deoarece 1 ohm are valoarea mică, în practică se utilizează multiplii acestuia:

1 k Ω (kiloohm) = 1000 Ω = $\mathbf{10^3}$ **Ω**

1 M Ω (megohm) = 1000 k Ω = 1.000.000 Ω = $\mathbf{10^6}$ **Ω**

Rezistivitatea electrică $\rho = R \cdot \frac{S}{l}$ $[\rho] = \Omega \cdot \frac{mm^2}{mm} = \Omega \cdot mm$

C. PARAMETRII ELECTRICI SPECIFICI REZISTOARELOR

a. REZISTENŢA NOMINALĂ (Rn)

Reprezintă valoarea, în ohmi, a rezistenţei pentru care a fost construit rezistorul, măsurată la temperatura de 20º C.

b. COEFICIENTUL DE TOLERANŢĂ (%)

Reprezintă abaterea în procente, în plus sau în minus, (±%) a rezistenţei reale a rezistorului faţă de rezistenţa nominală înscrisă pe acesta.
Coeficientul de toleranţă (%) poate fi marcat şi în cod de litere, conform tabelului:

±0,005	±0,001	±0,02	±0,05	±0,1	±0,25	±0,5	±1	±2	±2,5	±5	±10	±20
E	L	P	W	B	C	D	F	G	H	J	K	M

c. PUTEREA NOMINALĂ (Pn)

Reprezintă puterea maximă admisibilă (în curent continuu) ce poate fi disipată pe un rezistor, pe o perioadă îndelungată, fără ca acesta să se supraîncălzească.

Puterea se exprimă în waţi $[P] = W(wat)$

Puterea nominală depinde de dimensiunile rezistorului, de materialul utilizat pentru elementul rezistiv şi de tehnologia de construcţie.
Rezistoarele utilizate cel mai frecvent în echipamentele electronice au următoarele puteri:

0,1W ; 0,125W ; 0,25W ; 0,5W ; 1W ; 2W ; 5W ; 10W.

Puterea nominală pe rezistor se calculează cu formulele $P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$

Conform formulelor de mai sus, cunoscând puterea şi rezistenţa nominală a unui rezistor se poate determina curentul maxim admis astfel: $I[mA] = 1000 \cdot \sqrt{\frac{P[W]}{R[\Omega]}}$

Exemple: un rezistor cu R = 100Ω şi P= 1W suportă un curent de 100 mA
un rezistor cu R = 100Ω şi P= 5W suportă un curent de 225 mA

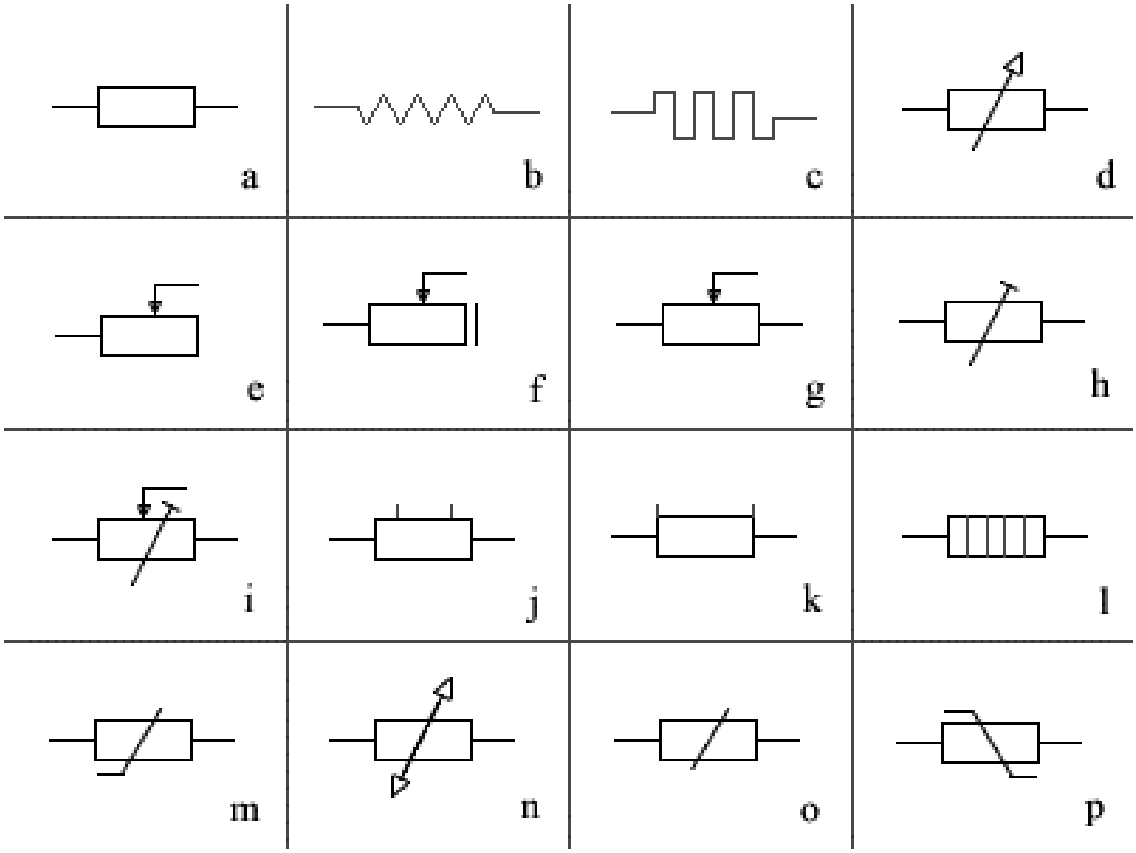
Rezistor cu caracteristicile: 5W ; 2,2 Ω ; ± 5%
Curentul admis de rezistor ≈ 1500 mA

d. TENSIUNEA NOMINALĂ (Un)

Reprezintă tensiunea maximă ce poate fi aplicată la bornele unui rezistor fără ca acesta să se supraîncălzească. Tensiunea nominală se calculează cu formula:

$U[V] = \sqrt{P[W] \cdot R[\Omega]}$ Pentru rezistorul de mai sus Un = 3,3 V.

D. SIMBOLURILE REZISTOARELOR



a. rezistor - semn general

b. rezistor - semn tolerat

c. rezistor - semn nestandardizat

d. rezistor cu rezistenţă variabilă

e. rezistor cu contact mobil

f. rezistor cu contact mobil cu poziţie de întrerupere

g. potenţiometru cu contact mobil

h. potenţiometru cu ajustare (semi-reglabil) - semn general

i. potenţiometru cu ajustare predeterminată

j. rezistor cu doua prize fixe

k. şunt

l. element de încălzire

m. rezistor cu rezistenţă neliniară dependentă de temperatură (termistor)

n. rezistor cu rezistenţă neliniară dependentă de temperatură - semn tolerat

o. rezistor cu rezistenţă neliniară dependentă de tensiune (varistor)

p. rezistor cu rezistenţă neliniară dependentă de tensiune - semn tolerat

2.1.2 MARCAREA REZISTOARELOR

A. MARCARE DIRECTĂ – PRIN COD ALFANUMERIC.

Acest cod este format din una sau mai multe cifre şi o literă. Litera poate fi plasată după grupul de cifre (situaţie în care valoarea rezistenţei este un număr întreg), sau între cifre (situaţie în care are rol de virgulă iar valoarea rezistenţei este un număr zecimal).

Litera poate avea următoarea semnificaţie:

R sau J (facultativă) – valoarea rezistenţei este exprimată în **Ω** (ohmi)

K – valoarea rezistenţei este exprimată în **kΩ** (kiloohmi)

M - valoarea rezistenţei este exprimată în **MΩ** (megohmi)

Dacă după numărul de pe rezistor nu este nici o literă din cele prezentate mai sus valoarea rezistenţei este exprimată în Ω (0hmi).

Exemple:

470 ↔ 470 Ω ; 330 R ↔ 330 Ω ; 1R8 ↔ 1,8 Ω

1K5 ↔ 1,5 kΩ = 1500 Ω ; 15K ↔ 15 kΩ = 15000 Ω

2M2 ↔ 2,2 MΩ = 2.200 kΩ ; 10M ↔ 10 MΩ = 10.000 kΩ

B. MARCARE INDIRECTĂ – PRIN COD NUMERIC.

Acest cod se utilizează pentru marcarea rezistoarelor de dimensiuni mici şi a rezistoarelor SMD (de tip chip).

Pentru rezistoarele de dimensiuni mici codul este format din 2 sau 3 cifre semnificative şi o cifră care reprezintă coeficientul de multiplicare.

Coeficientul de multiplicare este întotdeauna ultima cifră şi valoarea acestei cifre reprezintă exponentul(puterea) lui 10.

$0 \leftrightarrow 10^0 = 1$, $1 \leftrightarrow 10^1 = 10$, $2 \leftrightarrow 10^2 = 100$, $3 \leftrightarrow 10^3 = 1000$, $4 \leftrightarrow 10^4 = 10000$…….etc.

Valoarea rezultată este exprimată în ohmi.

Exemple:

681 ↔ $68x10^1$ = 680 Ω

153 ↔ $15x10^3$ = 15x1000 = 15000 Ω = 15 kΩ

4252 ↔ $425x10^2$ = 425X100 = 42500 Ω = 42,5 kΩ

1850 ↔ $185x10^0$ = 185x1 = 185 Ω.

Pentru citirea valorii rezistenţei de pe rezistoarele SMD se utilizează tabele de mai jos:

TABEL 2.1.

Code	Valoare	Code	Valoare	Code	Valoare	Code	Valoare
01	100	25	178	49	316	73	562
02	102	26	182	50	324	74	576
03	105	27	187	51	332	75	590
04	107	28	191	52	340	76	604
05	110	29	196	53	348	77	619
06	113	30	200	54	357	78	634
07	115	31	205	55	365	79	649
08	118	32	210	56	374	80	665
09	121	33	215	57	383	81	681
10	124	34	221	58	392	82	698
11	127	35	226	59	402	83	715
12	130	36	232	60	412	84	732
13	133	37	237	61	422	85	750
14	137	38	243	62	432	86	768
15	140	39	249	63	442	87	787
16	143	40	255	64	453	88	806
17	147	41	261	65	464	89	825
18	150	42	267	66	475	90	845
19	154	43	274	67	487	91	866
20	158	44	280	68	499	92	887
21	162	45	287	69	511	93	909
22	165	46	294	70	523	94	931
23	169	47	301	71	536	95	953
24	174	48	309	72	549	96	976

TABEL 2.2.

LITERA	S	R	A	B	C	D	E	F
Multiplicator	10^{-2}	10^{-1}	10	10^{1}	10^{2}	10^{3}	10^{4}	10^{5}

Rezistenţa este marcată cu un cod de cifre din tabelul 1, sau cu un cod de cifre din tabelul 1 urmat de o literă din tabelul 2.

La fiecare cod de cifre din tabelul 1 îi corespunde o anumită valoare.

Dacă rezistenţa este marcată cu un cod de cifre urmat de o literă valoarea se determină astfel: grupul de cifre care corespunde codului din tabelul 1 se înmulţeşte cu multiplicatorul care corespunde literei din tabelul 2.

R = Valoare x multiplicator. Valoarea rezultată este exprimată în ohmi.

Exemple:

18 ↔ 150 Ω ; 30 ↔ 200 Ω

05R ↔ 110 x 10^{-1} = 110 : 10 = 11 Ω

44C ↔ 280 x 10^{2} = 280 x 100 = 28000 Ω = 28 KΩ

88S ↔ 806 x 10^{-2} = 806 : 100 = 8,06 Ω

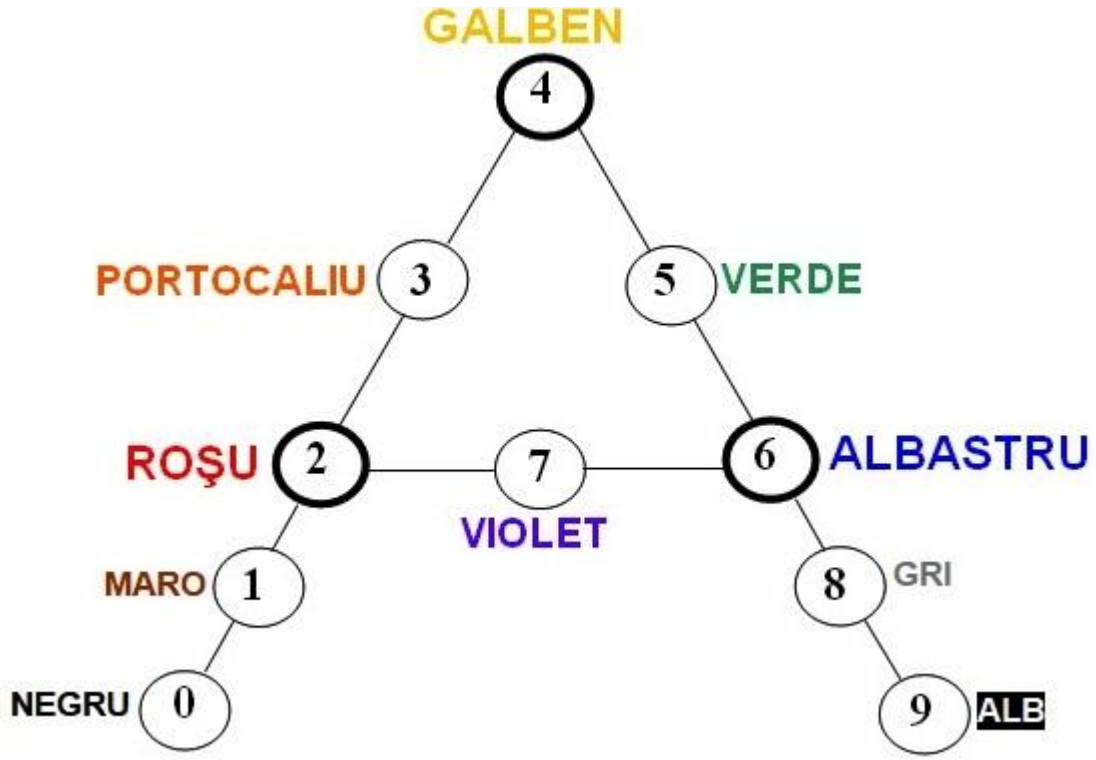
C. MARCARE INDIRECTĂ – PRIN CODUL CULORILOR.

Marcarea se face cu 3, 4 sau 5 benzi colorate. La fiecare culoare îi corespunde o cifră , după cum este explicat în cele ce urmează.

CODUL CULORILOR

În electronică codul culorilor se utilizează pentru marcarea indirectă a rezistoarelor şi condensatoarelor. Aceste componente se marchează cu 3 sau mai multe inele colorate. La fiecare culoare corespunde o cifră. Cifrele corespunzătoare inelelor colorate formează un număr care reprezintă valoarea componentei respective.

În desenul de mai jos am prezentat o metodă de reţinere mai uşoară a acestui cod.



INTERPRETAREA DESENULUI DE MAI SUS.

- Se reprezintă un triunghi.
- În vârfurile lui sunt marcate primele trei cifre pare 2, 4, 6 la care le corespund culorile drapelului roşu, galben, albastru.
- Pe laturile triunghiului se află cifrele impare corespunzătoare celor pare din vârfuri - respectiv 3, 5, 7 la care le corespund culorile ce rezultă din combinaţia culorilor din vârfuri astfel:
  - roşu+galben → portocaliu
  - galben+albastru → verde
  - roşu+albastru → violet
- La cifrele 0 şi 1 le corespund culorile cele mai închise, respectiv negru şi maro
- La cifrele 8 şi 9 le corespund culorile cele mai deschise, respectiv gri şi alb

Se consideră banda I inelul care este mai aproape de unul dintre terminalele rezistorului.

Când benzile sunt poziţionate pe mijlocul rezistorului acestea sunt dispuse în două grupe: o grupă de 3 benzi care reprezintă valoarea rezistorului (banda dinspre terminal este ***banda I*** și o grupă de o bandă care reprezintă coeficientul de toleranță). Această bandă nu poate avea culoarea: auriu sau argintiu.
În această situație se observă o distanță mai mare între cele două grupe.

Semnificaţia benzilor.

REZISTOARELE CU 3 BENZI:

Banda I reprezintă prima cifră a numărului

Banda II reprezintă a doua cifră a numărului

Banda III reprezintă coeficientul de multiplicare (x $10^{\text{cifră corespunzătoare culorii benzii}}$)

La aceste rezistoare coeficientul de toleranţă este 20%

REZISTOARELE CU 4 BENZI:

Banda I reprezintă prima cifră a numărului

Banda II reprezintă a doua cifră a numărului

Banda III reprezintă coeficientul de multiplicare (x $10^{\text{cifră corespunzătoare culorii benzii}}$)

Banda IV reprezintă coeficientul de toleranţă

REZISTOARELE CU 5 BENZI:

Banda I reprezintă prima cifră a numărului

Banda II reprezintă a doua cifră a numărului

Banda III reprezintă a treia cifră a numărului

Banda IV reprezintă coeficientul de multiplicare (x $10^{\text{cifră corespunzătoare culorii benzii}}$)

Banda V reprezintă coeficientul de toleranţă

Culori pentru coeficientul de multiplicare:

Culoare	Argintiu	Auriu	Negru	Maro	Roşu	Portocaliu	Galben	Verde	Albastru	Violet
Coef. M	10^{-2}	10^{-1}	10^{0}	10^{1}	10^{2}	10^{3}	10^{4}	10^{5}	10^{6}	10^{7}

Culori pentru coeficientul de toleranţă:

Culoare	Violet	Albastru	Verde	Maro	Roşu	Portocaliu	Galben	Auriu	Argintiu
Coef. T	0,1%	0,25%	0,5%	1%	2%	3%	4%	5%	10%

VALOAREA OBȚINUTĂ SE EXPRIMĂ ÎN OHMI.

EXEMPLE:

MARO
NEGRU
AURIU
GALBEN

$R = 10 \text{ X } 10^{-1} = 10 : 10 = 1\ \Omega$

Coef. toleranţă = 4 %

PORTOCALIU
PORTOCALIU
GALBEN
AURIU

$R = 33 \text{ X } 10^{4} = 33 \text{ X } 10000 = 330000\ \Omega = 330\ K\Omega$

Coef. toleranţă = 5 %

MARO
ALB
ALBASTRU
MARO
MARO

$R = 196 \text{ X } 10^{1} = 196 \text{ X } 10 = 1960\ \Omega = 1{,}96\ K\Omega$

Coef. toleranţă = 1 %

PORTOCALIU
NEGRU
NEGRU
ROŞU
MARO

$R = 300 \text{ X } 10^{2} = 300 \text{ X } 100 = 30000\ \Omega = 30\ K\Omega$

Coef. toleranţă = 1 %

2.1.3 GRUPAREA REZISTOARELOR

A. GRUPAREA SERIE.

Două sau mai multe rezistoare sunt conectate în ***serie*** dacă sunt plasate pe aceeaşi ramură de reţea, au un singur punct comun între ele care **NU** este nod de rețea..

Rezistoarele conectate în serie sunt parcurse de acelaşi curent electric.

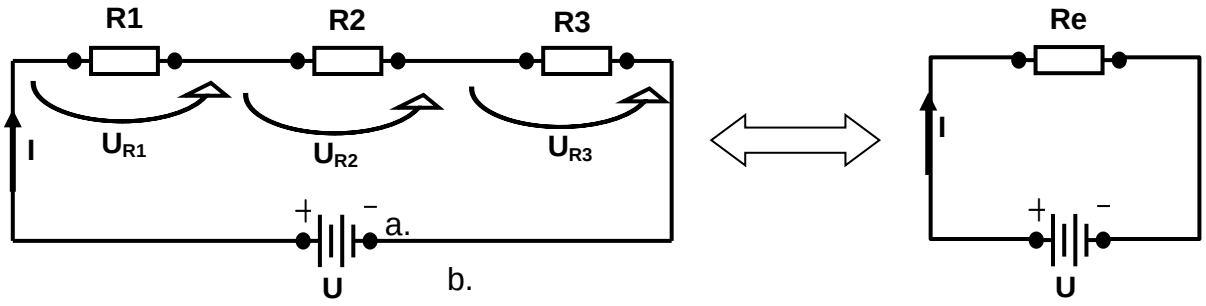


Figura 2.1. a. Reţea de rezistoare conectate în serie b. Schema echivalentă

Tensiunea la bornele reţelei este egală cu suma tensiunilor de pe fiecare rezistor.

(1) $U = U_{R1} + U_{R2} + U_{R3}$

Conform Legii lui Ohm tensiunile electrice din reţeaua de mai sus se exprimă astfel:

(2) $U = \mathrm{Re} \cdot I \quad U_{R1} = \mathrm{R}1 \cdot I \quad U_{R2} = \mathrm{R}2 \cdot I \quad U_{R3} = \mathrm{R}3 \cdot I$

Prin înlocuirea relaţiilor (2) în relaţia (1) se obţine relaţia:

(3) $\mathrm{Re} \cdot I = R1 \cdot I + R2 \cdot I + R3 \cdot I = (R1 + R2 + R3) \cdot I$

Dacă relaţia (3) se împarte la *I* se obţine formula rezistenţei echivalente a reţelei:

(4) $\mathrm{Re} = R1 + R2 + R3$

În mod similar, pentru n rezistoare conectate în serie rezistenţa echivalentă este:

(5) $\mathrm{Re} = R1 + R2 + R3 + R4 + \ldots\ldots\ldots Rn$

Dacă în reţea sunt n rezistoare cu aceeaşi valoare R, rezistenţa echivalentă este:

(6) $\mathrm{Re} = n \cdot R$

La gruparea în SERIE a rezistoarelor, rezistenţa echivalentă a reţelei CREŞTE, va fi mai mare decât valoarea oricărui rezistor din reţea.

B. GRUPAREA PARALEL.

Două sau mai multe rezistoare sunt grupate în *paralel* dacă sunt conectate între aceleaşi două noduri. Rezistoarele au între ele două puncte comune.

Rezistoarele conectate în paralel au aceeaşi tensiune electrică la borne.

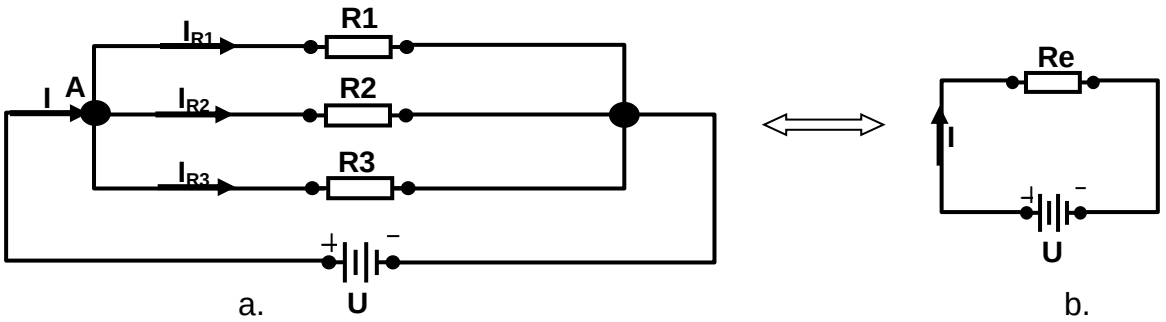


Figura 2.2. a. Reţea de rezistoare conectate în paralel b. Schema echivalentă

Conform Legii I a lui Kirchhoff, în schema de mai sus, curentul electric care intră în nodul A este egal cu suma curenţilor care ies din nod.

(1) $I = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3}$

Conform Legii lui Ohm curenţii electrici din reţeaua de mai sus se exprimă astfel:

(2) $I = \frac{U}{\mathrm{Re}} \qquad I_{R1} = \frac{U}{R1} \qquad I_{R2} = \frac{U}{R2} \qquad I_{R3} = \frac{U}{R3}$

Prin înlocuirea relaţiilor (2) în relaţia (1) se obţine relaţia:

(3) $\frac{U}{\mathrm{Re}} = \frac{U}{R1} + \frac{U}{R2} + \frac{U}{R3}$

Dacă în relaţia (3) se scoate *U* factor comun apoi se împarte la *U* se obţine formula rezistenţei echivalente a reţelei:

(4) $\frac{1}{\mathrm{Re}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$

În mod similar, pentru n rezistoare conectate în serie rezistenţa echivalentă este:

(5) $\frac{1}{\mathrm{Re}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} + \ldots\ldots + \frac{1}{Rn}$

Dacă în reţea sunt n rezistoare cu aceeaşi valoare R, rezistenţa echivalentă este:

(6) $\mathrm{Re} = \frac{R}{n}$

La gruparea în PARALE a rezistoarelor, rezistenţa echivalentă a reţelei SCADE, va fi mai MICĂ decât valoarea oricărui rezistor din reţea.

În practică, rezistoarele conectate în paralel, se grupează câte două, iar rezistenţa echivalentă (R12) a celor două rezistoare (R1 şi R2) se calculează cu formula:

(7) $R12 = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$

C. TRANSFIGURAREA TRIUNGHI – STEA (STEA – TRIUNGHI).

Reţelele de rezistoare complexe, pot fi reduse la conexiuni accesibile calculului, prin transformarea conexiunilor din triunghi în stea sau invers.

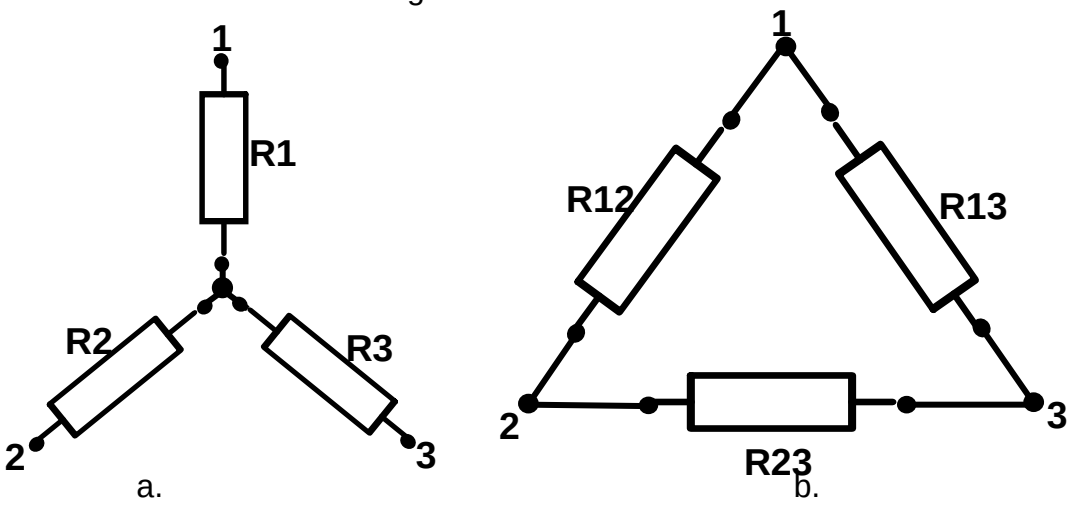
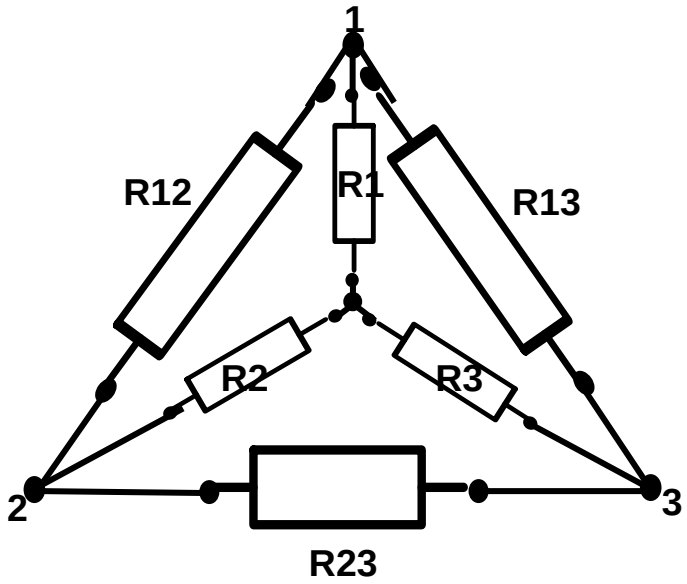


Figura 2.3 a. Rezistoare grupate în stea b. Rezistoare grupate în triunghi

Pentru înţelegerea transfigurării din triunghi în stea (şi invers) realizez schema de mai jos:



La transfigurarea din Δ în Y:

R12 şi R13 se transformă în R1

R12 şi R23 se transformă în R2

R13 şi R23 se transformă în R3

La transfigurarea din Y în Δ:

R1 şi R2 se transformă în R12

R1 şi R3 se transformă în R13

R2 şi R3 se transformă în R23

Relaţiile de transformare triunghi – stea

$$R1 = \frac{R12 \cdot R13}{R12 + R13 + R23}$$

$$R2 = \frac{R12 \cdot R23}{R12 + R13 + R23}$$

$$R3 = \frac{R13 \cdot R23}{R12 + R13 + R23}$$

Relaţiile de transformare stea - triunghi

$$R12 = R1 + R2 + \frac{R1 \cdot R2}{R3}$$

$$R13 = R1 + R3 + \frac{R1 \cdot R3}{R2}$$

$$R23 = R2 + R3 + \frac{R2 \cdot R3}{R1}$$

2.2 REȚELE DE REZISTOARE

2.2.1 REZOLVAREA TEORETICĂ A REȚELELOR DE REZISTOARE

A. Determinarea rezistenţei echivalente a unei reţele de rezistoare simplă.

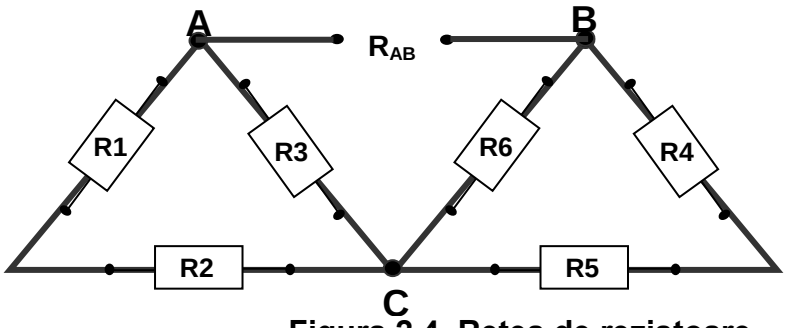


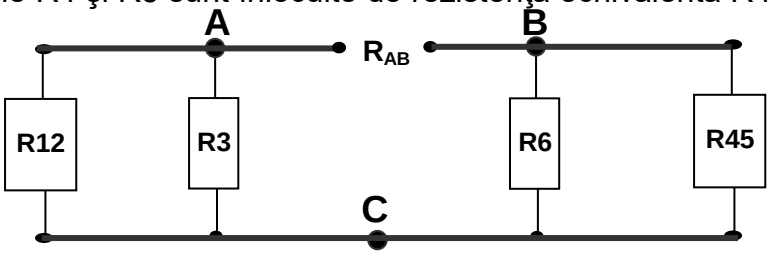
Figura 2.4. Rețea de rezistoare

OBSERVAŢIE: Calculez rezistenţa echivalentă a rezistoarelor care nu au ambele capete în noduri de reţea (în cazul nostru punctele A, B, C sunt noduri de reţea deoarece la ele sunt conectate mai mult de 2 conductoare).

Calculez rezistenţa echivalentă a rezistoarelor R1 şi R2 (conectate în serie) şi ***rezistenţa echivalentă a rezistoarelor R4 şi R5*** (conectate în serie).

$$(1) R12 = R1 + R2 \qquad (2) R45 = R4 + R5$$

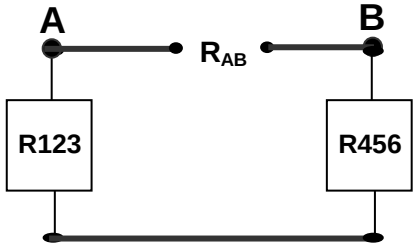
În schema iniţială rezistoarele R1 şi R2 sunt înlocuite de rezistenţa echivalentă R12, iar rezistoarele R4 şi R5 sunt înlocuite de rezistența echivalentă R45 şi schema arată astfel:



Calculez rezistenţa echivalentă a rezistoarelor R12 şi R3 (conectate în paralel) şi ***a rezistoarelor R45 şi R6*** (conectate în paralel).

$$(3) R12-3 = \frac{R12 \cdot R3}{R12 + R3} \qquad (4) R45-6 = \frac{R45 \cdot R6}{R45 + R6}$$

În schema precedentă rezistoarele R12 şi R3 sunt înlocuite de rezistenţa echivalentă R123, iar rezistoarele R45 şi R6 sunt înlocuite de rezistenţa echivalentă R456 şi schema arată astfel:



Calculez rezistenţa echivalentă a rezistoarelor R123 şi R456 (conectate în serie)

$$(5) R_{AB} = R123 + R456$$

B. Determinarea rezistenţei echivalente a unei reţele de rezistoare complexă.

În reţeaua din **fig.2.5** trebuie calculată rezistenţa echivalentă între punctele A şi B. Pentru a simplifica calculele consider ca toate rezistoarele din reţeaua de mai jos au aceeaşi valoare R1=R2=R3=R4=R5=R6=R7=R8=R.

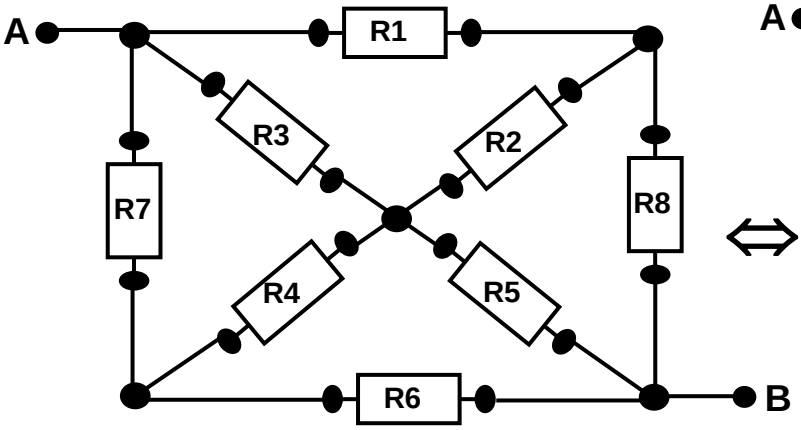


Figura 2.5

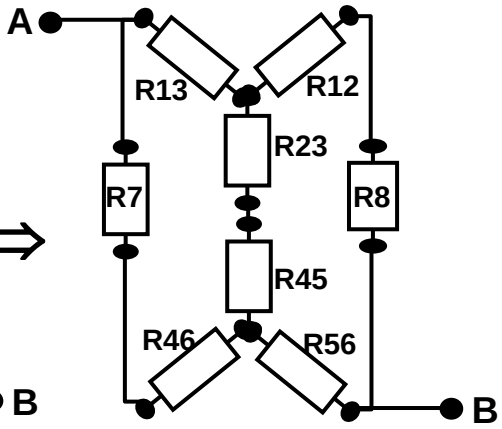


Figura 2.6

În prima etapă transform *triunghiul* format din rezistoarele R1, R2, R3 în *stea* şi *triunghiul* format din rezistoarele R4, R5, R6 în *stea*, apoi calculez rezistenţele echivalente. În urma acestor transformări se obţine reţeaua din **fig. 2.6**.

(1

$$R12 = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2 + R3} = \frac{R \cdot R}{R + R + R} = \frac{R^2}{3R} = \frac{R}{3}$$

$$R13 = \frac{R1 \cdot R3}{R1 + R2 + R3} = \frac{R \cdot R}{R + R + R} = \frac{R^2}{3R} = \frac{R}{3}$$

$$R23 = \frac{R2 \cdot R3}{R1 + R2 + R3} = \frac{R \cdot R}{R + R + R} = \frac{R^2}{3R} = \frac{R}{3}$$

(2)

$$R45 = \frac{R4 \cdot R5}{R4 + R5 + R6} = \frac{R \cdot R}{R + R + R} = \frac{R^2}{3R} = \frac{R}{3}$$

$$R46 = \frac{R4 \cdot R6}{R4 + R5 + R6} = \frac{R \cdot R}{R + R + R} = \frac{R^2}{3R} = \frac{R}{3}$$

$$R56 = \frac{R5 \cdot R6}{R4 + R5 + R6} = \frac{R \cdot R}{R + R + R} = \frac{R^2}{3R} = \frac{R}{3}$$

Prin aranjarea rezistoarelor în reţeaua din fig. 2.6 se obţine reţeaua din fig. 2.7.

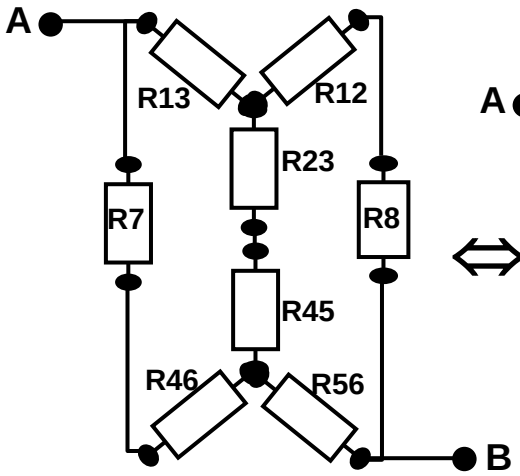


Figura 2.6

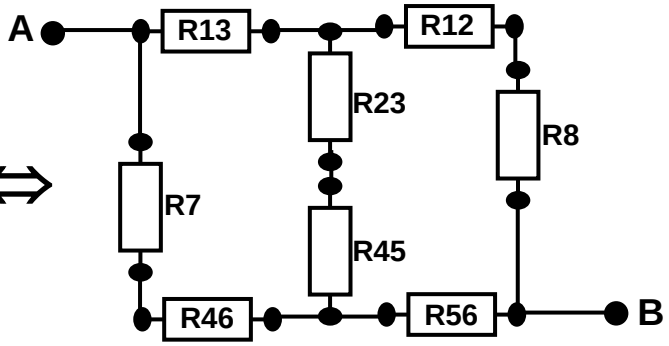


Figura 2.7

În reţeaua din **fig. 2.7** grupez şi ***calculez rezistenţa echivalentă*** a următoarelor rezistoare(serie): **R12 şi R8** ; **R23 şi R45** ; **R46 şi R7**. Se obţine reţeaua din **fig. 2.8.**

$$(3)\quad \begin{cases} R12-8 = R12 + R8 = \dfrac{R}{3} + R = \dfrac{4R}{3} \\ R23-45 = R23 + R45 = \dfrac{R}{3} + \dfrac{R}{3} = \dfrac{2R}{3} \\ R46-7 = R46 + R7 = \dfrac{R}{3} + R = \dfrac{4R}{3} \end{cases}$$

Reţeaua din fig. 2.8 este echivalentă cu reţeaua din fig. 2.9.

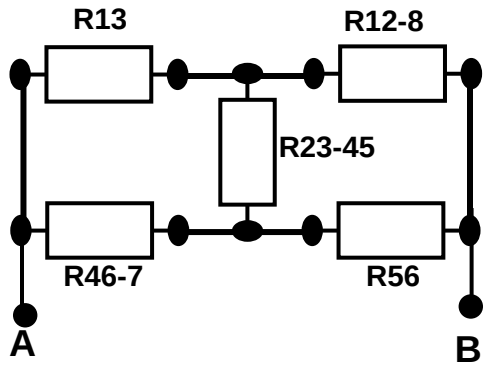


Figura 2.8

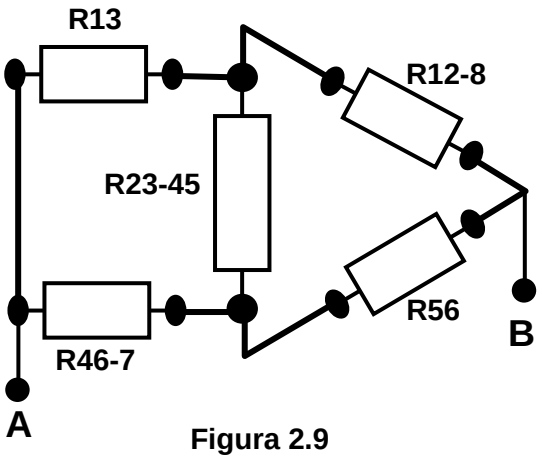


Figura 2.9

Pentru a uşura calculul voi redenumii rezistoarele din **fig. 2.9** (păstrând valorile lor) astfel:

$$(4)\quad \begin{cases} R12-8 = Ra = \dfrac{4R}{3} \qquad R56 = Rb = \dfrac{R}{3} \qquad R23-45 = Rc = \dfrac{2R}{3} \\ R46-7 = Rd = \dfrac{4R}{3} \qquad R13 = \mathrm{Re} = \dfrac{R}{3} \end{cases}$$

După redenumirea rezistoarelor reţeaua arată ca în **fig. 2.10.**

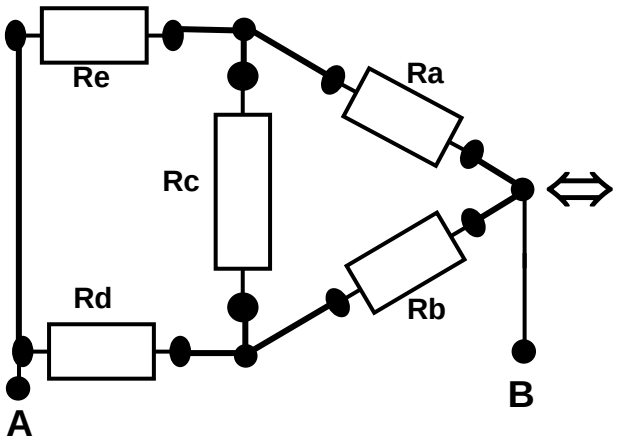


Figura 2.10

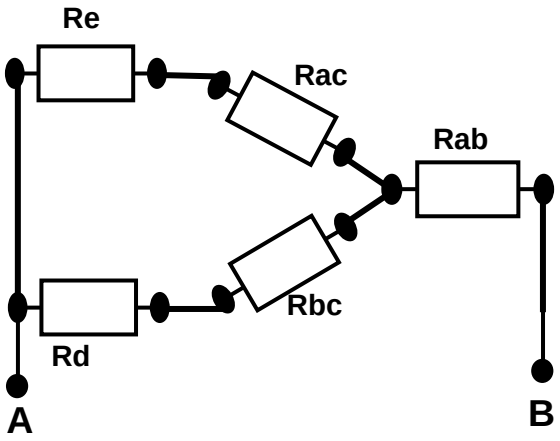


Figura 2.11

Transform *triunghiul* format de rezistenţele Ra, Rb, Rc în *stea*, apoi calculez rezistenţele echivalente. În urma acestor transformări se obţine reţeaua din **fig. 2.11**.

$$(5)\quad \begin{cases} Rab = \dfrac{Ra \cdot Rb}{Ra+Rb+Rc} = \dfrac{\dfrac{4R}{3}\cdot\dfrac{R}{3}}{\dfrac{4R}{3}+\dfrac{R}{3}+\dfrac{2R}{3}} = \dfrac{4R^2}{9}\cdot\dfrac{3}{7R} = \dfrac{4R}{21} \\ Rac = \dfrac{Ra \cdot Rc}{Ra+Rb+Rc} = \dfrac{\dfrac{4R}{3}\cdot\dfrac{2R}{3}}{\dfrac{4R}{3}+\dfrac{R}{3}+\dfrac{2R}{3}} = \dfrac{8R^2}{9}\cdot\dfrac{3}{7R} = \dfrac{8R}{21} \\ Rbc = \dfrac{Rb \cdot Rc}{Ra+Rb+Rc} = \dfrac{\dfrac{R}{3}\cdot\dfrac{2R}{3}}{\dfrac{4R}{3}+\dfrac{R}{3}+\dfrac{2R}{3}} = \dfrac{2R^2}{9}\cdot\dfrac{3}{7R} = \dfrac{2R}{21} \end{cases}$$

Reţeaua din **fig. 2.11** este echivalentă cu reţeaua din **fig. 2.12**.

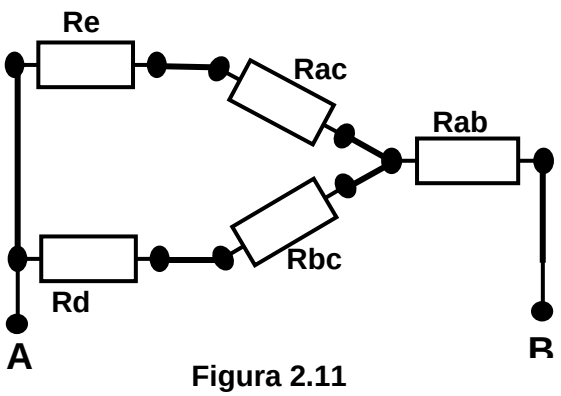


Figura 2.11

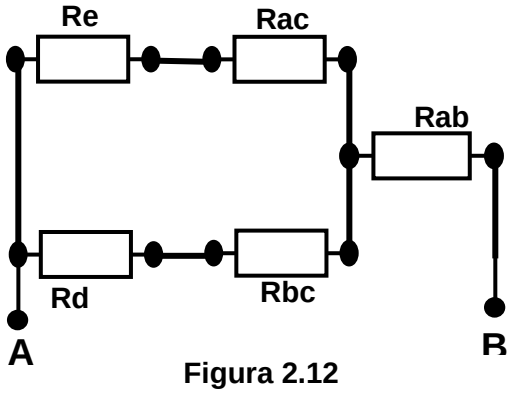


Figura 2.12

În reţeaua din **fig. 2.12** grupez şi calculez rezistenţa echivalentă a următoarelor rezistoare: Rac şi Re (serie), Rbc şi Rd (serie), obţinând reţeaua din **fig. 2.13**.

$$(6)\quad \begin{cases} \mathrm{Re}-ac = \mathrm{Re}+Rac = \dfrac{R}{3}+\dfrac{8R}{21} = \dfrac{15R}{21} = \dfrac{5R}{7} \\ \mathrm{R}\,d-bc = \mathrm{R}\,d+Rbc = \dfrac{4R}{3}+\dfrac{2R}{21} = \dfrac{30R}{21} = \dfrac{10R}{7} \end{cases}$$

În reţeaua din **fig.2.13** calculez rezistenţa echivalentă a rezistoarelor Re-ac şi Rd-bc (paralel) şi obţin reţeaua din **fig. 2.14**, în care calculez rezistenţa echivalentă R_{AB}.

$$(7)\quad \mathrm{Re}\,ac-dbc = \frac{\mathrm{Re}\,ac\cdot Rdbc}{\mathrm{Re}\,ac+Rdbc} = \frac{\dfrac{5R}{7}\cdot\dfrac{10R}{7}}{\dfrac{5R}{7}+\dfrac{10R}{7}} = \frac{50R^2}{49}\cdot\frac{7}{15R} = \frac{10R}{21}$$

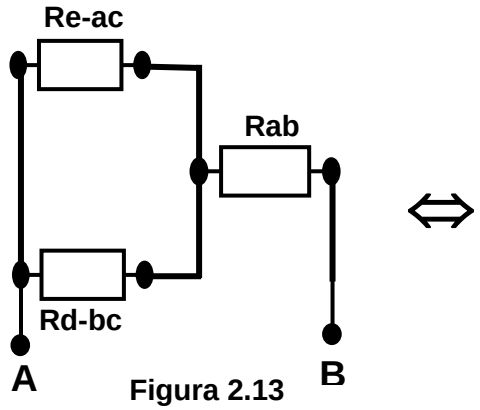


Figura 2.13

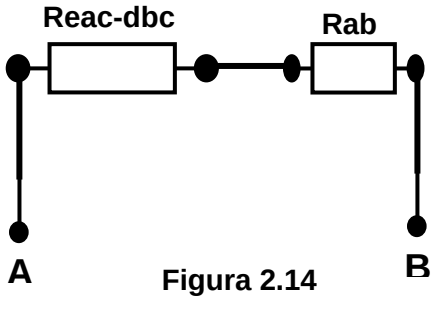


Figura 2.14

$$(8)\quad R_{AB} = \mathrm{Re}\,ac-dbc+Rab = \frac{10R}{21}+\frac{4R}{21} = \frac{14R}{21} = \frac{2R}{3}$$

$$\boxed{R_{AB} = \frac{2R}{3}}$$

2.2.2 REZOLVAREA PRACTICĂ A REȚELELOR DE REZISTOARE

Prin rezolvarea practică a unei rețele de rezistoare se poate determina rezistența echivalentă a rețelei utilizând patru metode suplimentare pe lângă metoda calculului cu formule:

- Se realizează rețeaua de rezistoare în Multisim și se măsoară cu un ohmmetru virtual rezistența rețelei;
- Se realizează rețeaua de rezistoare în Multisim, se conectează cu o sursă de alimentare virtuală, un voltmetru virtual, un ampermetru virtual și se determină rezistența echivalentă cu legea lui Ohm;
- Se realizează rețeaua de rezistoare practic, pe o placă de probă, și se măsoară rezistența rețelei cu un ohmmetru;
- Se realizează rețeaua de rezistoare practic, pe o placă de probă, se conectează cu o sursă de alimentare, un voltmetru, un ampermetru și se determină rezistența echivalentă cu legea lui Ohm.

EXEMPLE DE REZOLVARE A UNOR REȚELE DE REZISTOARE.

1. Se determină rezistența rețelei din **figura 2.15** prin trei metode.

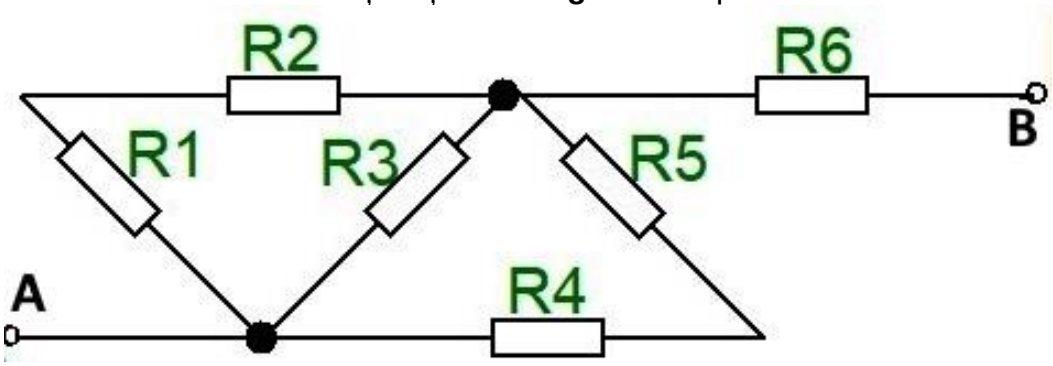


Figura 2.15 Rețea de rezistoare desenată în Proficad

Se consideră **R1 = R2 = R3 = R4 = R5 = R6 = 1K**

1. Determin rezistența echivalentă a rețelei prin calcul cu formule

- Se observă că rezistoarele **R1** și **R2** sunt conectate în serie deoarece punctul comun dintre ele nu este în nod de rețea .

$$\boldsymbol{R12 = R1 + R2 = 1 + 1 = 2\,K}\ \ (1)$$

- Se observă că rezistoarele **R4** și **R5** sunt conectate în serie deoarece punctul comun dintre ele nu este în nod de rețea .

$$\boldsymbol{R45 = R4 + R5 = 1 + 1 = 2\,K}\ \ (2)$$

- După substituirea rezistoarelor **R1** și **R2** cu **R12** , **R4** și **R5** cu **R45** rețeaua din figura 2.15 se transformă în rețeaua din figura 2.16.

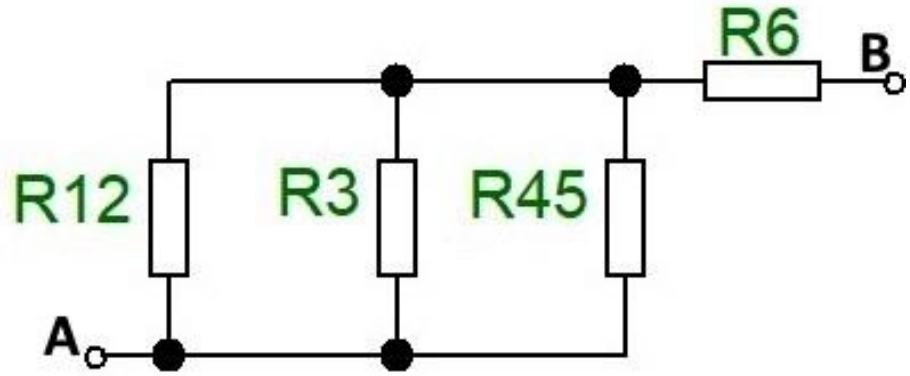


Figura 2.16 Rețea de rezistoare desenată în Proficad

Se observă că rezistoarele **R12, R3, R45** sunt conectate în paralel

$$\boldsymbol{R12-3=\frac{R12\cdot R3}{R12+R3}=\frac{2\cdot 1}{2+1}=\frac{2}{3}\,K}\quad(3)$$

$$\boldsymbol{R123-45=\frac{R123\cdot R45}{R123+R45}=\frac{\frac{2}{3}\cdot 2}{\frac{2}{3}+2}=\frac{4}{3}\cdot\frac{3}{8}=\frac{1}{2}\,K}\quad(4)$$

Cele trei rezistoare **R12, R3, R45** conectate în paralel au fost substituite cu un singur rezistor **R12345** care este conectat în serie cu rezistorul **R6**

$$\boldsymbol{Rab=R12345+R6=\frac{1}{2}+1=\frac{3}{2}=1{,}5\,K}\quad(5)$$

Prin calcul se obține rezistența echivalentă a rețelei $\boldsymbol{Rab=1{,}5\,K}$

2 Determin rezistența echivalentă a rețelei prin măsurarea rezistenței cu un ohmmetru virtual în Multisim.

- Desenez în Multisim schema rețelei din figura 2.15, conectez la punctele **A** și **B** un ohmmetru virtual și obțin schema din figura 2.17.

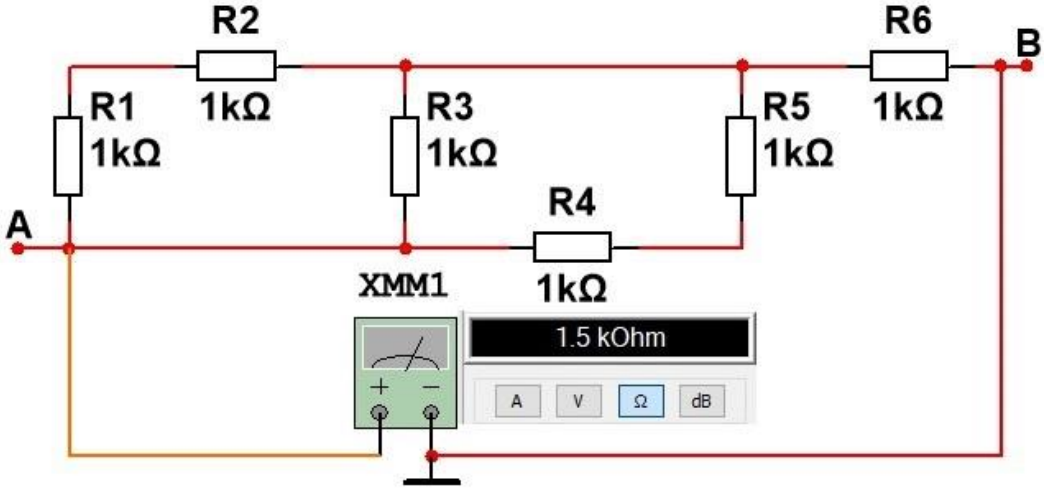


Figura 2.17 Rețea de rezistoare desenată în Multisim

OBSERVAȚIE. Deoarece în Multisim nu pot plasa rezistoarele la 45°, rezistoarele **R1**și **R5** din figura 2.15 le-am rotit cu 45° spre dreapta iar rezistorul **R3** l-am rotit cu 45° sau spre stânga obținând astfel schema din figura 2.17;

- După reprezentarea schemei rețelei de rezistoare în Multisim conectez între punctele **A** și **B** un multimetru virtual **XMM1** (instrumentul se află în bara laterală din stânga pe prima poziție);
- Selectez multimetru ca **ohmmetru (Ω)**;
- Conectez borna minus (-) a ohmmetrului la un punct de masă (**Ground**);
- Pornesc simularea cu **F5** și observ că ohmmetrul indică valoarea **1,5 KΩ.**

$$\boldsymbol{Rab = 1,5\ K}$$

3. Determin rezistența echivalentă a rețelei cu legea lui Ohm în Multisim.

- Conectez rețeaua de rezistoare din figura 2.17 în serie cu o sursă de alimentare **V1** și un ampermetru **I**;
- La punctele **A** și **B** conectez un voltmetru **U** și obțin schema din figura 2.18

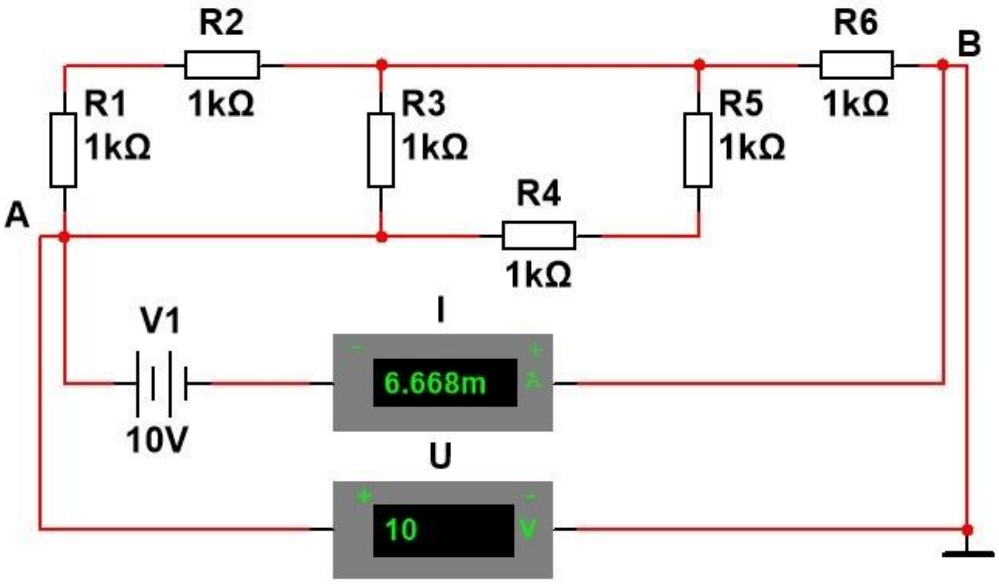


Figura 2.18 Rețea de rezistoare desenată în Multisim

- Pornesc simularea și notez valorile indicate de voltmetru și ampermetru **U = 10 V I= 6,67 mA**
- Calculez rezistența cu lege lui Ohm $\boldsymbol{R = \frac{U}{I}}$
- Deoarece curentul este exprimat în mA voi utiliza formula $\boldsymbol{R = \frac{U}{I} \cdot 1000}$
- Înlocuiesc în formulă și obțin: $\boldsymbol{Rab = \frac{10}{6,67} \cdot 1000 = 1499,25\ \Omega}$

$$\boldsymbol{Rab \cong 1,5\ K}$$

2. Se determină rezistența rețelei din **figura 2.19** prin trei metode.

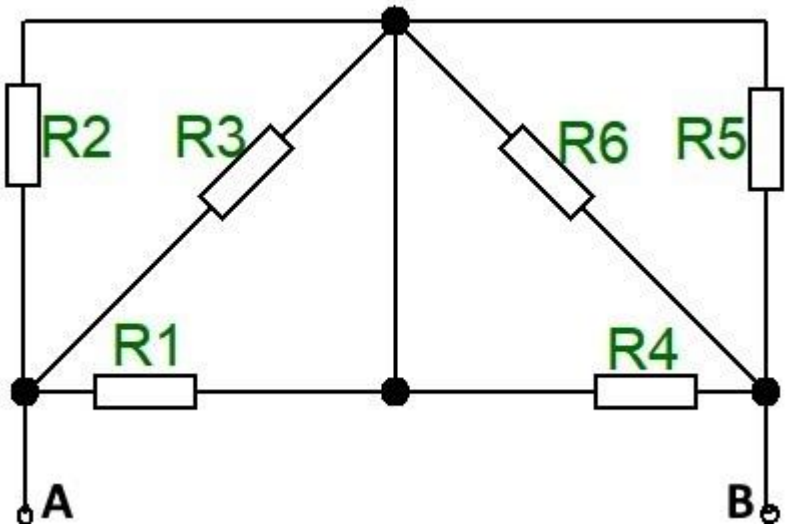


Figura 2.19 Rețea de rezistoare desenată în Proficad

Se consideră **R1 = R2 = R3 = R4 = R5 = R6 = 1K**

1. Determin rezistența echivalentă a rețelei prin calcul cu formule

- Se observă că rezistoarele **R2** și **R3** sunt conectate în paralel (au două puncte comune);

$$\boldsymbol{R23 = \frac{R2 \cdot R3}{R2 + R3} = \frac{1 \cdot 1}{1 + 1} = \frac{1}{2}\, K} \quad \boldsymbol{(1)}$$

- Se observă că rezistoarele **R5** și **R6** sunt conectate în paralel (au două puncte comune);

$$\boldsymbol{R56 = \frac{R5 \cdot R6}{R5 + R6} = \frac{1 \cdot 1}{1 + 1} = \frac{1}{2}\, K} \quad \boldsymbol{(2)}$$

- După substituirea rezistoarelor **R2, R3** cu **R23** și **R5, R6 cu R56** rețeaua din figura 2.19 se transformă în rețeaua din figura 2.20;

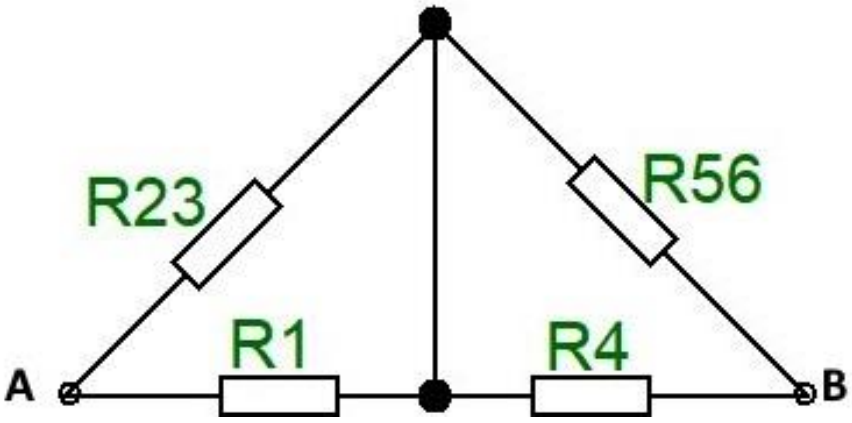


Figura 2.20 Rețea de rezistoare desenată în Proficad

- Se observă că rezistoarele **R23** și **R1** sunt conectate în paralel (au două puncte comune);

$$R23-1=\frac{R23\cdot R1}{R23+R1}=\frac{\frac{1}{2}\cdot 1}{\frac{1}{2}+1}=\frac{1}{2}\cdot\frac{2}{3}=\frac{1}{3}\ K \quad (3)$$

- Se observă că rezistoarele **R56** și **R4** sunt conectate în paralel (au două puncte comune);

$$R56-4=\frac{R56\cdot R4}{R56+R4}=\frac{\frac{1}{2}\cdot 1}{\frac{1}{2}+1}=\frac{1}{2}\cdot\frac{2}{3}=\frac{1}{3}\ K \quad (4)$$

- Rezistoarele **R23** și **R1** se substituie cu rezistorul **R123** iar rezistoarele **R56** și **R4** se substituie cu rezistorul **R456**;
- Rezistoarele **R123** și **R456** sunt conectate în serie
- $Rab=R123+R456=\frac{1}{3}+\frac{1}{3}=\frac{2}{3}=0,66\ K \quad (5)$

Prin calcul se obține rezistența echivalentă a rețelei $Rab=0,66\ K\Omega$

2 Determin rezistența echivalentă a rețelei prin măsurarea rezistenței cu un ohmmetru virtual în Multisim.

- Desenez în Multisim schema rețelei din figura 2.19, conectez la punctele **A** și **B** un ohmmetru virtual și obțin schema din figura 2.21.

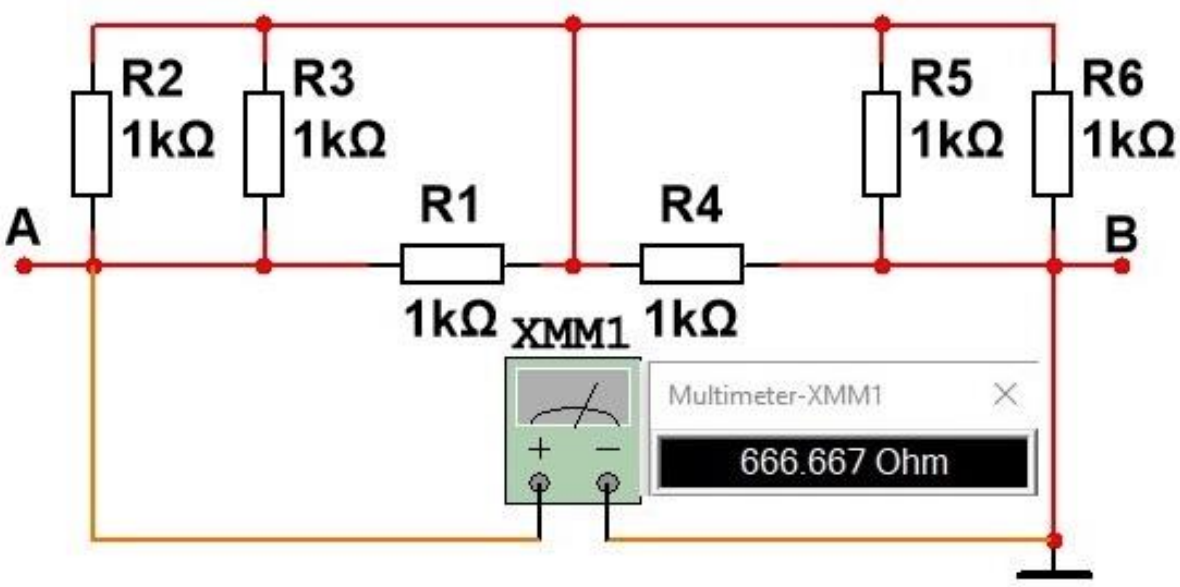


Figura 2.21 Rețea de rezistoare desenată în Multisim

- După reprezentarea schemei rețelei de rezistoare în Multisim conectez între punctele **A** și **B** un multimetru virtual **XMM1** (instrumentul se află în bara laterală din stânga pe prima poziție);
- Selectez multimetru ca **ohmmetru (Ω)**;
- Conectez borna minus (-) a ohmmetrului la un punct de masă (**Ground**);
- Pornesc simularea cu **F5** și observ că ohmmetrul indică valoarea **666,667 Ω**

$$\boldsymbol{Rab = 666,667\ \Omega = 0,66\ K\Omega}$$

3. Determin rezistența echivalentă a rețelei cu legea lui Ohm în Multisim.

- Conectez rețeaua de rezistoare din figura 2.21 în serie cu o sursă de alimentare **E** și un ampermetru **I**;
- La punctele **A** și **B** conectez un voltmetru **U** și obțin schema din figura 2.22

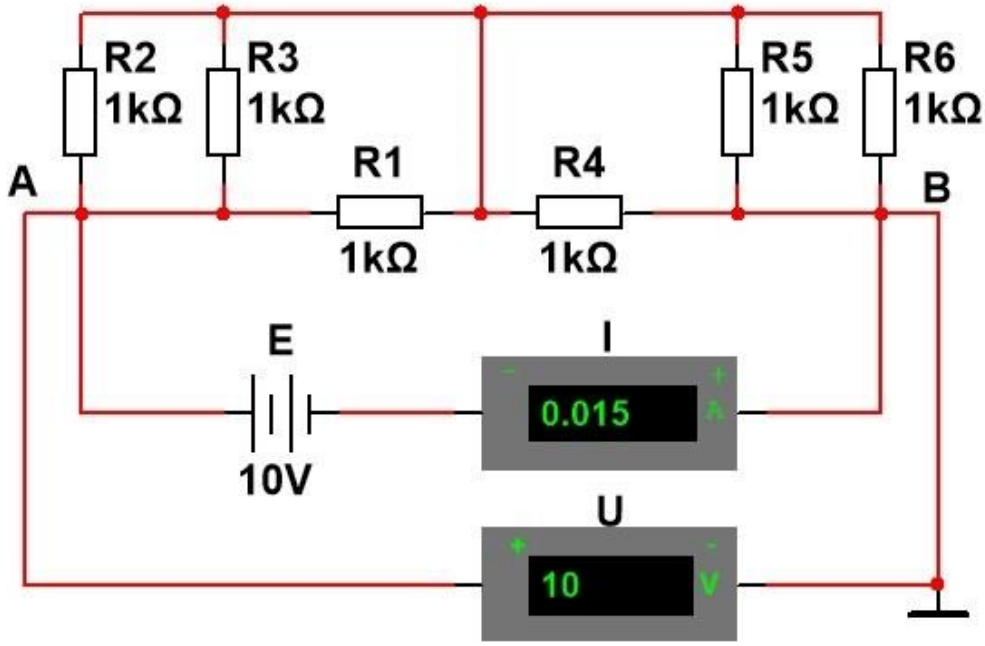


Figura 2.22 Rețea de rezistoare desenată în Multisim

- Pornesc simularea și notez valorile indicate de voltmetru și ampermetru
  U = 10 V I= 0,015A
- Calculez rezistența cu lege lui Ohm $\boldsymbol{R = \frac{U}{I}}$
- Înlocuiesc în formulă și obțin: $\boldsymbol{Rab = \frac{10}{0,015} = 666,66\ \Omega\ =\ 0,66\ K\Omega}$

$$\boldsymbol{Rab = 0,66\ K\Omega}$$

3. Se determină rezistența rețelei din **figura 2.23** prin trei metode.

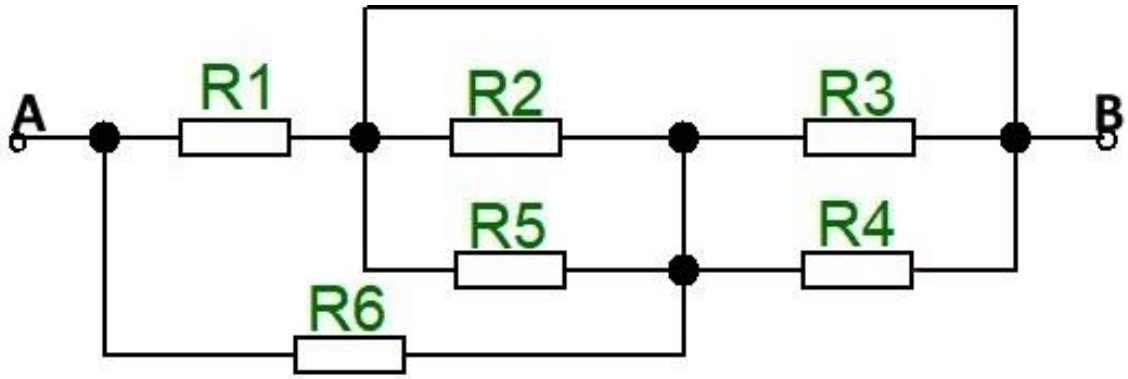


Figura 2.23 Rețea de rezistoare desenată în Proficad

Se consideră **R1 = R2 = R3 = R4 = R5 = R6 = 1K**

1. Determin rezistența echivalentă a rețelei prin calcul cu formule

- Se observă că rezistoarele **R2** și **R5** sunt conectate în paralel (au două puncte comune);

$$\boldsymbol{R25 = \frac{R2 \cdot R5}{R2 + R5} = \frac{1 \cdot 1}{1 + 1} = \frac{1}{2}\ K} \quad \boldsymbol{(1)}$$

- Se observă că rezistoarele **R3** și **R4** sunt conectate în paralel (au două puncte comune);

$$\boldsymbol{R34 = \frac{R3 \cdot R4}{R3 + R4} = \frac{1 \cdot 1}{1 + 1} = \frac{1}{2}\ K} \quad \boldsymbol{(2)}$$

- După substituirea rezistoarelor **R2, R5** cu **R25** și **R3, R4** cu **R34** rețeaua din figura 2.23 se transformă în rețeaua din figura 2.24;

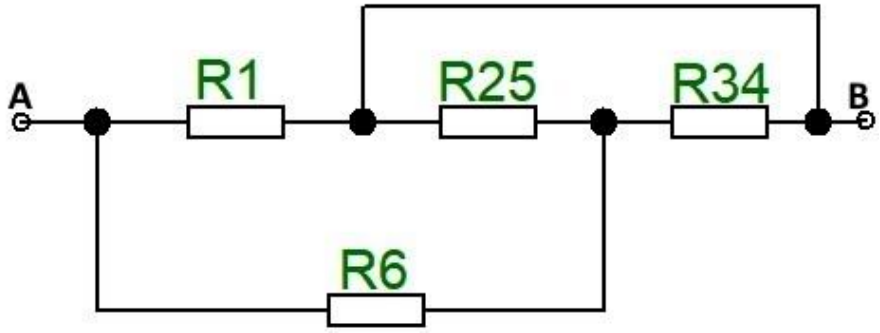


Figura 2.24 Rețea de rezistoare desenată în Proficad

- Se observă că rezistoarele **R25** și **R34** sunt conectate în paralel (au două puncte comune prin intermediul legăturii de deasupra lor și a legăturii dintre ele)

$$\boldsymbol{R25 - 34 = \frac{R25 \cdot R34}{R25 + R34} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}} = \frac{1}{4} \cdot 1 = \frac{1}{4}\ K} \quad \boldsymbol{(3)}$$

- După substituirea rezistoarelor **R25, R34** cu **R25-34** rețeaua din figura 2.24 se transformă în rețeaua din figura 2.25;

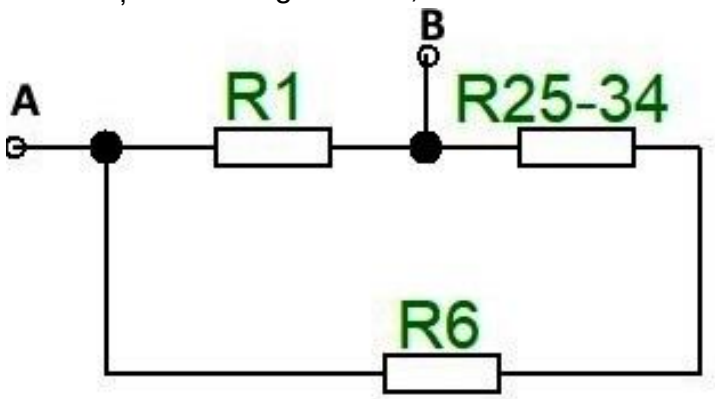


Figura 2.25 Rețea de rezistoare desenată în Proficad

- Se observă că rezistoarele **R25-34** și **R6** sunt conectate în serie deoarece punctul comun dintre ele nu este conectat în nod de rețea

$$\boldsymbol{R2534-6 = R2534 + R6 = \frac{1}{4} + 1 = \frac{5}{4}\,K} \quad (4)$$

- După substituirea rezistoarelor **R25-34, R6** cu **R25346** rețeaua din figura 2.25 se transformă în rețeaua din figura 2.26;

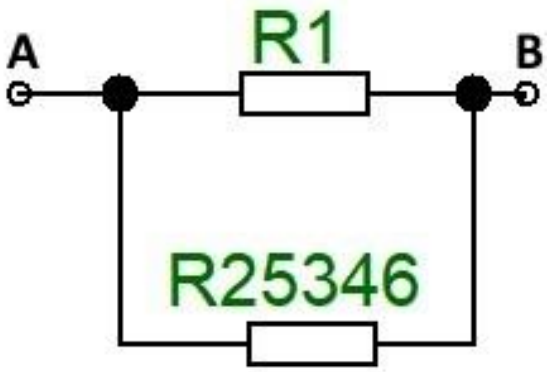


Figura 2.26 Rețea de rezistoare desenată în Proficad

- Rezistoarele **R1** și **R25346** sunt conectate în paralel (au două puncte comune)
-

$$\boldsymbol{Rab = \frac{R25346 \cdot R1}{R25346 + R1} = \frac{\frac{5}{4} \cdot 1}{\frac{5}{4} + 1} = \frac{5}{4} \cdot \frac{4}{9} = \frac{5}{9} = 0,5555\,K} \quad (5)$$

Prin calcul se obține rezistența echivalentă a rețelei $\boldsymbol{Rab = 0,555\,K\Omega}$

2 Determin rezistența echivalentă a rețelei prin măsurarea rezistenței cu un ohmmetru virtual în Multisim.

- Desenez în Multisim schema rețelei din figura 2.23, conectez la punctele **A** și **B** un ohmmetru virtual și obțin schema din figura 2.27.

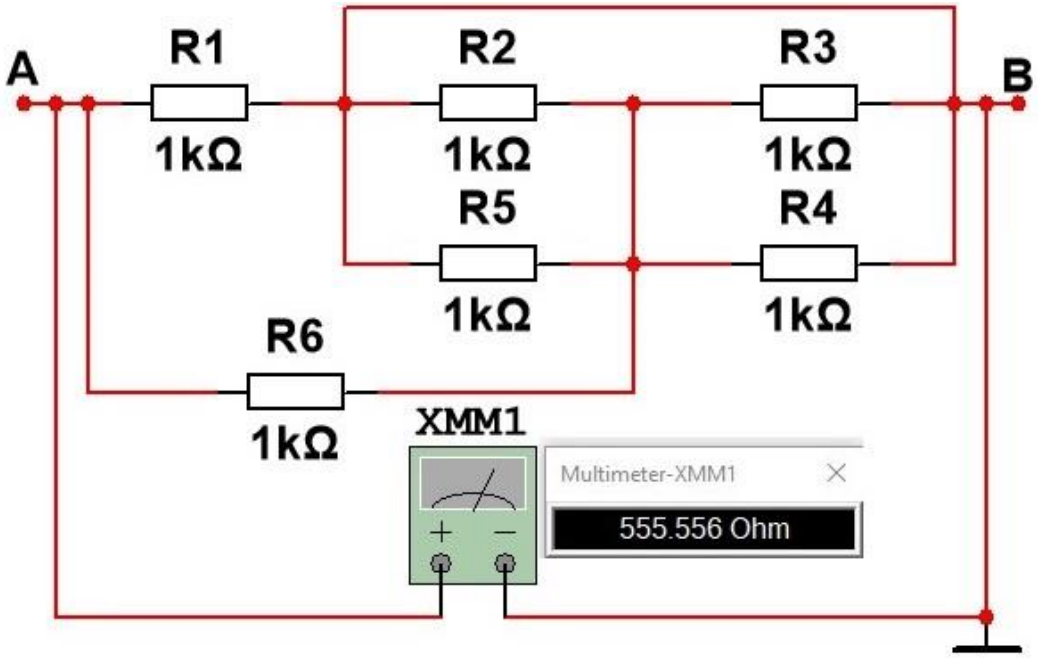


Figura 2.27 Rețea de rezistoare desenată în Multisim

- După reprezentarea schemei rețelei de rezistoare în Multisim conectez între punctele **A** și **B** un multimetru virtual **XMM1** (instrumentul se află în bara laterală din stânga pe prima poziție);
- Selectez multimetru ca **ohmmetru (Ω)**;
- Conectez borna minus (-) a ohmmetrului la un punct de masă (**Ground**);
- Pornesc simularea cu **F5** și observ că ohmmetrul indică valoarea **555,556 Ω.**

$$\boldsymbol{Rab = 555,556\ \Omega = 0,555\ K\Omega}$$

3. Determin rezistența echivalentă a rețelei cu legea lui Ohm în Multisim.

- Conectez rețeaua de rezistoare din figura 2.27 în serie cu o sursă de alimentare **E** și un ampermetru **I**;
- La punctele **A** și **B** conectez un voltmetru **U** și obțin schema din figura 2.28

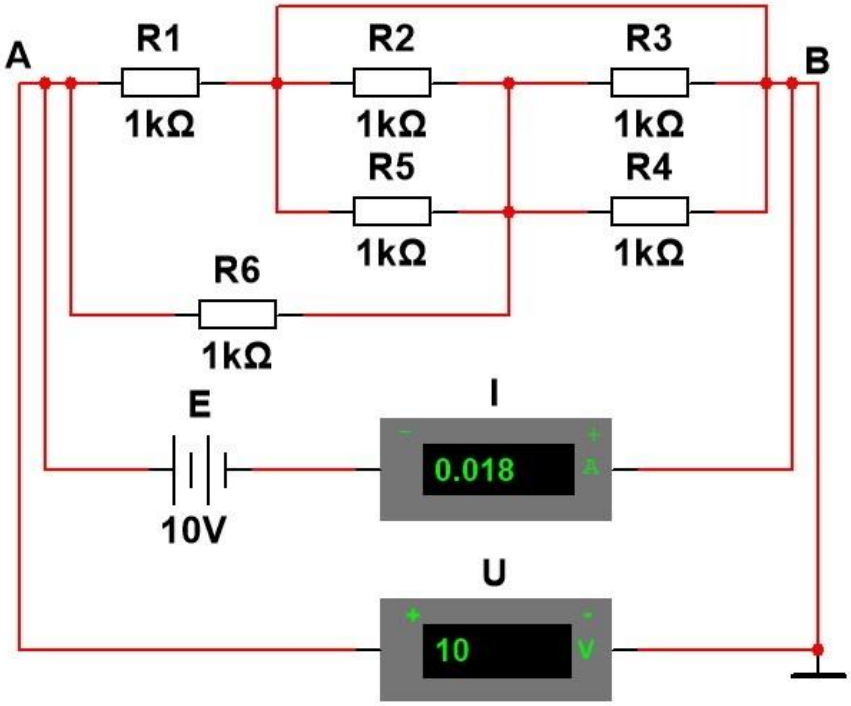


Figura 2.28 Rețea de rezistoare desenată în Multisim

- Pornesc simularea și notez valorile indicate de voltmetru și ampermetru
  U = 10 V I= 0,18 A
- Calculez rezistența cu lege lui Ohm $\boldsymbol{R = \frac{U}{I}}$
- Înlocuiesc în formulă și obțin: $\boldsymbol{Rab = \frac{10}{0,18} = 0,555\ K\ \Omega}$

$$\boldsymbol{Rab = 0,555\ K\Omega}$$

2.3 CONDENSATOARE

2.3.1. GENERALITĂŢI PRIVIND CONDENSATOARELE

A. DEFINIŢIE.

CONDENSATORUL – este un element de circuit prevăzut cu două conductoare (armături) separate printr-un material izolator(dielectric).

Mărimea fizică care caracterizează condensatorul se numeşte ***capacitate electrică*** **(C)**

Capacitatea electrică – este proprietatea unui condensatorului de a înmagazina o anumită cantitate de electricitate.

Când la bornele condensatorului se aplică o tensiune electrică, acesta acumulează o anumită cantitate de electricitate(Q) proporţională cu tensiunea aplicată (U) şi capacitatea condensatorului(C) conform relaţiei (1) $Q = C \cdot U$

Din punct de vedere energetic, *condensatorul înmagazinează energia câmpului electric* dintre armături conform relaţiei (2) $W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$

Capacitatea electrică se poate exprima în 2 moduri:

- în funcţie de proprietăţile materialului din care este construit condensatorul (la rece)

$$(3)\ C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d}$$

unde: ε (epsilon)= permitivitatea absolută a dielectricului $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$

ε_0 - permitivitatea vidului ; ε_r - permitivitatea relativă a dielectricului

S = suprafaţa armăturilor

d = distanţa dintre armături

- în funcţie de valorile mărimilor electrice dintr-un circuit electric (la cald)

$$(4)\ C = \frac{Q}{U}$$

unde: Q = cantitatea de electricitate acumulată pe armături

U = tensiunea electrică aplicată la bornele condensatorului

B. UNITĂŢI DE MĂSURĂ

Capacitatea electrică se măsoară în farazi (F). *1 farad este capacitatea unui condensator care acumulează o sarcină electrică egală cu 1 coulomb atunci când la bornele sale se aplică o tensiune de 1 volt.*

Capacitatea electrică $C = \frac{Q}{U}$ $[C] = \frac{1C}{1V} = 1F$

Deoarece 1 Farad are valoarea foarte mare, în practică se utilizează submultiplii acestuia:

1 mF (milifarad) = 10^{-3} F

1 μF (microfarad) = 10^{-3} mF = 10^{-6} F

1 nF (nanofarad) = 10^{-3} μF = 10^{-6} mF = 10^{-9} F

1 pF (picofarad) = 10^{-3} nF = 10^{-6} μF = 10^{-9} mF = 10^{-12} F

C. PARAMETRII ELECTRICI SPECIFICI CONDENSATOARELOR

a. CAPACITATEA NOMINALĂ (Cn)

Reprezintă valoarea capacităţii condensatorului care trebuie realizată prin procesul tehnologic şi care este înscrisă pe corpul acestuia.

b. COEFICIENTUL DE TOLERANŢĂ (%)

Reprezintă abaterea în procente, în plus sau în minus, (±%) a capacităţii reale a condensatorului faţă de capacitatea nominală înscrisă pe acesta.

Coeficientul de toleranţă (%) poate fi marcat şi în cod de litere, conform tabelului:

±0,05	±0,10	±0,25	±0,5	±1	±2	±2,5	±5	±10	±20	±25
N	B	C	D	F	G	H	J	K	M	E

c. TENSIUNEA NOMINALĂ (Un) [Un] = V

Reprezintă tensiunea continuă sau alternativă maximă ce poate fi aplicată la bornele unui condensator un timp îndelungat fără ca acesta să se străpungă. Tensiunea este marcată pe corpul condensatorului în volţi sau printr-o literă, astfel:

Litera	A	B	C	D	E	F	G
Un[V]	100	250	300	500	600	1000	1200

Litera	H	J	K	L	M	N	P
Un[V]	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000

d. REZISTENŢA DE IZOLAŢIE (Riz) [Riz] = Ω

Reprezintă valoarea raportului dintre tensiunea(continuă) aplicată la bornele unui condensator şi curentul care îl străbate, la un minut după aplicarea tensiunii.

Riz > 100 MΩ.

e. TANGENTA UNGHIULUI DE PIERDERI ($tg\delta$)

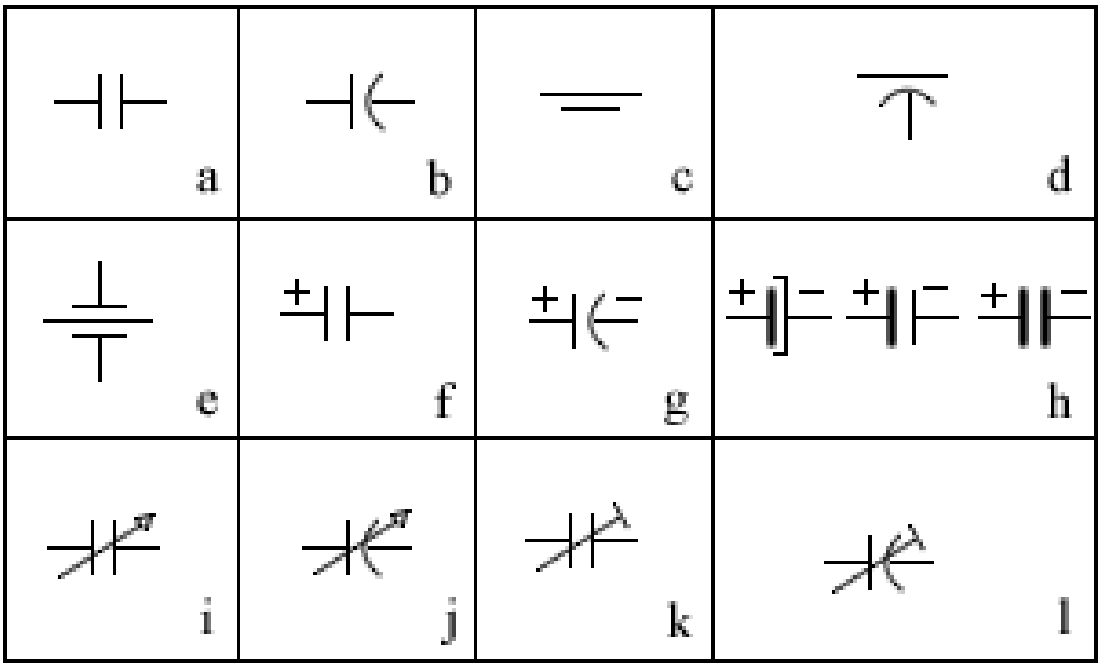
Reprezintă raportul dintre puterea activă disipată de condensator şi puterea reactivă, măsurate la aceeaşi frecvenţă la care a fost măsurată capacitatea nominală.

Cu cât tangenta unghiului de pierderi este mai mică cu atât condensatorul este mai bun.

f. RIGIDITATEA DIELECTRICĂ.

Reprezintă tensiunea maximă continuă pe care trebuie să o suporte condensatorul timp de 1 minut fără să apară străpungeri sau conturnări.

D. SIMBOLURILE CONDENSATOARELOR



a. condensator simbol general
b. condensator simbol general tolerat
c. condensator de trecere
d. condensator de trecere simbol tolerat
e. condensator de trecere simbol nestandardizat
f. condensator electrolitic
g. condensator electrolitic simbol tolerat
h. condensator electrolitic simbol nestandardizat
i. condensator variabil
j. condensator variabil simbol tolerat
k. condensator semi-reglabil
l. condensator semi-reglabil simbol tolerat

2.3.2 MARCAREA CONDENSATOARELOR

A. MARCARE DIRECTĂ – PRIN COD ALFANUMERIC.

Acest cod este format din una sau mai multe cifre şi una sau litere. Litera poate fi plasată după grupul de cifre (situaţie în care valoarea capacităţii este un număr întreg), sau între cifre (situaţie în care are rol de virgulă iar valoarea capacităţii este un număr zecimal).

Litera poate avea următoarea semnificaţie:
p – valoarea capacităţii este exprimată în pF (picofarazi)
n – valoarea capacităţii este exprimată în nF (nanofarazi)
µ – valoarea capacităţii este exprimată în µF (microfarazi)
m – valoarea capacităţii este exprimată în mF (milifarazi)

În unele ţări se utilizează următoarele litere:
U - valoarea capacităţii este exprimată în pF (picofarazi)
T - valoarea capacităţii este exprimată în nF (nanofarazi)
K - valoarea capacităţii este exprimată în nF (nanofarazi)
M - valoarea capacităţii este exprimată în µF (microfarazi)

Dacă după numărul de pe condensator nu este nici o literă din cele prezentate mai sus valoarea capacităţii este exprimată în pF (picofarazi).

Exemple:
2p2 ⇔ 2,2 pF ; 100n ⇔ 100 nF ; 470 ⇔ 470 pF

20U ⇔ 20 pF ; 2K2 ⇔ 2,2 nF ; 25M ⇔ 25 µF ; 10K ⇔ 10 nF ; 3T3 ⇔ 3,3 nF

B. MARCARE INDIRECTĂ – PRIN COD NUMERIC.

Acest cod se utilizează pentru marcarea condensatoarelor de dimensiuni mici. Codul este format din 2 cifre semnificative şi o cifră care reprezintă coeficientul de multiplicare.
Coeficientul de multiplicare este întotdeauna ultima cifră şi valoarea acestei cifre reprezintă exponentul(puterea) lui 10.
9 sau R ⇔ $10^0 = 1$, **1** ⇔ $10^1 = 10$, **2** ⇔ $10^2 = 100$, **3** ⇔ $10^3 = 1000$, **4** ⇔ $10^4 = 10000$
Valoarea rezultată este exprimată în picofarazi.

Exemple:
569 ↔ $56x10^0$ = 56 pF

153 ↔ $15x10^3$ = 15x1000 = 15000 pF = 15 nF

222 ↔ $22x10^2$ = 22X100 = 2200 pF = 2,2 nF

334 ↔ $33x10^4$ = 33x10000 = 330.000 pF = 330 nF = 0,33 µF

C. MARCARE INDIRECTĂ – PRIN CODUL CULORILOR.

Marcarea se face cu 3, 4 sau 5 benzi colorate. La fiecare culoare îi corespunde o cifră , după cum este explicat în secţiunea *Codul culorilor.*
Se consideră banda I prima bandă de la terminale. Când se determină valoarea capacităţii unui condensator marcat în codul culorilor, condensatorul se ţine cu terminalele în sus.

Valoarea determinată se exprimă în picofarazi (pf)

SEMNIFICAŢIA BENZILOR.

CONDENSATOARE CU 3 BENZI:
Banda I reprezintă prima cifră a numărului
Banda II reprezintă a doua cifră a numărului
Banda III reprezintă coeficientul de multiplicare (x $10^{\text{cifră corespunzătoare culorii benzii}}$)
La aceste condensatoare coeficientul de toleranţă este 20%

CONDENSATOARE CU 4 BENZI:
Banda I reprezintă prima cifră a numărului
Banda II reprezintă a doua cifră a numărului
Banda III reprezintă coeficientul de multiplicare (x $10^{\text{cifră corespunzătoare culorii benzii}}$)
Banda IV reprezintă coeficientul de toleranţă

CONDENSATOARE CU 5 BENZI:
Banda I reprezintă coeficientul de variaţie al temperaturii
Banda II reprezintă prima cifră a numărului
Banda III reprezintă a doua cifră a numărului
Banda IV reprezintă coeficientul de multiplicare (x $10^{\text{cifră corespunzătoare culorii benzii}}$)
Banda V reprezintă coeficientul de toleranţă

CONDENSATOARE CU 3 benzi pe o faţă şi 2 benzi pe faţa opusă:
pe faţa cu 3 benzi
Banda I reprezintă prima cifră a numărului
Banda II reprezintă a doua cifră a numărului
Banda III reprezintă coeficientul de multiplicare (x $10^{\text{cifră corespunzătoare culorii benzii}}$)
pe faţa cu 2 benzi
Banda I reprezintă coeficientul de variaţie al temperaturii
Banda II reprezintă coeficientul de toleranţă

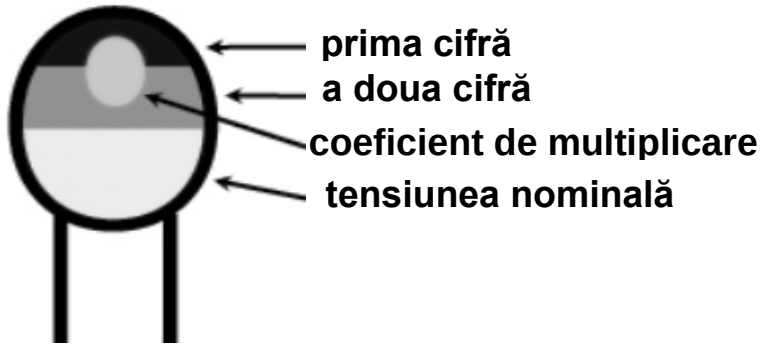
Culori pentru coeficientul de multiplicare:

Culoare	Gri	Alb	Negru	Maro	Roşu	Portocaliu	Galben	Verde
Coef. M	10^{-2}	10^{-1}	10^{0}	10^{1}	10^{2}	10^{3}	10^{4}	10^{5}

Culori pentru coeficientul de toleranţă:

Culoare						Alb
C>10pF	20%	1%	2%	2,5%	5%	10%
C<10pF	2%	0,1%	0,25%		0,5%	1%

Marcarea condensatoarelor cu tantal.



Culoare	Prima cifră	A doua cifră	Coef. Multiplic.	Tensiune
NEGRU	0	0	x 1	10V
MARO	1	1	x 10	-
ROŞU	2	2	x 100	-
PORTOCALIU	3	3	-	-
GALBEN	4	4	-	6.3V
VERDE	5	5	-	16V
ALBASTRU	6	6	-	20V
VIOLET	7	7	-	-
GRI	8	8	x 0.01	25V
ALB	9	9	x 0.1	3V

VALOAREA DETERMINATĂ SE EXPRIMĂ ÎN microfarazi (μF)

EXEMPLE :

VIOLET
NEGRU
PORTOCALIU

$70 \times 10^3 = 70.000$ pF = 70 nF 20%

GALBEN
PORTOCALIU
ROŞU
VERDE

$43 \times 10^2 = 4300$ pF = 4,3 nF 5%

MARO
ALBASTRU
ALB
ROŞU

$16 \times 10^{-1} = 16 : 10 = 1,6$ pF 0,25%

ROŞU
GRI
NEGRU
ALB
MARO

$80 \times 10^{-1} = 80 : 10 = 8$ pF 0,1%

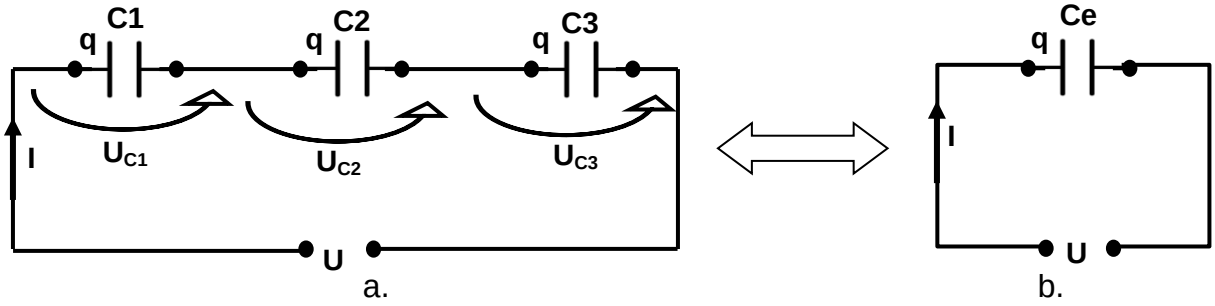
ALBASTRU
MARO
VERDE
MARO
ALB

$15 \times 10^1 = 150$ pF 10%

2.3.3. GRUPAREA CONDENSATOARELOR

A. GRUPAREA SERIE.

Două sau mai multe condensatoare sunt conectate în *serie* dacă sunt plasate pe aceeaşi ramură de reţea iar între ele nu sunt noduri de reţea.
La conectarea în serie 2 condensatoare învecinate au comune numai câte un terminal.
Condensatoarele conectate în serie sunt parcurse de acelaşi curent electric (I) şi au aceeaşi sarcină electrică (q) datorită fenomenului de influenţă electrostatică.



a. b.

Figura 2.29. a. Reţea de condensatoare conectate în serie b. Schema echivalentă

Tensiunea la bornele reţelei este egală cu suma tensiunilor de pe fiecare condensator.

(1) $U = U_{C1} + U_{C2} + U_{C3}$

Conform formulei capacităţii, tensiunile electrice din reţeaua de mai sus se exprimă astfel:

(2) $U = \frac{q}{Ce} \qquad U_{C1} = \frac{q}{C1} \qquad U_{C2} = \frac{q}{C2} \qquad U_{C3} = \frac{q}{C3}$

Prin înlocuirea relaţiilor (2) în relaţia (1) se obţine relaţia:

(3) $\frac{q}{Ce} = \frac{q}{C1} + \frac{q}{C2} + \frac{q}{C3}$

Dacă relaţia (3) se împarte la q se obţine formula capacităţii echivalente a reţelei:

(4) $\frac{1}{Ce} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3}$

În mod similar, pentru n condensatoare conectate în serie capacitatea echivalentă este:

(5) $\frac{1}{Ce} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} + \frac{1}{C4} + ... + \frac{1}{Cn}$

Dacă în reţea sunt n condensatoare cu aceeaşi valoare C, capacitatea echivalentă este:

(6) $C\,\mathrm{e} = \frac{C}{n}$

La gruparea în SERIE a condensatoarelor, capacitatea echivalentă a reţelei SCADE, va fi mai MICĂ decât valoarea oricărui condensator din reţea.

În practică, condensatoarele conectate în serie, se grupează câte două, iar capacitatea echivalentă (C12) a celor două condensatoare (C1 şi C2) se calculează cu formula:

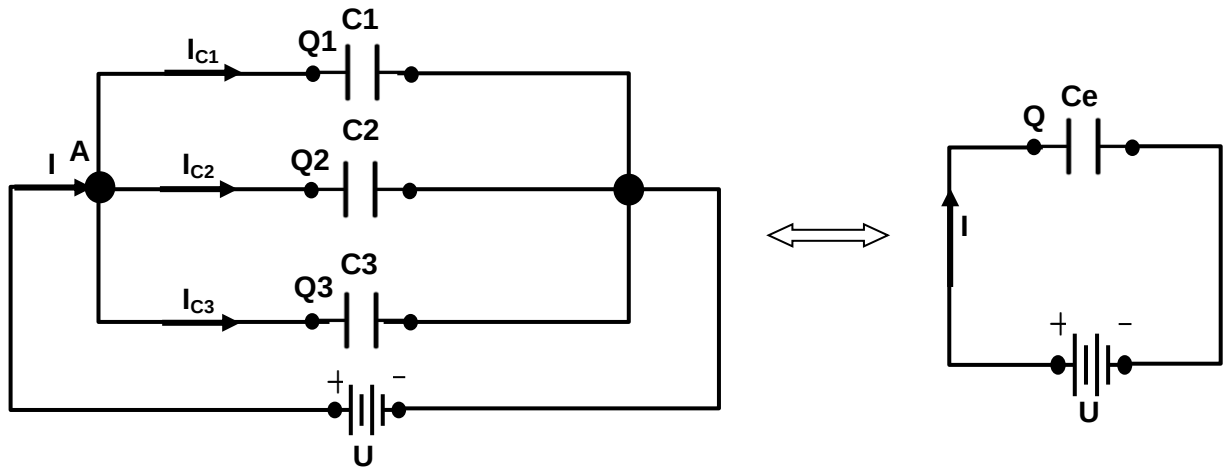
(7) $$C12 = \frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2}$$

B. GRUPAREA PARALEL.

Două sau mai multe condensatoare sunt grupate în *paralel* dacă sunt conectate între aceleaşi două noduri.

La conectarea în paralel, 2 condensatoare învecinate au comune terminalele două câte două.

Condensatoarele conectate în paralel au aceeaşi tensiune electrică (U) la borne şi se încarcă cu sarcini electrice (Q) diferite, în funcţie de capacitatea condensatorului.



a. b.

Figura 2.30. a. Reţea de condensatoare conectate în paralel b. Schema echivalentă

Deoarece la conectarea condensatoarelor în paralel sarcinile electrice acumulate pe fiecare armătură se însumează, se poate scrie relaţia:

(1) $Q = Q1 + Q2 + Q3$

Conform formulei capacităţii, sarcinile electrice din reţeaua de mai sus se exprimă astfel:

(2) $Q = Ce \cdot U \quad Q1 = C1 \cdot U \quad Q2 = C2 \cdot U \quad Q3 = C3 \cdot U$

Prin înlocuirea relaţiilor (2) în relaţia (1) se obţine relaţia:

(3) $Ce \cdot U = C1 \cdot U + C2 \cdot U + C3 \cdot U$

Dacă în relaţia (3) se scoate *U* factor comun apoi se împarte la *U* se obţine formula capacităţii echivalente a reţelei:

(4) $Ce = C1 + C2 + C3$

În mod similar, pentru n condensatoare conectate în serie capacitatea echivalentă este:

(5) $Ce = C1 + C2 + C3 + C4 + ... + Cn$

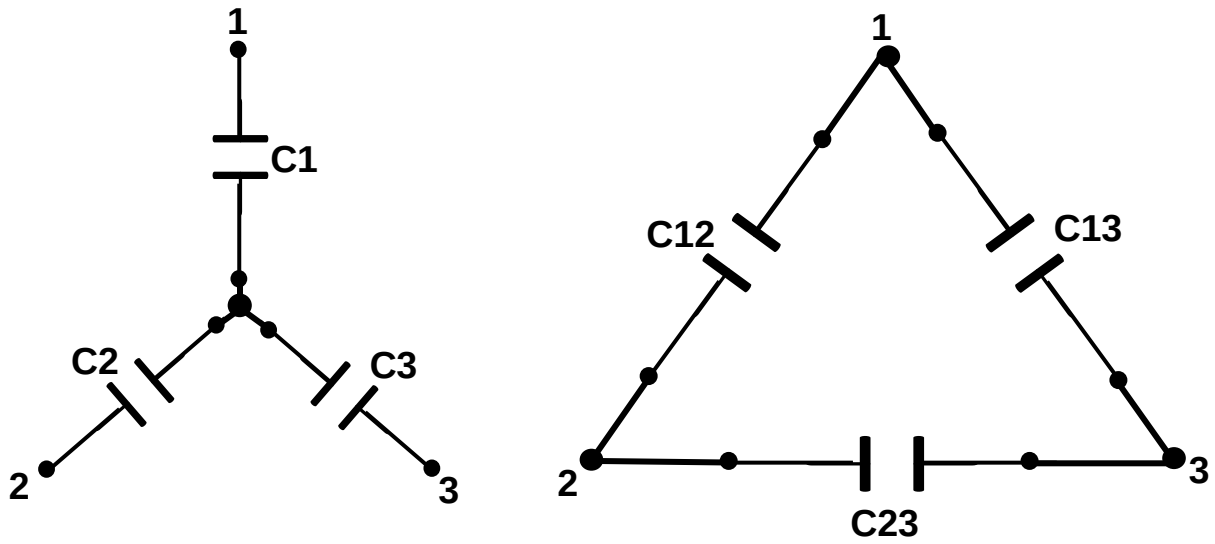
Dacă în reţea sunt n condensatoare cu aceeaşi valoare C, capacitatea echivalentă este:

(6) $Ce = n \cdot C$

La gruparea în PARALE a condensatoarelor, capacitatea echivalentă a reţelei CREŞTE, va fi mai MARE decât valoarea oricărui condensator din reţea.

C. TRANSFIGURAREA TRIUNGHI – STEA (STEA – TRIUNGHI).

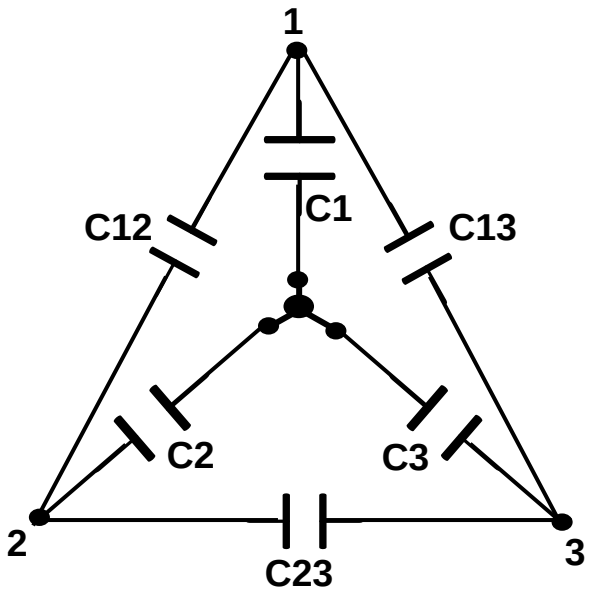
Reţelele de condensatoare complexe, pot fi reduse la conexiuni accesibile calculului, prin transformarea conexiunilor din triunghi în stea sau invers.



a. b.

Figura 2.31 a. Condensatoare grupate în stea b. Condensatoare grupate în triunghi

Pentru înţelegerea transfigurării din triunghi în stea (şi invers) realizez schema de mai jos:



La transfigurarea din Δ în Y:

C12 şi C13 se transformă în C1

C12 şi C23 se transformă în C2

C13 şi C23 se transformă în C3

La transfigurarea din Y în Δ:

C1 şi C2 se transformă în C12

C1 şi C3 se transformă în C13

C2 şi C3 se transformă în C23

Relaţiile de transformare triunghi – stea

$$C1 = C12 + C13 + \frac{C12 \cdot C13}{C23}$$

$$C2 = C12 + C23 + \frac{C12 \cdot C23}{C13}$$

$$C3 = C13 + C23 + \frac{C13 \cdot C23}{C12}$$

Relaţiile de transformare stea - triunghi

$$C12 = \frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2 + C3}$$

$$C13 = \frac{C1 \cdot C3}{C1 + C2 + C3}$$

$$C23 = \frac{C2 \cdot C3}{C1 + C2 + C3}$$

2.4. REŢELE DE CONDENSATOARE.

2.4.1 REZOLVAREA TEORETICĂ A REŢELELOR DE CONDENSATOARE.

A. Determinarea capacităţii echivalente a unei reţele de condensatoare simplă.

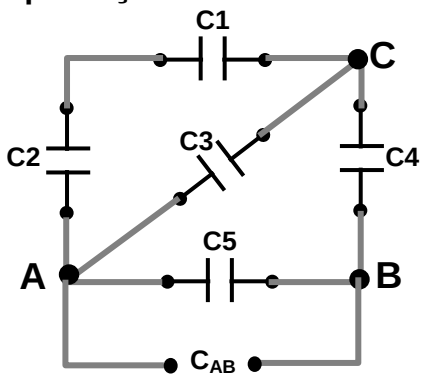


Figura 2.32

Punctele A, B, C sunt noduri de reţea deoarece la ele sunt conectate mai mult de 2 conductoare.

Calculez capacitatea echivalentă a condensatoarelor C1 şi C2 (conectate în serie)

$$(1)C12 = \frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2}$$

În schema din **fig.2.32** condensatoarele **C1** şi **C2** sunt înlocuite de capacitatea echivalentă **C12** şi schema arată ca în **fig.2.33**.

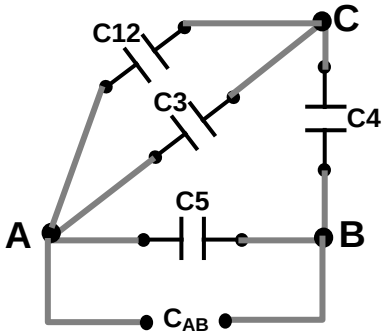


Fig.2.33

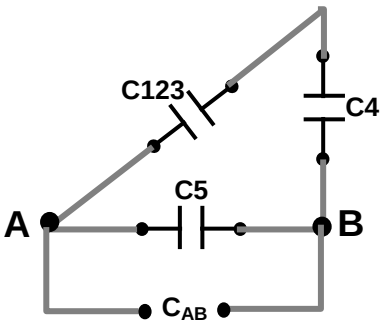


Fig.2.34

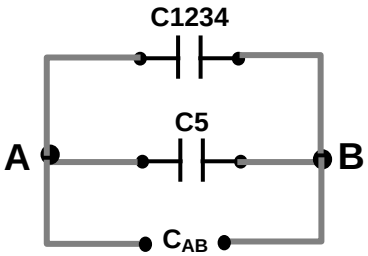


Fig.2.35

În schema din **fig.2.33** calculez capacitatea echivalentă a condensatoarelor **C12** şi **C3** (conectate în paralel).

$$(2)C12-3 = C12 + C3$$

În schema din **fig.2.33** condensatoarele **C12** şi **C3** sunt înlocuite de capacitatea echivalentă **C123** şi schema arată ca în **fig.2.34.**

În schema din **fig.2.34** calculez capacitatea echivalentă a condensatoarelor **C123** şi **C4** (conectate în serie).

$$(3)C123-4 = \frac{C123 \cdot C4}{C123 + C4}$$

În schema din **fig.2.34** condensatoarele **C123** şi **C4** sunt înlocuite de capacitatea echivalentă **C1234** şi schema arată ca în **fig.2.35.**

În schema din **fig.2.35** calculez capacitatea echivalentă a condensatoarelor **C1234** şi **C5** (conectate în paralel)

$$(4) C_{AB} = C1234 + C5$$

B. Determinarea capacităţii echivalente a unei reţele de condensatoare complexă.

Pentru reţeaua din figura 2.36 trebuie calculată capacitatea echivalentă între punctele A şi B.

Pentru a simplifica calculele consider ca toate condensatoarele din reţeaua de mai jos au aceeaşi valoare C1=C2=C3=C4=C5=C6=C.

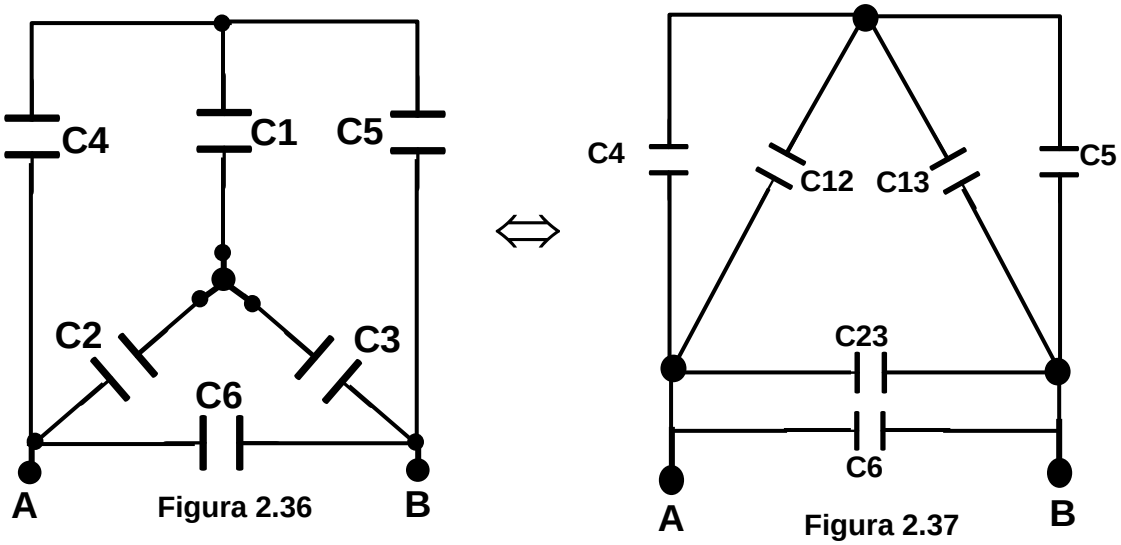


Figura 2.36 Figura 2.37

În prima etapă transform *steaua* formată de condensatoarele **C1, C2, C3** în *triunghi*, apoi calculez capacităţile echivalente **C12, C13, C23**. În urma acestei transformări se obţine reţeaua din **figura 2.37**

$$(1)\begin{cases} C12 = \dfrac{C1 \cdot C2}{C1 + C2 + C3} = \dfrac{C^2}{3C} = \dfrac{C}{3} \\ C13 = \dfrac{C1 \cdot C3}{C1 + C2 + C3} = \dfrac{C^2}{3C} = \dfrac{C}{3} \\ C23 = \dfrac{C2 \cdot C3}{C1 + C2 + C3} = \dfrac{C^2}{3C} = \dfrac{C}{3} \end{cases}$$

În reţeaua din figura **2.37**, grupez şi calculez capacitatea echivalentă a următoarelor condensatoare: **C12 şi C4, C13 şi C5, C23 şi C6** (conectate în paralel).

Se obţine reţeaua din figura 3.

$$(2)\begin{cases} C12-4 = C12 + C4 = \dfrac{C}{3} + C = \dfrac{4C}{3} \\ C13-5 = C13 + C5 = \dfrac{C}{3} + C = \dfrac{4C}{3} \\ C23-6 = C23 + C6 = \dfrac{C}{3} + C = \dfrac{4C}{3} \end{cases}$$

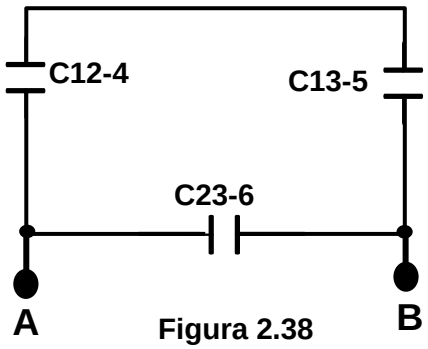


Figura 2.38

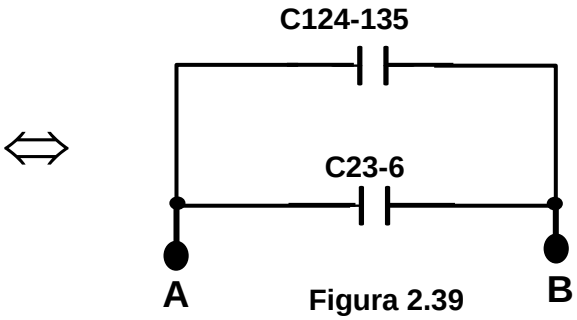


Figura 2.39

În reţeaua din **figura 2.38** grupez şi calculez capacitatea echivalentă a condensatoarelor **C12-4 şi C13-5** (conexiune serie).

$$(3)\quad C124-135 = \frac{C124 \cdot C135}{C124 + C135} = \frac{\dfrac{4C}{3} \cdot \dfrac{4C}{3}}{\dfrac{4C}{3} + \dfrac{4C}{3}} = \frac{16C^2}{9} \cdot \frac{3}{8C} = \frac{2C}{3}$$

În reţeaua din **figura 2.39** grupez şi calculez capacitatea echivalentă a condensatoarelor **C124-135 şi C23-6** (conexiune paralel).

$$(4)\quad C_{AB} = C124-135 + C23-6 = \frac{2C}{3} + \frac{4C}{3} = \frac{6C}{3} = 2C$$

$$\boxed{C_{AB} = 2C}$$

2.4.2 REZOLVAREA PRACTICĂ A REȚELELOR DE CONDENSATOARE

Prin rezolvarea practică a unei rețele de condensatoare se poate determina capacitatea echivalentă a rețelei utilizând două metode suplimentare pe lângă metoda calculului cu formule:

- Se realizează rețeaua de condensatoare în Multisim și se măsoară **impedanța rețelei (Z)** cu instrumentul numit ***Impedance meter*** apoi se calculează capacitatea echivalentă a rețelei cu formula:

$$C[\mu F] = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z} = \frac{1000000}{314 \cdot Z}$$

unde: f = frecvența = 50Hz $\rightarrow 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 50 \cdot 3{,}14 = 314$

- Se realizează rețeaua de condensatoare practic, pe o placă de probă, și se măsoară capacitatea echivalentă a rețelei cu o punte RLC digitală;

EXEMPLE DE REZOLVARE A UNOR REȚELE DE CONDENSATOARE.

A. Se determină capacitatea echivalentă a rețelei din **figura 2.40** prin două metode.

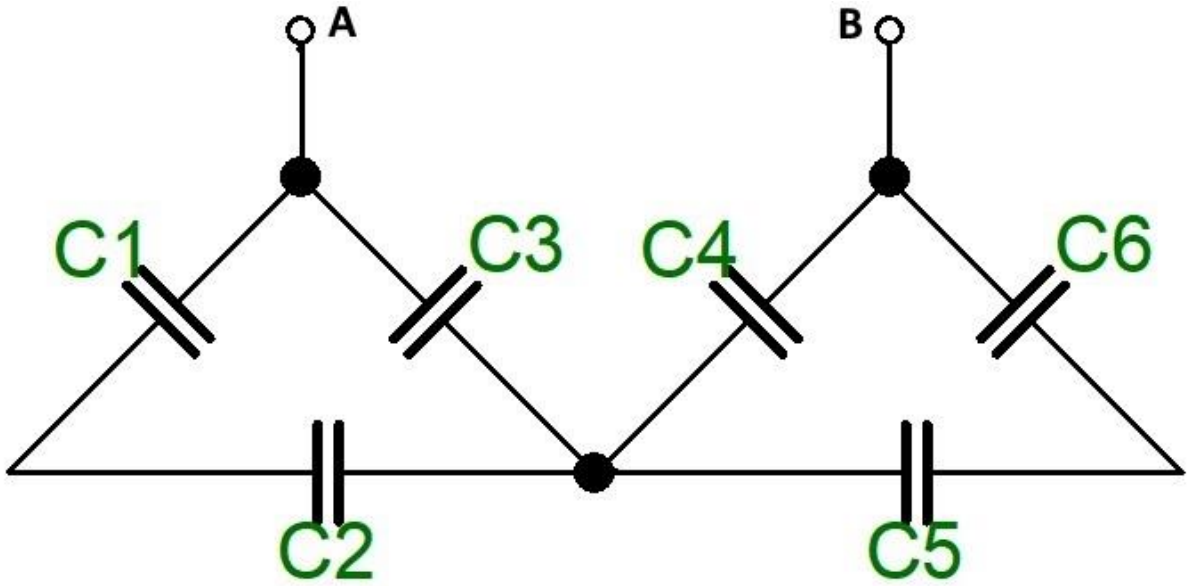


Figura 2.40 Rețea de condensatoare

Se consideră **C1 = C2 = C3 = C4 = C5 = C6 = 1μF**

1. Determin capacitatea echivalentă a rețelei prin calcul cu formule

- Condensatoarele **C1** și **C2** precum și condensatoarele **C5** și **C6** sunt conectate în **serie** (punctul lor comun nu este în nod de rețea).

$$C12 = \frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2} = \frac{1}{2} \quad (1)$$

$$C56 = \frac{C5 \cdot C6}{C5 + C6} = \frac{1}{2} \quad (2)$$

- După substituirea condensatoarelor **C1** și **C2** cu condensatorul **C12** și a condensatoarelor **C5** și **C6** cu condensatorul **C56** rețeaua din figura 2.40 se transformă în rețeaua din figura 2.41.

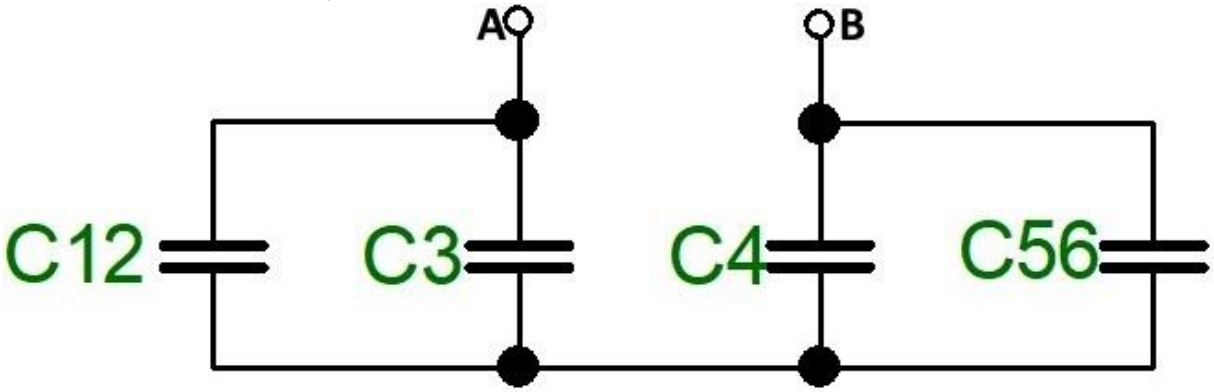


Figura 2.41 Rețea de condensatoare

- Condensatoarele **C12** și **C3** precum și condensatoarele **C4** și **C56** sunt conectate în paralel deoarece au câte două puncte comune.

$$\boldsymbol{C12C3 = C12 + C3 = \frac{1}{2} + 1 = \frac{3}{2}} \quad \boldsymbol{(3)}$$

$$\boldsymbol{C56C4 = C56 + C4 = \frac{1}{2} + 1 = \frac{3}{2}} \quad \boldsymbol{(4)}$$

- Condensatoarele **C123** și **C456** sunt conectate în serie deoarece punctul lor comun nu este în nod de rețea.

$$\mathbf{Cab = \frac{C123 \cdot C456}{C123 + C456} = \frac{\frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2}}{\frac{3}{2} + \frac{3}{2}} = \frac{9}{4} \cdot \frac{2}{6} = \frac{3}{4}} \quad \mathbf{(5)}$$

$$\boldsymbol{Cab = 0,75\ \mu F}$$

2 Determin capacitatea echivalentă a rețelei prin măsurarea impedanței Z în Multisim.

- Desenez în Multisim schema rețelei din figura 2.42 și conectez la terminalele **A** și **B** instrumentul virtual **Impedance meter;**

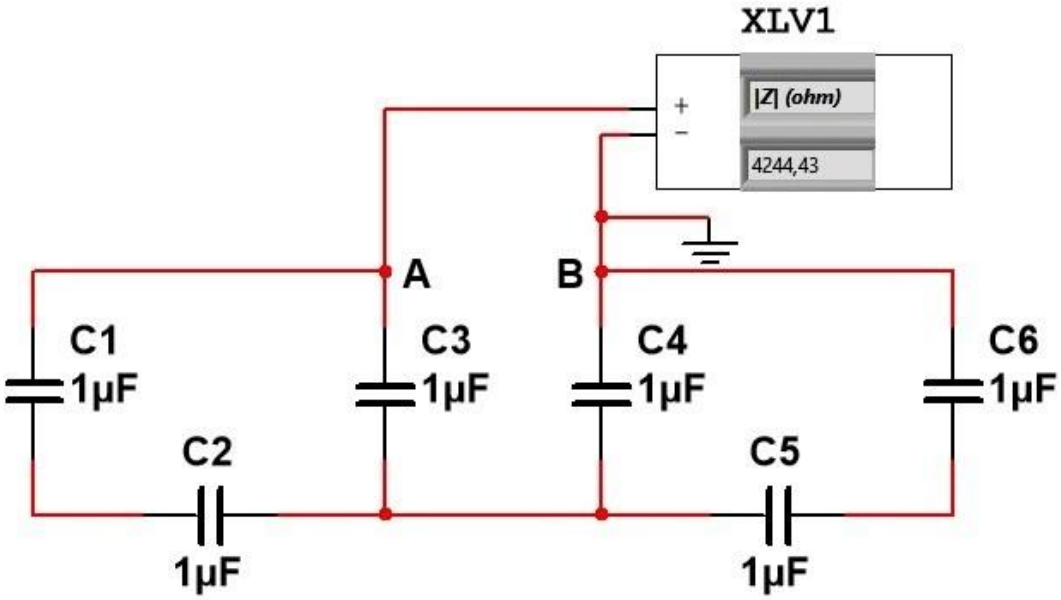


Figura 2.42 Rețea de condensatoare

- Pentru conectarea **Impedance meter** se procedează astfel:
  - Din meniul **View** se selectează **Toolbars**;
  - În lista care se deschide se bifează **LabVIEW instruments**;
  - În bara de instrumente care apare se selectează **Impedance meter;**
  - Fac dublu clic pe instrument și setez frecvența la **50 Hz.**

  - Conectez bornele instrumentului la punctele **A** și **B.**
- Pornesc simularea (**apăs tasta F5**) și citesc valoarea impedanței indicată de instrumentul virtual. În acest caz **Z = 4244,43 Ω;**
- Calculez capacitatea echivalentă cu formula:

$$C = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z} = \frac{1000000}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 4244,43} = 0,75\ \mu F$$

$$Cab = 0,75\ \mu F$$

B. Se determină capacitatea echivalentă a rețelei din **figura 2.43** prin două metode.

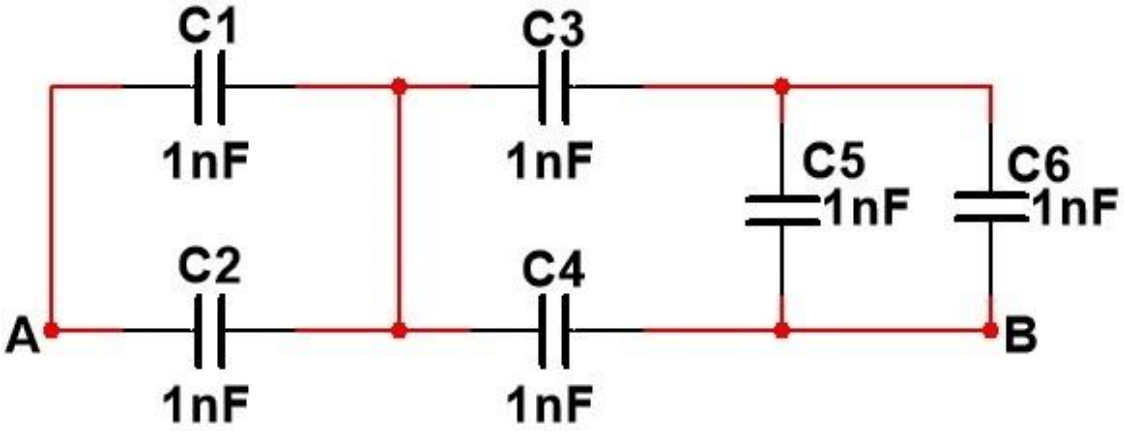


Figura 2.43 Rețea de condensatoare

Se consideră **C1 = C2 = C3 = C4 = C5 = C6 = 1nF**

1. Determin capacitatea echivalentă a rețelei prin calcul cu formule.

- Condensatoarele **C1** și **C2** precum și condensatoarele **C5** și **C6** sunt conectate în paralel deoarece au câte două puncte comune.

$$\boldsymbol{C12 = C1 + C2 = 1 + 1 = 2nF} \quad (1)$$
$$\boldsymbol{C56 = C5 + C6 = 1 + 1 = 2nF} \quad (2)$$

- După substituirea condensatoarelor **C1** și **C2** cu condensatorul **C12** și a condensatoarelor **C5** și **C6** cu condensatorul **C56** rețeaua din figura 2.43 se transformă în rețeaua din figura 2.44.

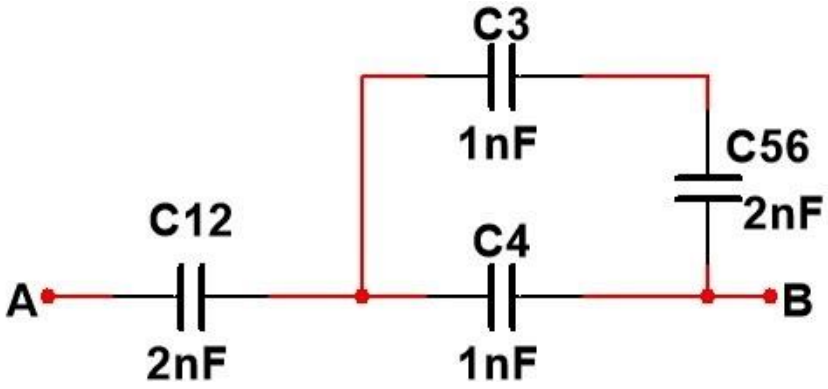


Figura 2.44 Rețea de condensatoare

- Condensatoarele **C3** și **C56** sunt conectate în serie deoarece punctul comun dintre ele nu este în nod de rețea.

$$\boldsymbol{C3C56 = \frac{C3 \cdot C56}{C3 + C56} = \frac{1 \cdot 2}{1 + 2} = \frac{2}{3}\, nF} \quad (3)$$

- După substituirea condensatoarelor **C3** și **C56** cu condensatorul **C356** rețeaua din figura 2.44 se transformă în rețeaua din figura 2.45.

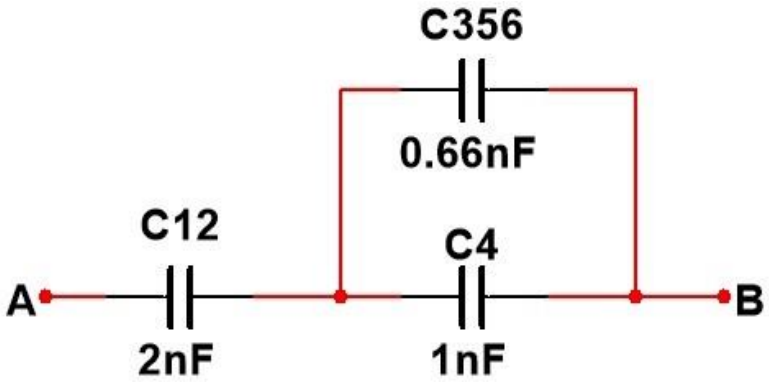


Figura 2.45 Rețea de condensatoare

- Condensatoarele **C356** și **C4** sunt conectate în paralel deoarece au două puncte comune.

$$C356C4 = C356 + C4 = \frac{2}{3} + 1 = \frac{5}{3}\ nF \quad (4)$$

- Condensatoarele **C356-4** și **C12** sunt conectate în serie deoarece punctul comun dintre ele nu este conectat într-un nod de rețea.

$$\mathbf{Cab} = \frac{\mathbf{C3564 \cdot C12}}{\mathbf{C3564 + C12}} = \frac{\frac{5}{3} \cdot 2}{\frac{5}{3} + 2} = \frac{10}{3} \cdot \frac{3}{11} = \frac{10}{11} = \mathbf{0,909\ nF} \quad (5)$$

$$Cab = 0,909\ nF$$

2 Determin capacitatea echivalentă a rețelei prin măsurarea impedanței Z în Multisim.

- Desenez în Multisim schema rețelei din figura 2.46 și conectez la terminalele **A** și **B** instrumentul virtual **Impedance meter;**

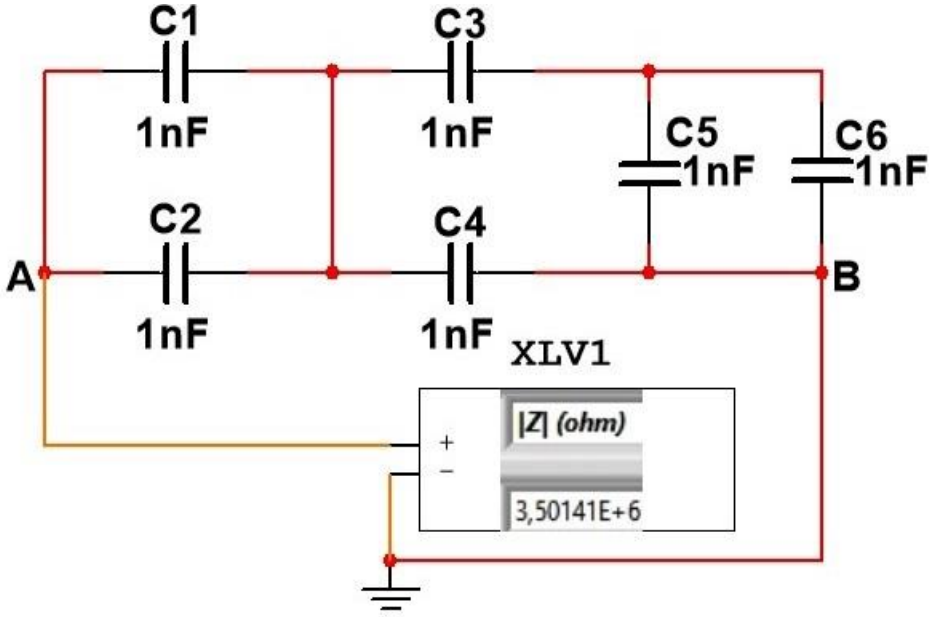


Figura 2.46 Rețea de condensatoare

- Pornesc simularea (**apăs tasta F5**) și citesc valoarea impedanței indicată de instrumentul virtual. În acest caz **Z = 3501410 Ω;**

OBS. E+6 de la sfârșitul numărului zecimal indică faptul că numărul zecimal se înmulțește cu $\mathbf{10^6}$ adică cu 1.000.000. (3,50141x1000000=3501410)

- Calculez capacitatea echivalentă cu formula:

$$C = \frac{10^9}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z} = \frac{1000000000}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 3501410} = 0,9095\ nF$$

OBS. În formula lui **C** la numărător se scrie:

- $\mathbf{10^3}$ – dacă capacitatea este exprimată în milifarazi (**mF**);
- $\mathbf{10^6}$ – dacă capacitatea este exprimată în microfarazi (**μF**);
- $\mathbf{10^9}$ – dacă capacitatea este exprimată în nanofarazi (**nF**);
- $\mathbf{10^{12}}$ – dacă capacitatea este exprimată în picofarazi (**pF**);

$$Cab = 0,909\ nF$$

2.5. BOBINE ŞI TRANSFORMATOARE ELECTRICE.

2.5.1. GENERALITĂŢI PRIVIND BOBINELE

A. DEFINIŢIE.

BOBINA – este o componentă de circuit cu două terminale şi mai multe spire realizate dintr-un conductor electric izolat . Proprietatea cea mai importantă a bobinei constă în faptul că ea poate acumula energie magnetică.

Mărimea fizică care caracterizează bobina se numeşte ***inductanţă electrică*** **(L).**

Inductanţa electrică – reprezintă măsura capacităţii unei bobine de a acumula energie magnetică pentru o anumită valoare a curentului din circuit.

Când la bornele bobinei se aplică o tensiune electrică, spirele bobinei sunt parcurse de un curent (I) care creează în jurul spirelor un câmp magnetic caracterizat de un flux magnetic (Φ). Inductanţa L este raportul dintre fluxul magnetic Φ şi curentul I care parcurge bobina conform relaţiei:

$$(1)\quad L = \frac{\phi}{I}$$

Din punct de vedere energetic, *bobina acumulează în spaţiu dintre spire o energie sub formă de câmp magnetic* conform relaţiei:

$$(2)\quad Wm = 0,5 \cdot L \cdot I^2$$

Inductanţa electrică se poate exprima în 2 moduri:

în funcţie de proprietăţile materialului din care este construită bobina (la rece)

$$(3)\quad L = \mu \cdot \frac{N^2 \cdot S}{l}$$

unde: $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$

μ= permeabilitatea absolută a materialului miezului bobinei

μ_0 - permeabilitatea vidului ; μ_r - permeabilitatea relativă(1, pentru aer)

S = aria secţiunii transversale a bobinei

l = lungimea bobinei

în funcţie de valorile mărimilor electrice dintr-un circuit electric (la cald)

$$(4)\quad L = \frac{\phi}{I}$$

unde: Φ= fluxul câmpului magnetic

I = curentul electric care străbate spirele bobinei

B. UNITĂŢI DE MĂSURĂ

Inductanţa electrică se măsoară în Henry (H).

Deoarece 1 Henry are valoarea foarte mare, în practică se utilizează submultiplii acestuia:

1 mH (milihenry) = 10^{-3} H

1 μH (microhenry) = 10^{-3} mH = 10^{-6} H

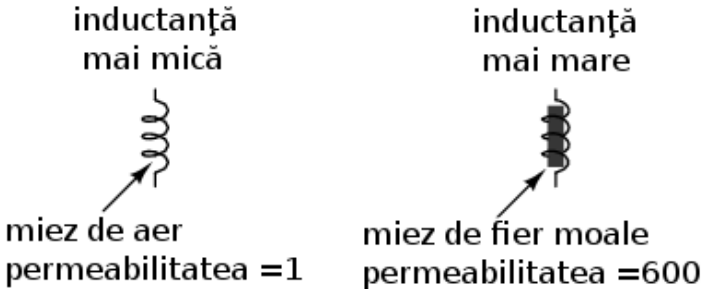
1 nH (nanohenry) = 10^{-3} μH = 10^{-6} mH = 10^{-9} H

C. PARAMETRII ELECTRICI SPECIFICI BOBINELOR

a. INDUCTANŢA BOBINEI (L) - indică capacitatea bobinei de a acumula energie sub formă de câmp magnetic.

La construcţia bobinelor sunt 4 factori care influenţează valoarea inductanţei:

- materialul miezului bobinei



- numărul de spire din înfăşurare

- aria înfăşurării

- lungimea înfăşurării

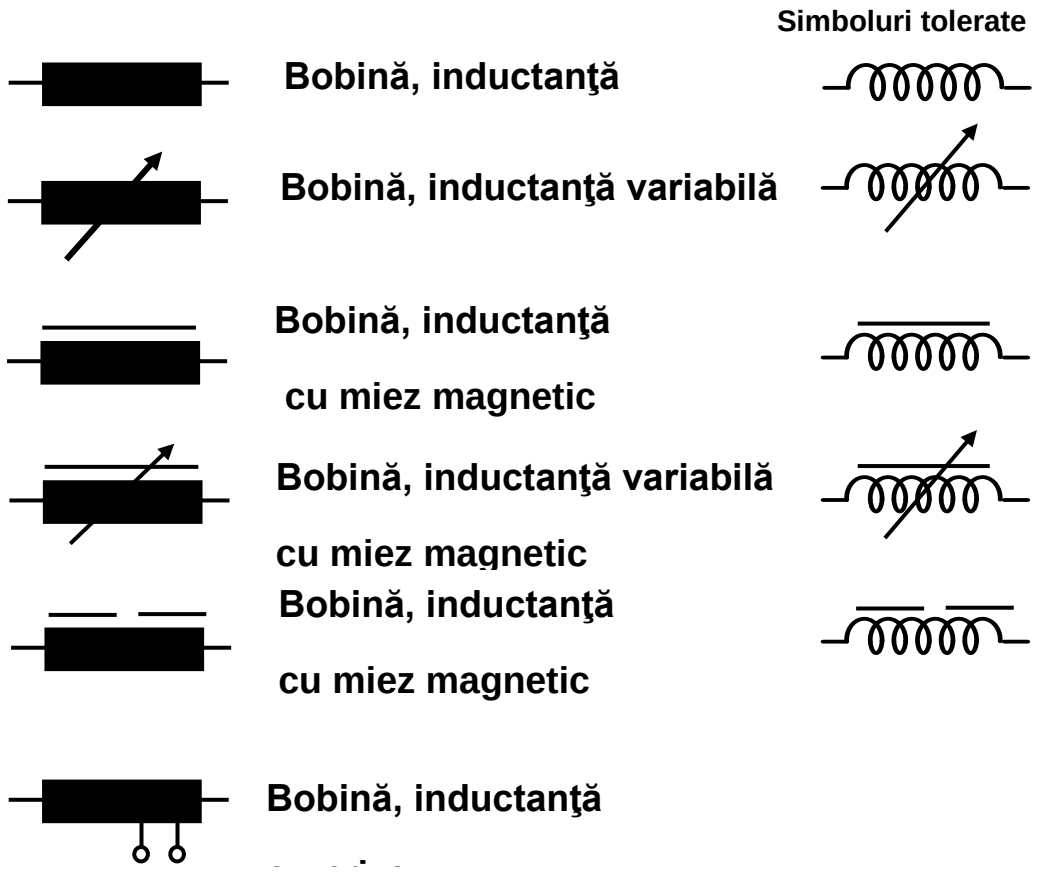
b. REZISTENŢA BOBINEI (R_L) - reprezintă rezistenţa echivalentă de pierderi a bobinei, formată din rezistenţa conductorului din care este realizată bobina, rezistenţa de pierderi în miezul bobinei şi dielectricul carcasei.

c. CAPACITATEA PROPRIE (C_L) – reprezintă capacitatea echivalentă rezultată din capacitatea dintre spirele bobinei.

d. FACTORUL DE CALITATE (Q_L) – reprezintă pierderile de energie în bobină. Cantitativ, factorul de calitate al bobinei este raportul dintre puterea reactivă a bobinei şi puterea activă disipată sub formă de căldură.

e. TENSIUNEA NOMINALĂ (U_L) – reprezintă tensiunea maximă pentru care este dimensionată bobina.

D. SIMBOLURILE BOBINELOR



2.5.2. GENERALITĂŢI PRIVIND TRANSFORMATOARELE ELECTRICE MONOFAZATE.

A. DEFINIȚIE. ELEMENTE CONSTRUCTIVE.

Transformatorul electric - este un aparat static care modifica tensiunea și curentul dintr-un circuit fără a modifica frecvența. Se utilizează in circuitele de curent alternativ .

Transformatorul este construit din 2 sisteme principale :

1. sistemul electric
2. sistemul magnetic

1. Sistemul electric - este format din una sau mai multe înfășurări din conductor din cupru sau aluminiu prin care circulă curent. Există 2 categorii de înfășurări :

- **înfășurarea primară** - care primește energie de la rețea prin intermediul căreia se alimentează transformatorul;

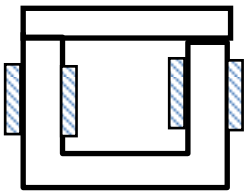
- înfășurarea secundară - care cedează energie unui receptor sau altei rețele electrice.

2. Sistemul magnetic - îl constituie miezul magnetic care este realizat din tole de oțel electrotehnic care au depus pe ele un strat de lac electroizolant. Tolele au grosimi de 0,3 mm și au un conținut de siliciu de 3,5‰.

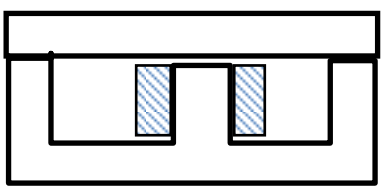
Tolele pot fi în formă de : **E ; I ; U ; M ;L ; T** .

Miezul magnetic poate fi realizat în două moduri :

- cu coloane (este format din tole U+I iar înfășurările sunt separate)



- în manta (este format din tole E+I iar înfășurările sunt suprapuse)



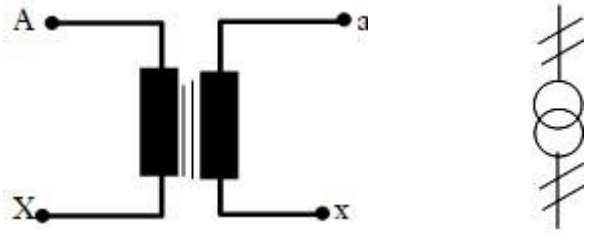
B. CLASIFICARE.

- **După parametrul care-l modifică în circuit:**
  - transformatoare de tensiune;
  - transformatoare de curent;
  - transformatoare de putere;
- **După felul tensiunii din secundar:**
  - transformatoare coborâtoare de tensiune;
  - transformatoare ridicătoare de tensiune;
- **După forma miezului magnetic :**
  - cu coloane;
  - în manta;

C. SEMNE CONVENȚIONALE.

Înfășurările transformatorului se notează în felul următor:

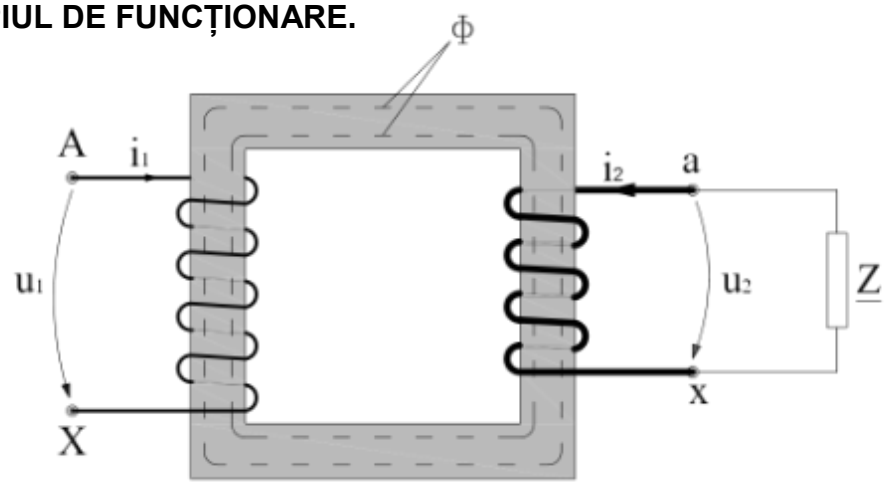
- înfășurarea de înaltă tensiune cu litere mari.
- înfășurarea de joasă tensiune cu litere mici;



D. DOMENII DE UTILIZARE.

- ***Transformatoarele de putere*** sunt utilizate în rețelele de transport și distribuție a energiei electrice ca transformatoare ridicătoare și coborâtoare de tensiune;
- ***Transformatoarele de tensiune*** se utilizează pentru alimentarea receptoarelor , reglarea tensiunilor , alimentarea instalațiilor electrice de redresare, acționări , automatizări;
- ***Transformatoarele de curent*** se utilizează pentru conectarea ampermetrelor în circuitele de curenți foarte mari.

E. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE.



Transformatorul electric funcționează pe principiul **inducției electromagnetice .**

La alimentarea cu tensiune a înfășurării primare (**A - X)**, prin înfășurare va circula un curent (**i1)** care produce o tensiune magnetomotoare (**t.m.m.1)** deci și un câmp magnetic alternativ.

Totalitatea liniilor câmpului magnetic formează un flux magnetic variabil în timp care străbate miezul magnetic al transformatorului și induce în cele două înfășurări tensiuni electromotoare **e1** și (**e2)** opuse și aproximativ egale cu **u1** și **u2** (conform principiului inducției electromagnetice) .

Valoarea tensiunii induse (**u2)** depinde de valoarea tensiunii de alimentare și numărul de spire din secundar (**N2)** și din primar (**N1)**.

Dacă în secundarul transformatorului se conectează un consumator atunci prin această înfășurare va circula un curent (**i2)** care produce un câmp magnetic . Acest câmp magnetic creează un flux magnetic care se opune fluxului creat de primar , dar acesta are tendința să rămână constant , fapt care duce la creșterea curentului din primar (**i1)** . Datorită acestui fenomen se explică de ce transformatorul la funcționarea în sarcină absoarbe de la rețea un curent mai mare decât la funcționarea în gol .

Un transformator funcționează în gol când nu are consumator în secundar , caz în care impedanța din secundar este foarte mare și curentul este nul.

Un transformator funcționează în scurtcircuit când secundarul este scurtcircuitat , caz în care impedanța și tensiunea din secundar sunt nule.

2.5.3. ALGORITMUL DE CALCUL AL UNUI TRANSFORMATOR MONOFAZAT.

1. Determin puterea totală furnizată de secundarul transformatorului [P2].

Reprezintă suma puterilor parțiale ale înfășurărilor secundare. Pentru fiecare înfășurare din secundar puterea se calculează cu formula $\boldsymbol{P = U \cdot I}$ $(\mathbf{1})$

unde: **U** = tensiunea la bornele înfășurării, **I**= curentul care străbate înfășurarea.

$$\boldsymbol{P2 = U_{21} \cdot I_{21} + U_{22} \cdot I_{22} + \cdots .. + U_{2n} \cdot I_{2n}} \ [\boldsymbol{VA}] \ (\mathbf{2})$$

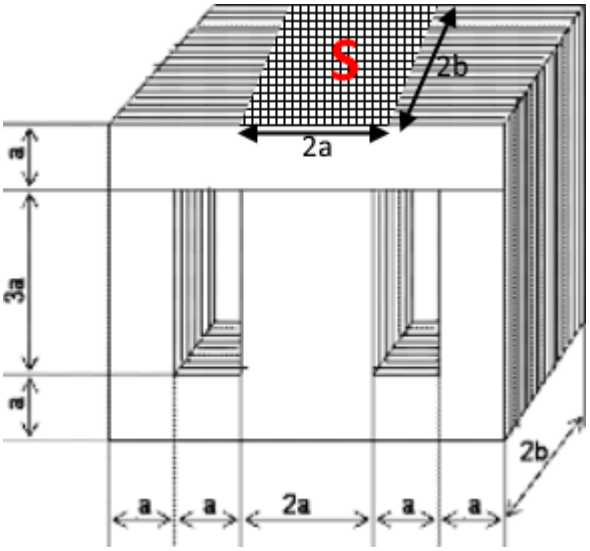
2. Determin puterea absorbită de primarul transformatorului [P1]

$$\boldsymbol{P1 = \frac{P2}{\eta} = (1,1 \ldots . 1,3) \cdot P2} \ [\boldsymbol{VA}] \ (\mathbf{3})$$

unde **η** = randamentul transformatorului (se consideră între 75% și 90%)

3. Calculez aria secțiunii miezului magnetic [S].

$$\boldsymbol{S = (1,1 \ldots .. 1,6) \cdot \sqrt{P1}} \ [\boldsymbol{cm^2}] \ (\mathbf{4})$$



Secțiunea miezului magnetic se obține înmulțind lățimea benzii centrale din tola E (**2a**) cu grosimea pachetului de tole (**2b**). $\boldsymbol{S = 2a \cdot 2b}$ $[\boldsymbol{cm^2}]$ $(\mathbf{5})$

4. Calculez grosimea pachetului de tole [2b].

$$\boldsymbol{2b = \frac{S}{2a}} \ [\boldsymbol{cm}] \ (\mathbf{6})$$

5. Calculez numărul de tole [nt].

$$\boldsymbol{nt = \frac{2b}{grosime\ tol\text{ă}}} \ (\mathbf{7})$$

6. Calculez numărul de spire pe volt pentru înfășurarea primară [n_1].

$$\boldsymbol{n_1 \cong \frac{55}{S}\ [spire/volt]\ \ (8)}$$

unde: **S** = secțiunea miezului calculată cu formula **(4)**;

55 = o constantă aproximativă care depinde de calitatea miezului. În cazul tolelor din tablă de fier-siliciu această constantă are valoarea **50**. Dacă tolele au calitate inferioară (sunt din tablă obișnuită constanta se ia între **55** și **60**.

OBSERVAȚIE: pentru calculul numărului de spire pe volt se poate utiliza și formula:

$$\boldsymbol{n_1 = \frac{f}{S} = \frac{50}{S}\ spire/volt \quad (9)}$$

unde **f** este frecvența rețelei **f = 50Hz.**

7. Calculez numărul de spire pe volt pentru înfășurarea secundară [n_2].

$$\boldsymbol{n_2 = 1,1 \cdot n1\ spire/volt\ \ (10)}$$

8. Calculez numărul de spire pentru fiecare înfășurare [N].

- Pentru înfășurarea din primar: $\boldsymbol{N = n1 \cdot U\ \ (11)}$;
- Pentru înfășurările din secundar: $\boldsymbol{N = n2 \cdot U\ \ (12)}$

  unde **U** este tensiunea corespunzătoare înfășurării respective.

9. Determin diametrul conductoarelor de bobinaj [d].

Înainte de a determina diametrul conductorului de bobinaj pentru o înfășurare se calculează curentul care parcurge înfășurarea respectivă cu formula:

$$\boldsymbol{I = \frac{P}{U}\ [A]\ \ (13)}$$

unde: **P** = puterea electrică a înfășurării calculată al punctele **(1)** și **(2)**

U = tensiunea electrică corespunzătoare înfășurării

Diametrul conductoarelor se calculează în funcție de densitatea de curent (exprimată în amperi/mm^2) pe baza unor relații complexe.

În practică pentru transformatoarele de putere mică și o valoare a densității de curent **j=2 A/mm^2** se utilizează formula:

$$\boldsymbol{d \cong 0,8\sqrt{I[A]}\ [mm]\ \ (14)}$$

În practică pentru determinarea diametrului sau a secțiunii conductorului de bobinaj pentru transformatoare de putere mică se utilizează tabelul de mai jos.

d [mm]	S [mm²]	I max [mA]			n_s [spire/cm²]		n_l [spire/cm]
		$j = 2$ [A/mm²]	$j = 2{,}5$ [A/mm²]	$j = 3$ [A/mm²]	fără izolație între straturi	cu izolație între straturi	
0,15	0,01767	35,3	44,2	53	2 880	2 260	55
0,18	0,02545	51	63,7	76,5	2 050	1 730	47,5
0,20	0,03142	62,9	78,6	94,3	1 715	1 465	43,4
0,22	0,03801	76	95	114	1 460	1 210	39,2
0,25	0,04909	98	123	147	1 140	978	35
0,28	0,06158	122	154	185	925	813	31,5
0,30	0,07069	141	177	212	807	722	29,6
0,35	0,09621	192	240	289	594	530	25,3
0,40	0,126	252	315	378	470	350	22,5
0,45	0,159	318	398	477	371	277	19,9
0,50	0,196	392	490	590	300	224	18,1
0,55	0,2376	475	594	713	246	190	16,4
0,60	0,2827	566	707	848	209	162	15,1
0,65	0,3312	662	838	993	180	142	14,1
0,70	0,3848	770	960	1 150	153	125	13,1
0,75	0,442	882	1 110	1 331	134	110	12,3
0,80	0,503	1 000	1 256	1 510	127	95,5	11,4
0,85	0,568	1 140	1 420	1 700	106	87	11,0
0,90	0,636	1 270	1 590	1 910	93	78	10,2
0,95	0,710	1 420	1 775	2 130	84	70	9,8
1,0	0,785	1 570	1 960	2 360	75	65	9,3
1,2	1,131	2 260	2 730	3 400	52	40,5	7,7
1,4	1,54	3 080	3 850	4 620	39	30,7	6,7
1,5	1,767	3 530	4 420	5 300	33,5	26,5	6,2

10. Verific umplerea ferestrei.

După ce cunosc diametrul conductoarelor de bobinaj și numărul de spire pentru fiecare înfășurare trebuie să verific dacă bobinei transformatorului încap în fereastra miezului magnetic.

Calculez pentru fiecare bobină secțiunea care o ocupă în fereastră cu formula:

$$\boldsymbol{Fn = 0,8 \cdot d_n^2 \cdot N_n \ [mm^2] \ (15)}$$

unde: **d** = diametrul conductorului cu izolație iar **N**=numărul de spire al înfășurării

Calculez aria totală a secțiunii ocupate de înfășurări cu formula:

$$\boldsymbol{F = F_1 + F_2 + \cdots \ldots + F_n \ [mm^2] \ (16)}$$

Determin coeficientul de umplere cu formula:

$$\boldsymbol{c = \frac{F}{F_0} \ (17)}$$

unde $\mathbf{F_0}$ reprezintă secțiunea ferestrei (în cazul de față conform desenului de la punctul **(3)** $\boldsymbol{F_0 = 3a \cdot a = 3a^2 \ [mm^2] \ (18)}$

Coeficientul de umplere **c** trebuie să fie mai mic de 0,8 (caz în care bobinele transformatorului ocupă 80% din secțiunea ferestrei).

LUCRARE DE LABORATOR 2

Determinarea rezistenței echivalente a unei rețele de rezistoare.

- **OBIECTIVE:**
  - Calcularea rezistenței echivalente, cu formule, a unei rețele de rezistoare ;
  - Măsurarea rezistenței echivalente a unei rețele de rezistoare cu un ohmmetru virtual în Multisim;
  - Determinarea rezistenței echivalente a unei rețele de rezistoare cu metoda ampermetrului și voltmetrului virtual în Multisim;
- **RESURSE:**
  - Calculatoare;
  - Rețea conectată la internet;
  - Aplicația Multisim;
  - Pachetul Microsoft Office;
  - Proiector media;
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

1. Se dă schema rețelei de rezistoare din **figura 2.47;**

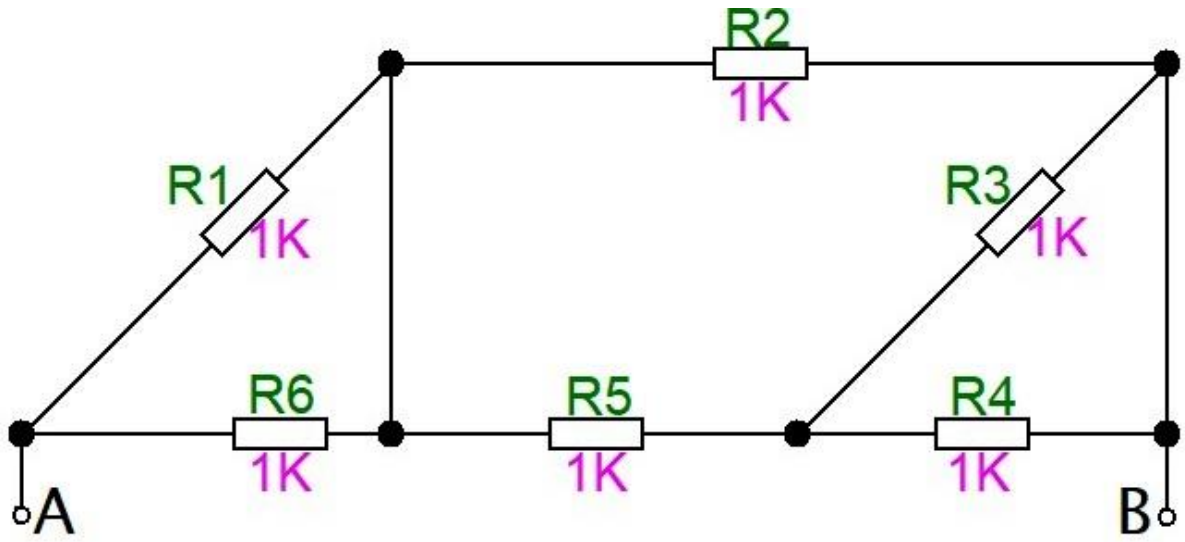


Figura 2.47 Rețea de rezistoare

2. Desenați în Multisim schema din figura 2.47 și salvați fișierul pe desktop cu numele **retea-rezistoare-laborator**.

OBSERVAȚIE: rezistoarele **R1** și **R3** se desenează în plan vertical.

3. Calculați cu ajutorul formulelor rezistența echivalentă a rețelei în punctele **A** și **B** (R_{AB}).

……

……

……

……

……

R_{AB} = ……..

4. În Multisim conectați între punctele **A** și **B** un ohmmetru virtual apoi porniți simularea și notați valoarea rezistenței indicate de ohmmetru.

R_{AB} = ……..

5. În fișierul Multisim înlocuiți ohmmetrul cu o sursă de alimentare, un voltmetru și un ampermetru conectate ca în figura 2.48.

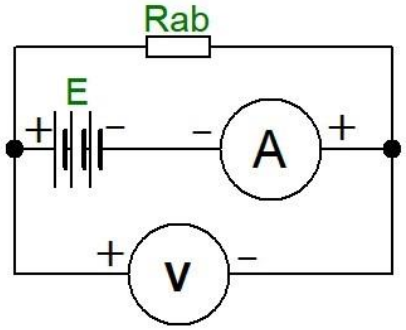


Figura 2.48 Conectare voltmetru, ampermetru, sursă de alimentare, rezistor

6. Pornește simularea și notează valorile indicate de voltmetru și ampermetru

U= ……[V] **I =** ……..[A]

7. Calculează cu legea lui Ohm valoarea rezistenței echivalente a rețelei

$$\boldsymbol{Rab = \frac{U}{I} =}$$

R_{AB} = ……..

LUCRARE DE LABORATOR 3

Determinarea capacității echivalente a unei rețele de condensatoare.

- **OBIECTIVE:**
  - Calcularea capacității echivalente, cu formule, a unei rețele de condensatoare ;
  - Determinarea capacității echivalente a unei rețele de condensatoare în Multisim;

- **RESURSE:**
  - Calculatoare;
  - Rețea conectată la internet;
  - Aplicația Multisim;
  - Pachetul Microsoft Office;
  - Proiector media;

- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

1. Se dă schema rețelei de condensatoare din **figura 2.49;**

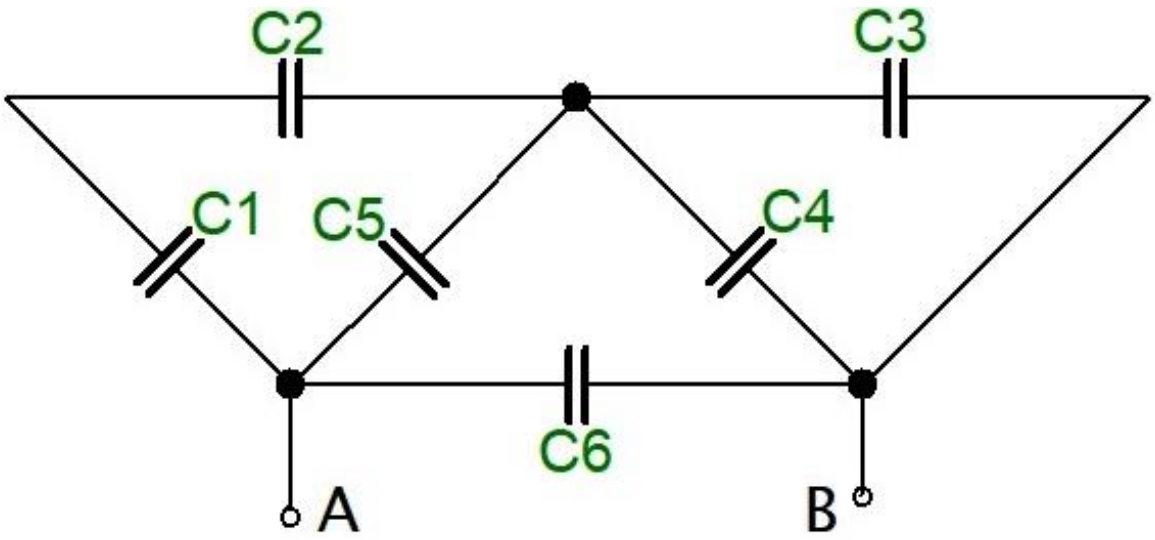


Figura 2.49 Rețea de condensatoare

C1 = C2 = C3 = C4 = C5 = C6 = 1μF

2. Calculați capacitatea echivalentă a rețelei cu formule

……..

……..

……..

……..

……..

C_{AB} = ...

3. Desenați în Multisim schema rețelei din figura 2.49

4. Conectați între punctele **A** și **B** un ***Impedance meter*** apoi porniți simularea și notați valoarea impedanței:

Z = …….. Ω

5. Calculați capacitatea echivalentă cu ajutorul formulei:

$$\boldsymbol{C[\mu F] = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z} =}$$

C_{AB} = ...

EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR

1. **Completați spațiile libere cu cuvintele potrivite notate mai jos:**

direct, foarte mică, scade,invers, ohm, crește, foarte mare, farad.

Rezistența electrică se măsoară în ……., care este o unitate de măsură …….. .

Capacitatea electrică se măsoară în……, care este o unitate de măsură …… .

Rezistența electrică este ……proporțională cu intensitatea curentului care străbate rezistorul.

Capacitatea electrică este……proporțională cu distanța dintre armăturile condensatorului.

La conectarea rezistoarelor în paralel, rezistența echivalentă a circuitului …… .

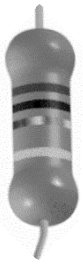
La conectarea condensatoarelor în paralel, capacitatea echivalentă a circuitului …… .

2. **Determinați valorile rezistenţelor de mai jos marcate în codul culorilor:**

R1=……

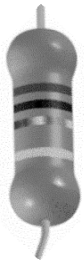
MARO
VERDE
ROŞU
ARGINTIU

R2=……



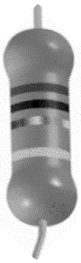
VERDE
NEGRU
MARO
ARGINTIU

R3=……



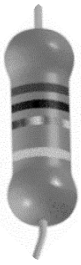
PORTOCALIU
PORTOCALIU
MARO
ARGINTIU

R4=……



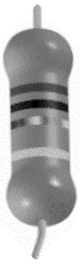
ALBASTRU
VIOLET
MARO
AURIU

R5=……



MARO
NEGRU
ROŞU
AURIU

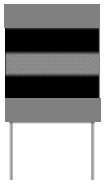
R6=……



ROŞU
NEGRU
ROSU
AURIU

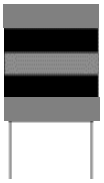
3. **Determinați valorile condensatoarelor de mai jos marcate în codul culorilor:**

C1 = ……**pF**



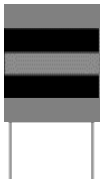
MARO
NEGRU
ALBASTRU

C2 = ……**pF**



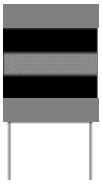
MARO
NEGRU
GALBEN

C3 = ……**pF**



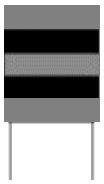
MARO
ALBASTRU
VIOLET

C4 = ……**pF**



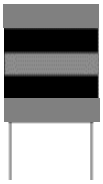
MARO
NEGRU
VIOLET

C5 = ……**pF**



MARO
NEGRU
PORTOCALIU

C6 = ……**pF**



MARO
ALB
VIOLET

4. Valoarea unui rezistor alimentat cu o tensiune **U= 12 V** și parcurs de un curent **I = 20 mA** este ……..**KΩ**. Faceți calculul în spațiul de mai jos.

5. Capacitatea unui condensator care are impedanța **Z= 500 Ω** și care este conectat într-un circuit cu frecvența **f = 50 Hz** este …… **µF**. Faceți calculul în spațiul de mai jos.