

2.5. BOBINE ȘI TRANSFORMATOARE ELECTRICE.

2.5.1. GENERALITĂȚI PRIVIND BOBINELE

A. DEFINIȚIE.

BOBINA – este o componentă de circuit cu două terminale și 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 numește **inductanță electrică (L)**.

Inductanța electrică – reprezintă măsura capacității 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). Inductanța L este raportul dintre fluxul magnetic Φ și curentul I care parcurge bobina conform relației:

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

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

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

Inductanța electrică se poate exprima în 2 moduri:

în funcție de proprietățile 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 secțiunii transversale a bobinei

l = lungimea bobinei

în funcție 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. UNITĂȚI DE MĂSURĂ

Inductanța 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 μ H (microhenry) = 10^{-3} mH = 10^{-6} H

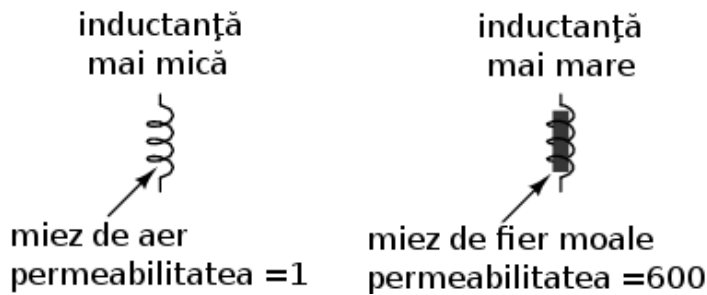
1 nH (nanohenry) = 10^{-3} μ H = 10^{-6} mH = 10^{-9} H

C. PARAMETRII ELECTRICI SPECIFICI BOBINELOR

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

La construcția bobinelor sunt 4 factori care influențează valoarea inductanței:

- materialul miezului bobinei



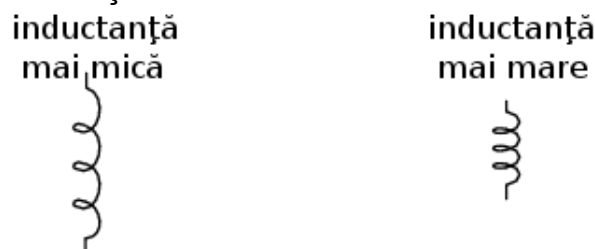
- numărul de spire din înfășurare



- aria înfășurării



- lungimea înfășurării





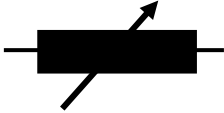
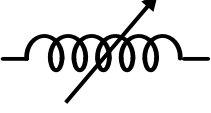

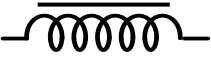
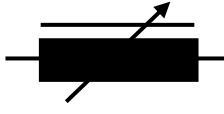
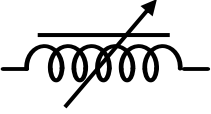
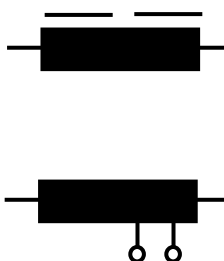
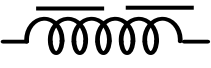
b. REZISTENȚA BOBINEI (R_L) - reprezintă rezistența echivalentă de pierderi a bobinei, formată din rezistența conductorului din care este realizată bobina, rezistența de pierderi în miezul bobinei și dielectricul carcusei.

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 și puterea activă disipată sub formă de căldură.

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

D. SIMBOLURILE BOBINELOR

		Simboluri tolerate
	Bobină, inductanță	
	Bobină, inductanță variabilă	
	Bobină, inductanță cu miez magnetic	
	Bobină, inductanță variabilă cu miez magnetic	
	Bobină, inductanță cu miez magnetic	

2.5.2. GENERALITĂȚI 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 în 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;

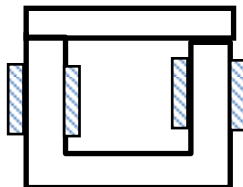
- **înfășurarea secundară** - care cedează energie unui receptor sau altei rețele electrice.

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%.

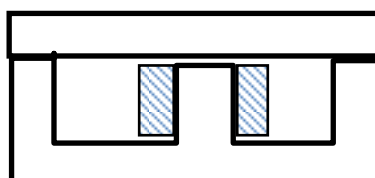
Tolele pot fi în formă de : **E ; I ; U ; M ; L ; T** .

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)



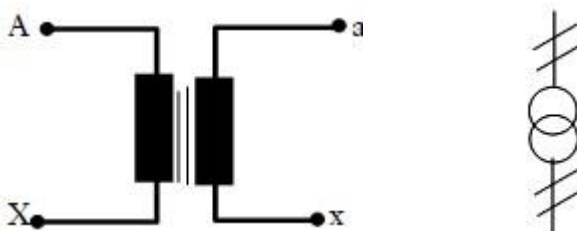
B. CLASIFICARE.

- **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:

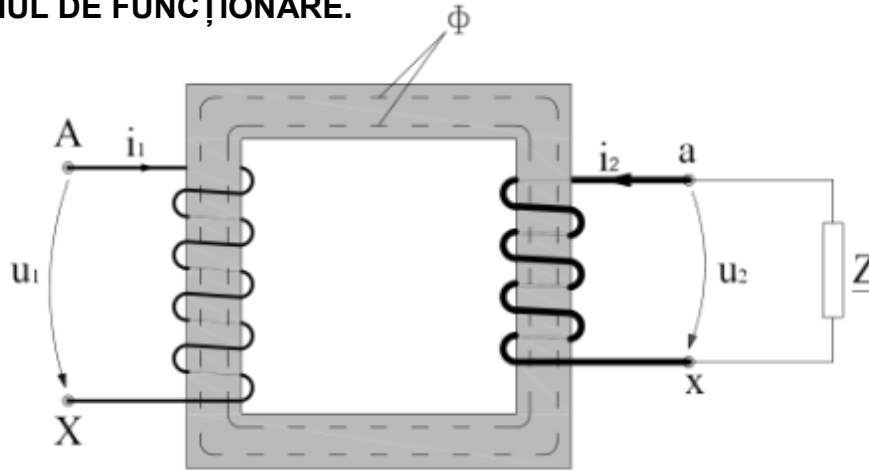
- înfășurarea de înaltă tensiune cu litere mari.
- înfășurarea de joasă tensiune cu litere mici;



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 $P = U \cdot I$ (1)

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

$$P2 = U_{21} \cdot I_{21} + U_{22} \cdot I_{22} + \dots + U_{2n} \cdot I_{2n} \text{ [VA]} \quad (2)$$

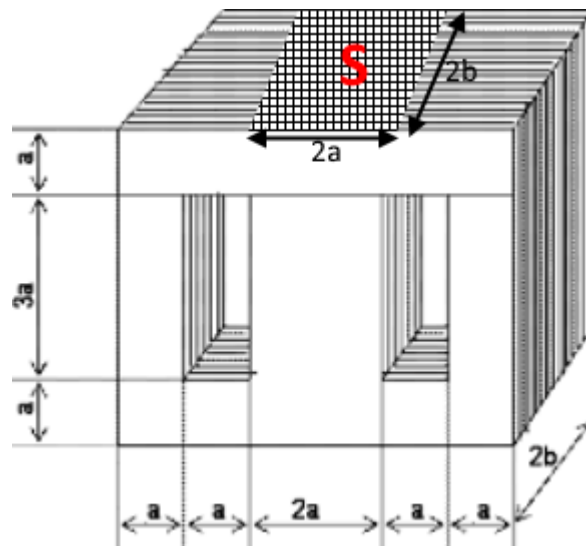
2. Determin puterea absorbită de primarul transformatorului [P1]

$$P1 = \frac{P2}{\eta} = (1, 1 \dots 1, 3) \cdot P2 \text{ [VA]} \quad (3)$$

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

3. Calculez aria secțiunii miezului magnetic [S].

$$S = (1, 1 \dots 1, 6) \cdot \sqrt{P1} \text{ [cm}^2\text{]} \quad (4)$$



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

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

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

5. Calculez numărul de tole [nt].

$$nt = \frac{2b}{\text{grosime tolă}} \quad (7)$$

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

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

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:

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

unde f este frecvența rețelei $f = 50\text{Hz}$.

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

$$n_2 = 1,1 \cdot n_1 \text{ spire/volt} \quad (10)$$

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

- Pentru înfășurarea din primar: $N = n_1 \cdot U \quad (11)$;
- Pentru înfășurările din secundar: $N = n_2 \cdot U \quad (12)$

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:

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

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/mm²) pe baza unor relații complexe.

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

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

AUXILIAR CURRICULAR - TEHNOLOGII ÎN ELECTRONICĂ

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 [mm ²]	I_{max} [mA]			n_s [spire/cm ²]		n_l [spire/cm]
		$j = 2$ [A/mm ²]	$j = 2,5$ [A/mm ²]	$j = 3$ [A/mm ²]	fără izo- lație între straturi	cu izo- lație 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:

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

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

Calculez aria totală a secțiunii ocupate de înfășurări cu formula:

$$F = F_1 + F_2 + \dots + F_n \text{ [mm}^2\text{]} \quad (16)$$

Determin coeficientul de umplere cu formula:

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

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

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