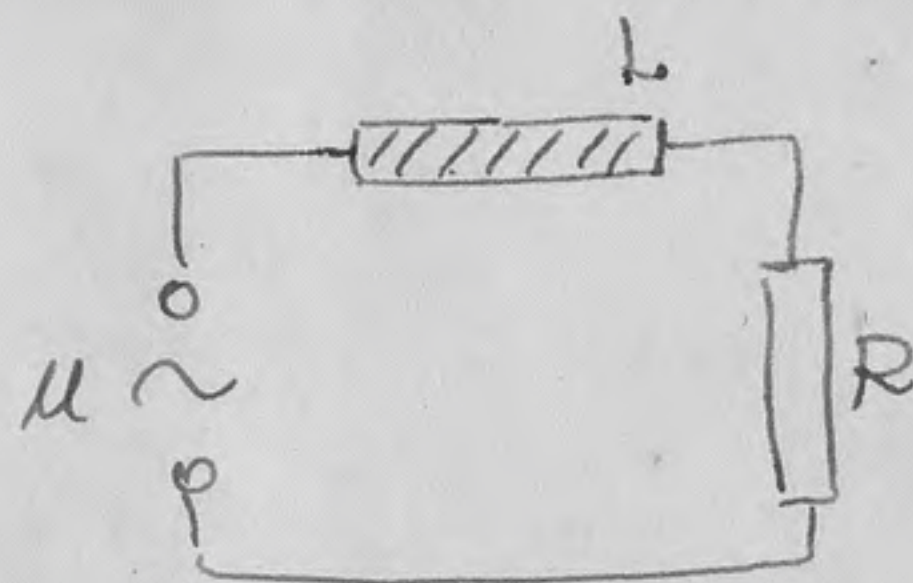


Rezistor și bobină în curent alternativ



Considerăm că
circuitul trece un curent

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

La bornele rezistorului vom

avea o cădere de tensiune

$$U_R = \sqrt{2} U_R \sin \omega t$$

deoarece rezistorul nu dephasează u față de i, iar
la bornele bobinei se va manifesta tensiunea de
autoinducție la creșterea de variația lui i :

$$e_a = -L \frac{di}{dt} = -L \sqrt{2} I \omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

aplicând legea lui Ohm la mărimea instantanee

$$U_m \text{ avea } \sqrt{U_R + e_a} = U_R - e_a$$

deoarece e_a este opusă lui U . Deci

$$u = U_R - e_a = \sqrt{2} U_R \sin \omega t + \sqrt{2} L \omega I \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Fie φ defazajul dintre u și i ($\varphi > 0$ sau
 $\varphi < 0$). Atunci:

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

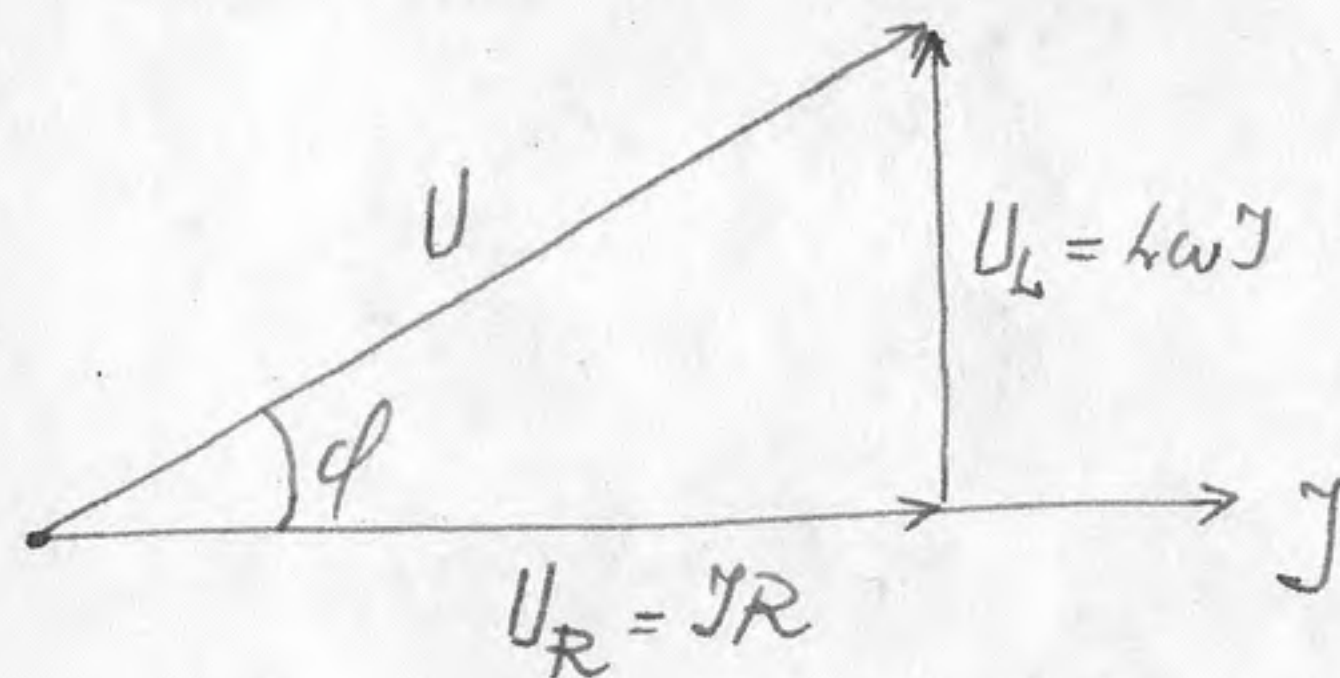
și

$$U \sin(\omega t + \varphi) = U_R \sin \omega t + U_L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

cu $U_L = L \omega I$. Notăm $X_L = \omega L \rightarrow$ reactanță
inductivă.

Fiecare termen fiind măsurat ce
rămânem să le adăugăm

forosi, ca in figura. (Modulele sunt egale cu valo-
rile maxime ale
tensiunilor).



Se obtine tri-
unghiul tensiunilor.

Din el : $U^2 = U_R^2 + U_L^2$

$$U^2 = I^2 R^2 + I^2 L^2 \omega^2 = I^2 (R^2 + L^2 \omega^2)$$

$$U = I \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}$$

$$U = I Z \text{ cu } Z = \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}$$

Aceasta este legea lui Ohm pentru valori efective.

Z se numeste impedanta.

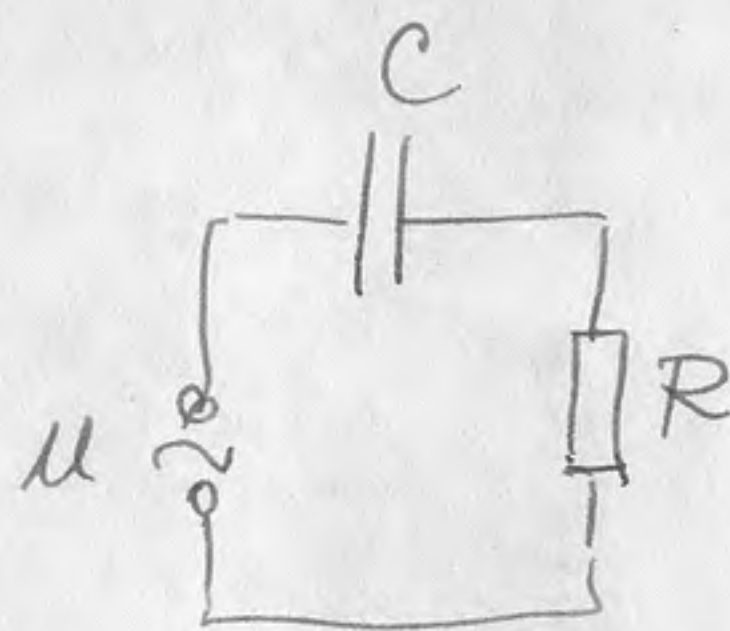
Se vede ca bobina introduce in circuit o repe-
tuta infuziune si defazajul U inaintea lui I cu

$$\tan \varphi = \frac{U_L}{U_R} = \frac{L\omega I}{RI} = \frac{L\omega}{R}$$

$$\tan \varphi = \frac{L\omega}{R}$$

Reactanta inductiva nu disipa energie,
ea o immagazineaza doar si o ceda in cir-
cuit.

Rezistor si condensator in curent alternativ



Curentul din circuit:

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

La bornele lui R avem

$$u_R = \sqrt{2} U_R \sin \omega t$$

si la bornele condensatorului $u_C = \frac{Q}{C}$

$$u_C = \frac{Q}{C} = \frac{I \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})}{\omega C}$$

Legea lui Ohm pentru valori instantanee

$$u = u_R + u_C$$

Cum $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ avem $Q = \frac{\sqrt{2} I}{\omega} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$

Adar :

$$\sqrt{2} U \sin(\omega t + \varphi) = \sqrt{2} I R \sin \omega t + \frac{\sqrt{2} I}{\omega C} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

sau

$$U \sin(\omega t + \varphi) = I R \sin \omega t + \frac{I}{\omega C} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Notand $X_C = \frac{1}{\omega C}$ numita reactanta

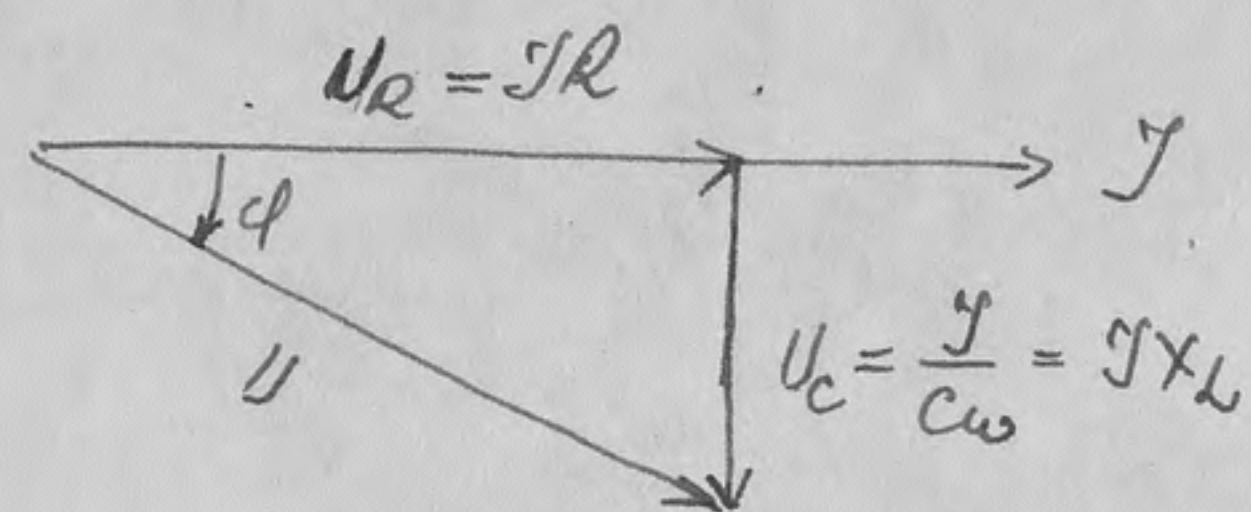
capacitiva :

$$U \sin(\omega t + \varphi) = U_R \sin \omega t + I X_C \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

sau punind $U_L = I X_C$

$$U \sin(\omega t + \varphi) = U_R \sin \omega t + U_C \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Asociind fiecarei termen un foros avem



Se vede că $\phi < 0$.

$$\tan \phi = \frac{U_L}{U_R} = \frac{I X_L}{I R} = \frac{X_L}{R}$$

$$\boxed{\tan \phi = \frac{1}{\omega R}}$$

$$U^2 = U_R^2 + U_L^2 = I^2 R^2 + I^2 X_L^2 = I^2 (R^2 + X_L^2)$$

$$U^2 = I^2 (R^2 + X_L^2) \quad \boxed{U = I \sqrt{R^2 + X_L^2}} \quad \text{Legea lui Ohm}$$

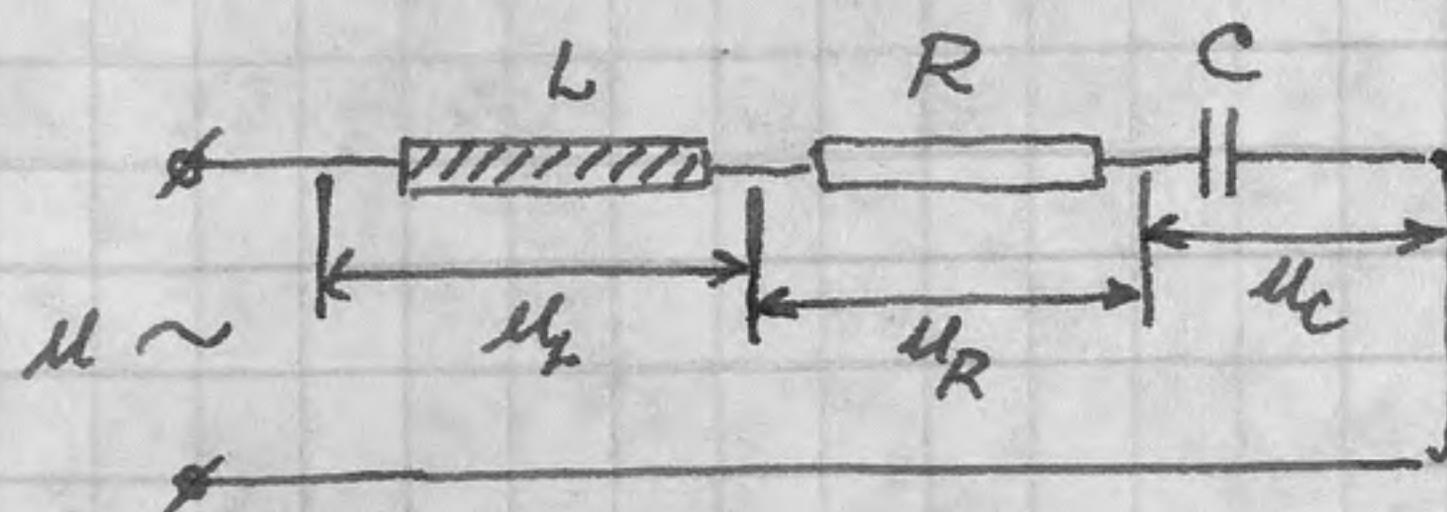
$$U = I \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} \quad \text{este impedanța}$$

$$U = I Z$$

Se vede că condensatorul deșteapă tensiunea în urma curentului cu $\frac{\pi}{2}$ la bornele lui și cu ϕ la bornele circuitului cu C și R.

26.7.1985

Circuit serie RLC în curent alternativ.

Intensitatea ce străbate la un moment

dat fixare componentei a circuitului:

$$i = I_m \sin \omega t$$

Sursele de tensiune din circuit sunt U și U_L (autoinductia din bobină). Avem:

$$U + U_L = U_R + U_C$$

sau $|U = U_R - U_L + U_C| \quad (1)$

Azi $U_R = i R$; $|U_R = I_m R \sin \omega t| \quad (2)$

deoarece experimental se constată că R nu dezfazează pe U de i . Determinăm pe U_L :

$$|U_L = -L \frac{di}{dt} = -L I_m \omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})| \quad (3)$$

și pe U_C :

$$C = \frac{Q}{U_C} ; U_C = \frac{Q}{C} ; \text{cun } i = \frac{dQ}{dt} \text{ avem:}$$

$$\frac{dQ}{dt} = I_m \sin \omega t ; Q = \frac{I_m}{\omega} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

deci $|U_C = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})| \quad (4)$

Ducem 2, 3 și 4 în (1):

$$u = I_m R \sin \omega t + L \omega I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) + \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Cum u este oscilație sinusoidală, va fi de forma:

$$u = U_m \sin(\omega t + \phi)$$

asadar:

$$U_m \sin(\omega t + \phi) = I_m R \sin \omega t + L \omega I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) + \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Prin urmare, fiind tensiune, și termenii din membrul 2 vor fi tensiuni. Altfel, putem nota:

$$U_{Rm} = I_m R; U_{Lm} = L \omega I_m; U_{Cm} = \frac{I_m}{\omega C}$$

și relația de serie:

$$U_m \sin(\omega t + \phi) = U_{Rm} \sin \omega t + U_{Lm} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) + U_{Cm} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Notăm: $X_L = L \omega$ reactanță inductivă

$X_C = \frac{1}{\omega C}$ — capacitive

$$\text{Atunci: } U_{Lm} = I_m X_L; U_{Cm} = I_m X_C$$

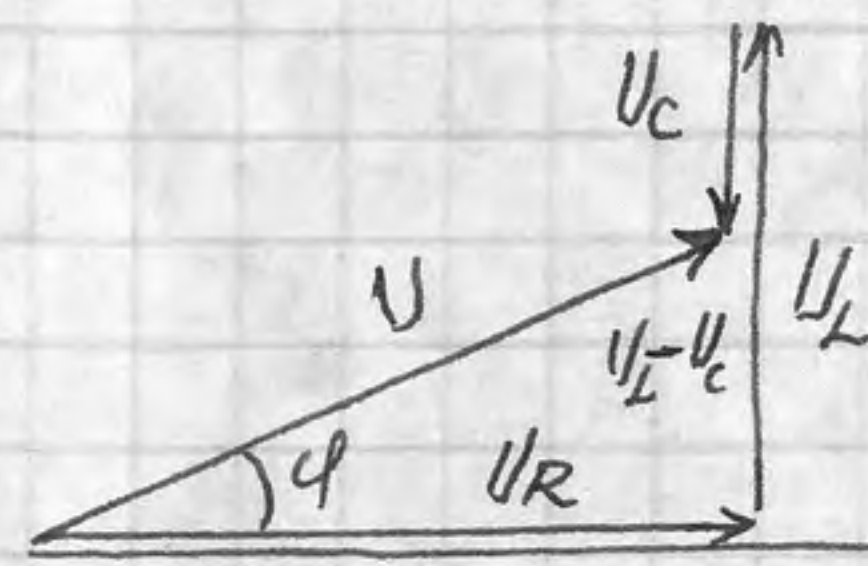
Se vede că X_L și X_C au rol de rezistențe. Vor avea unitate de măsură ohmuri. Totuși nu s-a ca R , ele nu disipă energie, ci doar influențează I .

Atunci ecuația circuitului, după simplificarea cu $\sqrt{2}$:

$$U \sin(\omega t + \phi) = U_R \sin \omega t + U_L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) + U_C \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Convenim să reprezentăm fiecare termen printr-un

vector de modul egal amplitudinii termenului și de argument egal fazei respective. Dregt axa lui i .



obținem triunghiul tensiunilor.

Sacă $U_L > U_C$ ($X_L > X_C$)

circuitul are efect predominant inductiv.

$$U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$$

$$U^2 = I^2 R^2 + (I X_L - I X_C)^2; U = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Notăm $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ impedanța circuitului

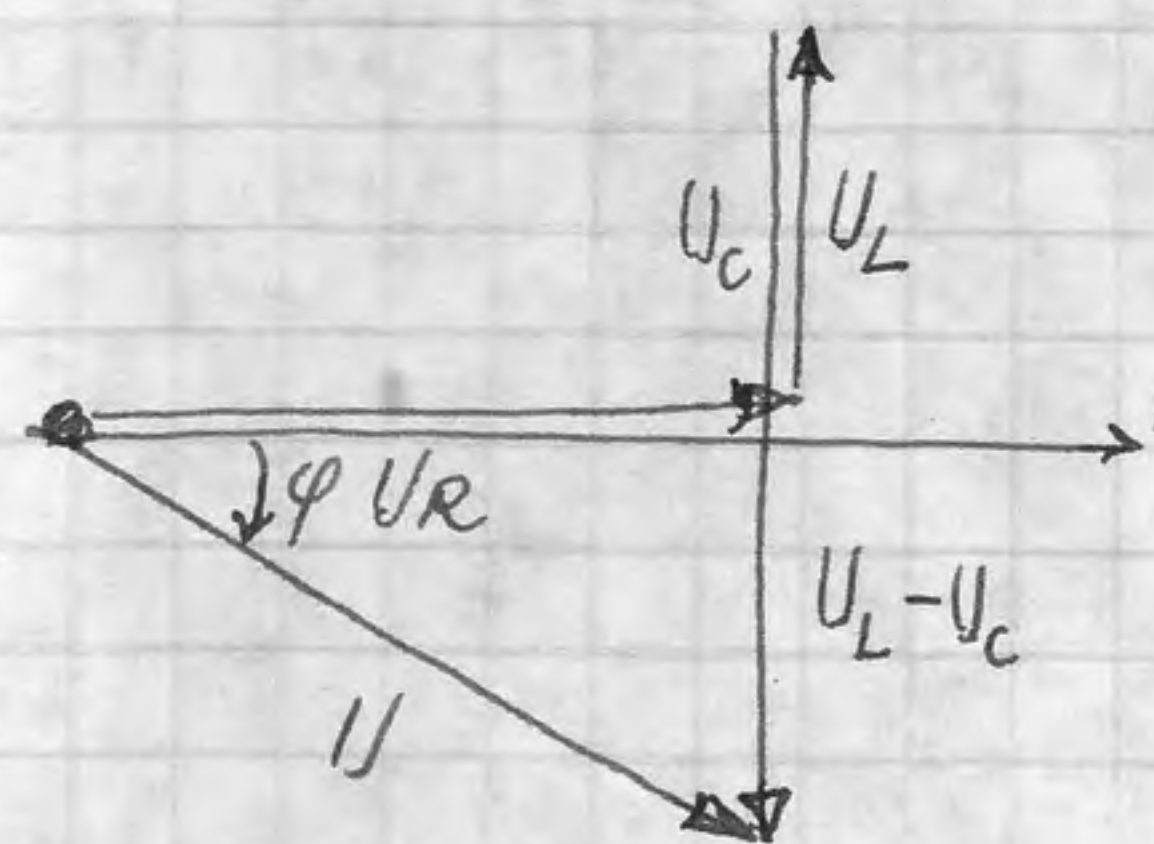
$[U = IZ]$ legea lui Ohm pentru circuitul serie

RLC în curent alternativ.

$$\tan \phi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

care ne dă defazarea dintre u și i .

Pentru circuitul predominant capacitiv:



Se obține aceeași Z și aceeași expresie pentru ϕ ,

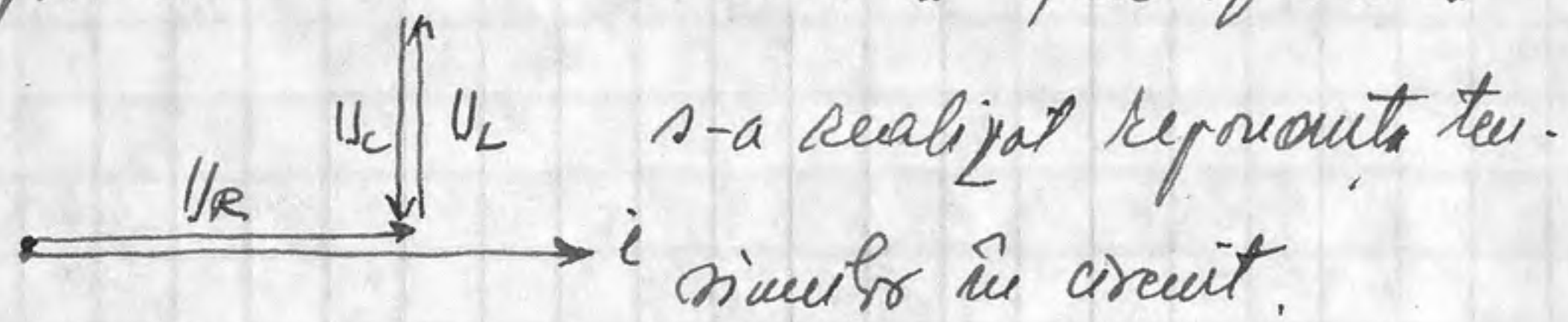
numai că din

$$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

vom obține $\phi < 0$,

ceea ce spune că u este defazat în urma lui i .

-4-
Dacă $X_L = X_C$ avem $U_L = U_C$ și liniștită tensiunea
în forma: Se vede că $Q = 0$ însemn că



$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2}; \quad Z = R.$$

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

se vede că la rezonanță Z este minim și deci

I este maxim: $I_{\text{ref}} = \text{maxim}$.

Urmează că la rezonanță U_L și U_C sunt
maxime: $U_L = I_{\text{ref}} X_L$; $U_C = I_{\text{ref}} X_C$.

și în plus $U_L = U_C$.

Se definește factorul de calitate $Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U}$

sau factorul de suprațensiune.

$$Q = \frac{I_{\text{ref}} X_L}{I_{\text{ref}} R} = \frac{I_{\text{ref}} X_C}{I_{\text{ref}} R} = \frac{L\omega}{R} = \frac{1}{\omega CR}$$

$$\text{Din } X_L = X_C \text{ avem } L\omega = \frac{1}{C\omega}; \quad \omega^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{1}{LC} \quad \boxed{T = 2\pi \sqrt{LC}} \text{ condiția de rezonanță}$$

(formula lui Thomson).

$$\text{sau } \boxed{\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}}; \quad \nu = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$Q = \frac{1}{R} L\omega = \frac{1}{R} L \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

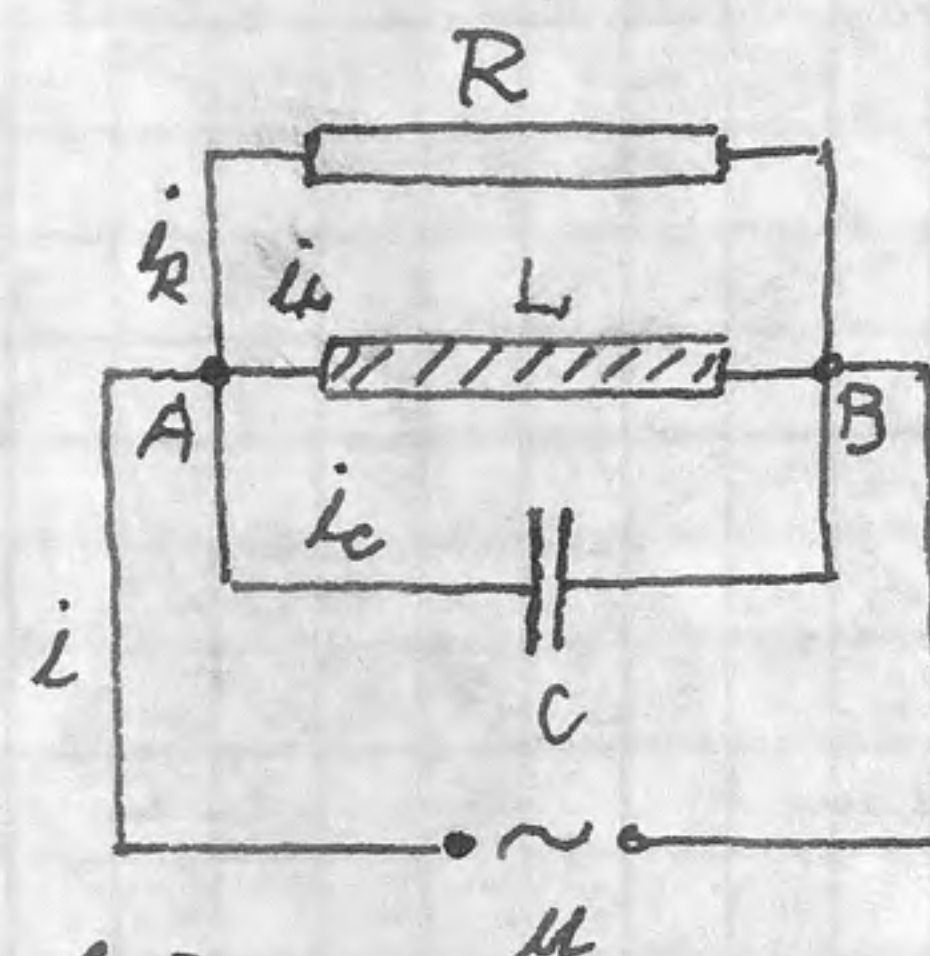
$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{Notăm } Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ și o vom numi rezonanță}$$

caracteristică.

Dacă $R \ll \sqrt{\frac{L}{C}}$ atunci $Q \gg 1$ și deci

$U_L = U_C \gg U$. În această situație tensiunea
la bornele bobinei și condensatorului este de sute
și chiar mii de ori tensiunea de alimentare U .
Așadar, cunoașterea fenomenului de rezonanță
este absolut necesară. Sărit stăruie cum el
este de don't (topica matematică) sau, dim-
potrivă, deoarece se pot deteriora bobinele și
condensatorii în circuit.

Circuit paralel RLC



$$u_R = u_C = u_L = u$$

În nodul A, legea 1 a lui Kirchhoff (presupunem $u \rightarrow 0$)

$$i = i_R + i_L + i_C \quad (1)$$

Scriem:

$$u = U_m \sin \omega t ; \quad i = I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

$$i_R = I_{Rm} \sin \omega t ; \quad i_R = \sqrt{2} I_R \sin \omega t \quad (3)$$

$$i_L = I_{Lm} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) ; \quad i_L = \sqrt{2} I_L \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (4)$$

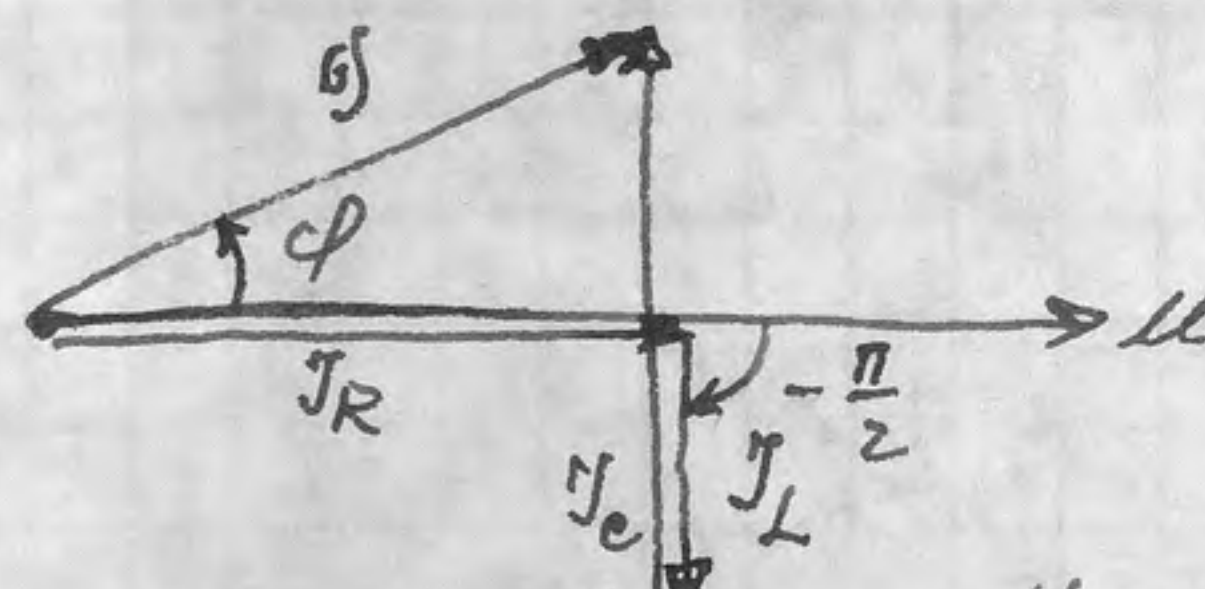
$$i_C = I_{Cm} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) ; \quad i_C = \sqrt{2} I_C \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (5)$$

Înlocuim 2, 3, 4 și 5 în 1:

$$\sqrt{2} I_m \sin(\omega t + \varphi) = \sqrt{2} I_R \sin \omega t + \sqrt{2} I_L \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) + \sqrt{2} I_C \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$I \sin(\omega t + \varphi) = I_R \sin \omega t + I_L \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) + I_C \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Reprezentăm fazorial, alegînd ca axă tensiunea:
Obținem triunghiul intensi-
tăților.



$$1) I_C > I_L$$

$$I^2 = I_R^2 + (I_C - I_L)^2$$

$$\text{sau: } I_R = \frac{U}{R} ; I_L = \frac{U}{X_L} ; I_C = \frac{U}{X_C}$$

Substituind în relația anterioară, avem:

$$Y^2 = \frac{U^2}{R^2} + \left(\frac{U}{X_L} - \frac{U}{X_C} \right)^2; \quad Y^2 = \frac{U^2}{R^2} + U^2 \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right)^2$$

$$Y^2 = U^2 \left[\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right)^2 \right]$$

$$Y = \frac{U}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right)^2}}$$

$$Y = \frac{U}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right)^2}}$$

$$Y = \frac{U}{Z} \quad \text{unde} \quad Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right)^2}}$$

Legea lui Ohm.
pentru circuitul
paralel RLC în
c.a.

impedanță. Se vede că
în Ohm (R)

Calculul defazajului ϕ dintre i și u :

$$\tan \phi = \frac{I_C - I_L}{I_R} = \frac{\frac{U}{X_C} - \frac{U}{X_L}}{\frac{U}{R}} = R \frac{\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}}$$

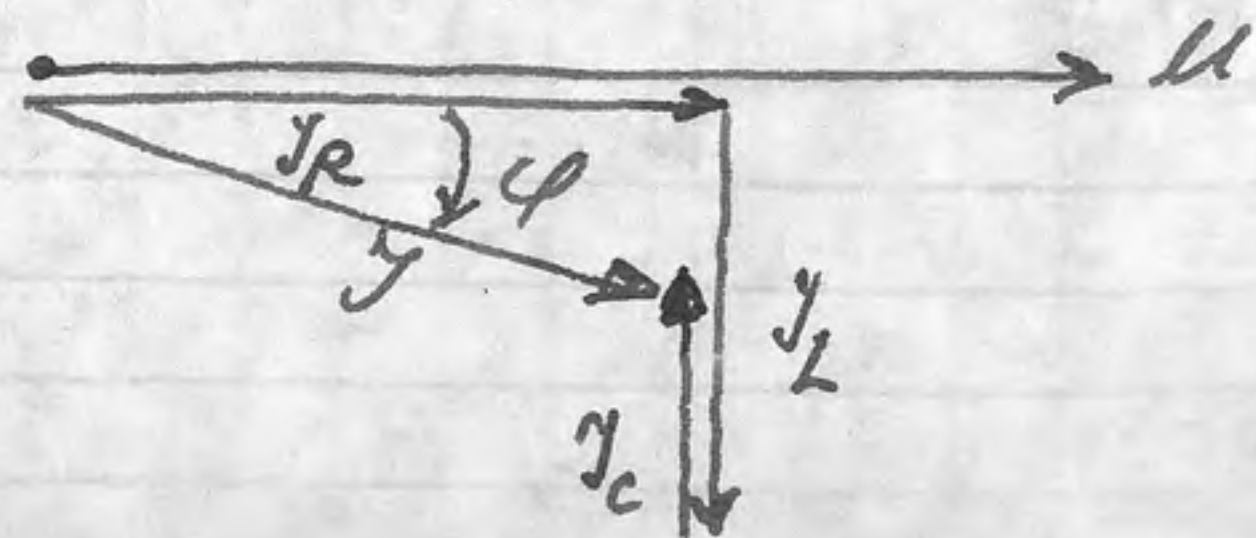
$$\tan \phi = R \frac{X_L - X_C}{X_L X_C}$$

Observăm că $I_C > I_L$ se scrie: $\frac{U}{X_C} > \frac{U}{X_L}$

sau $\frac{1}{X_C} > \frac{1}{X_L}$ adică $X_L > X_C$

Atunci $\tan \phi > 0$ adică $\phi > 0$

$I_C < I_L$



Calculul impedanței este cel anterior, deoarece
toți termenii răbi prin pătrate și schimbarea semnului
lui lui $I_C - I_L$ nu afectează acest calcul.

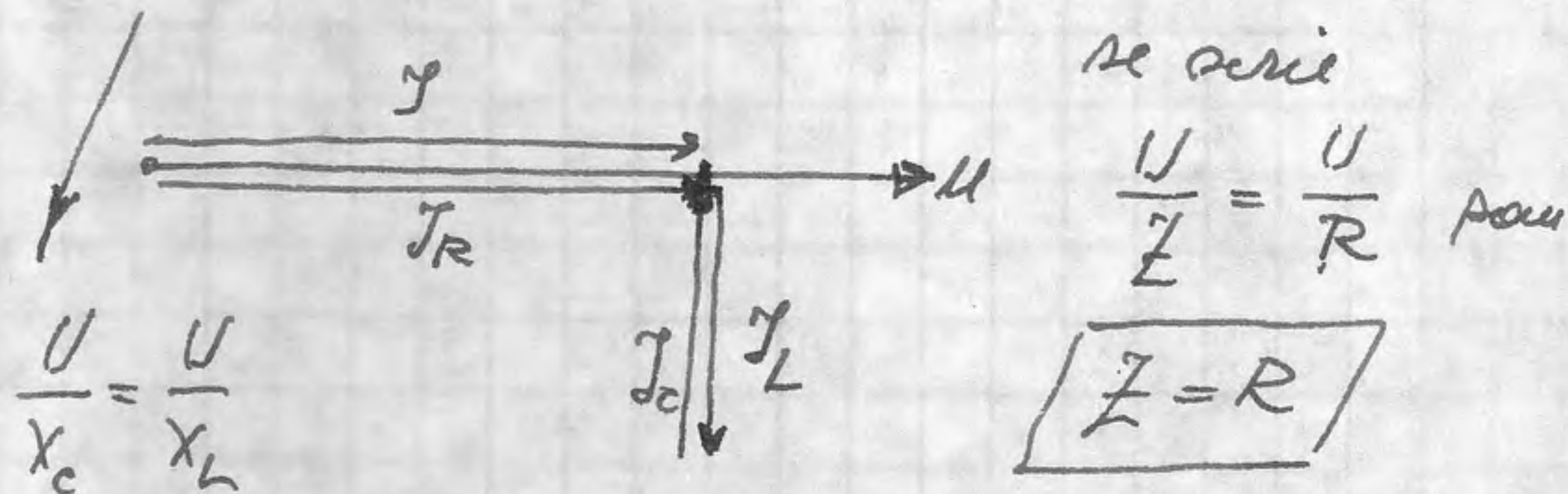
În schimb, calculul lui ϕ , prin schimbarea
semnului lui $I_C - I_L$ dă naștere la un $\phi < 0$

$$\tan \phi = \frac{I_C - I_L}{I_R} < 0$$

Aceasta ne convine, întrucât acum unghiul
 ϕ este negativ. Atunci, și în cazul
 $I_L > I_C$, adică $X_L < X_C$ expresia defaza-
jului rămâne tot:

$$\tan \phi = R \frac{X_L - X_C}{X_L X_C}$$

3) $I_C = I_L$ sau: se vede că $I = I_R$. Aceasta



$$\frac{U}{X_C} = \frac{U}{X_L} \quad \text{sau} \quad \frac{1}{X_C} = \frac{1}{X_L} \quad \text{dă naștere în} \quad Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X} - \frac{1}{X} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2}}} = R$$

În acest caz frecvența c.a. realizează
rezonanță în circuit.

Obavni din expresia $Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + (\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C})^2}}$

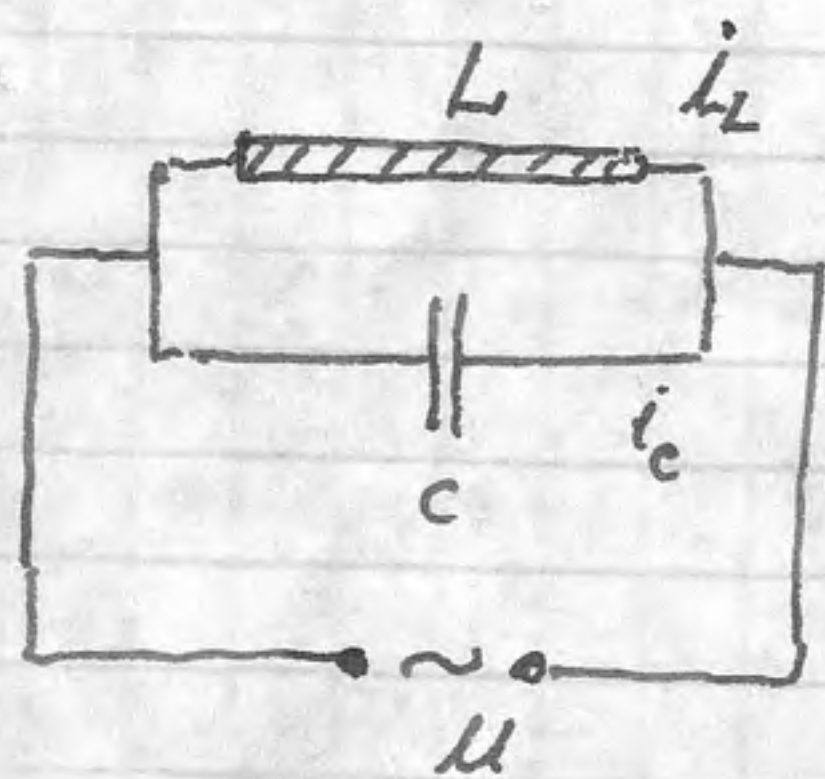
Că rezonanță: $X_L = X_C$ corespunde valori maxime a lui Z . Din legea lui Ohm:

$$I = \frac{U}{Z}$$

la Z maxim, corespunde I minim:

$$I = \frac{U}{R} \text{ deoarece } Z = R.$$

În cazul particular cînd nu avem rezistență ($R = \infty$) în circuit înțelegem că intensitatea în circuit în condiții de rezonanță este nulă.



dacă $X_L = X_C$ atunci avem

$$i_L \neq 0; i_C \neq 0; i = 0$$

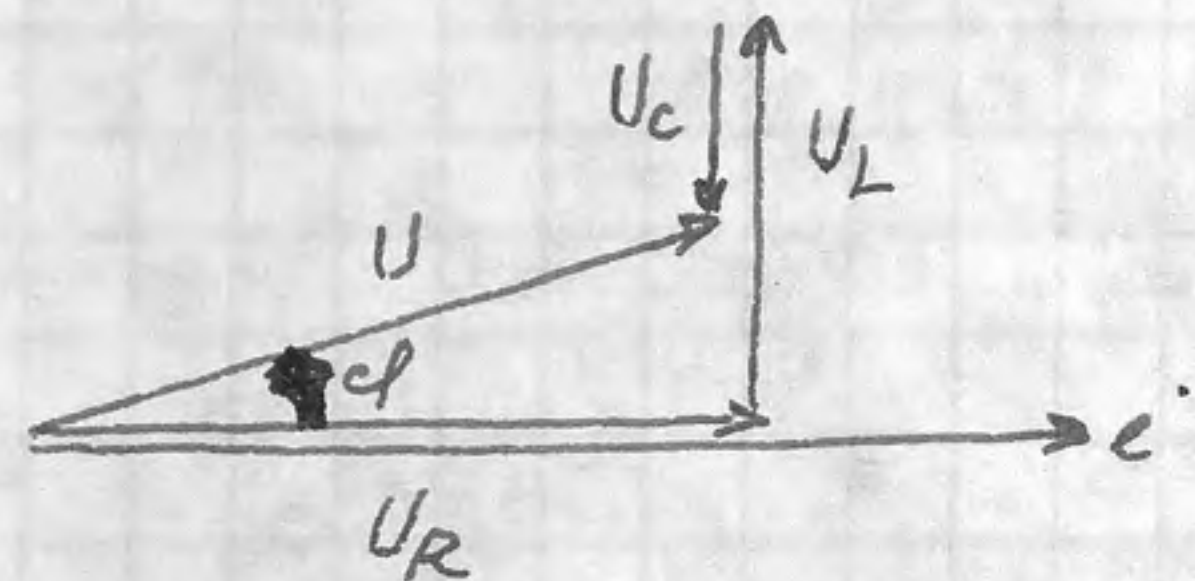
Puterea în curent alternativ

Folosim reprezentarea fazei. În curent continuu:

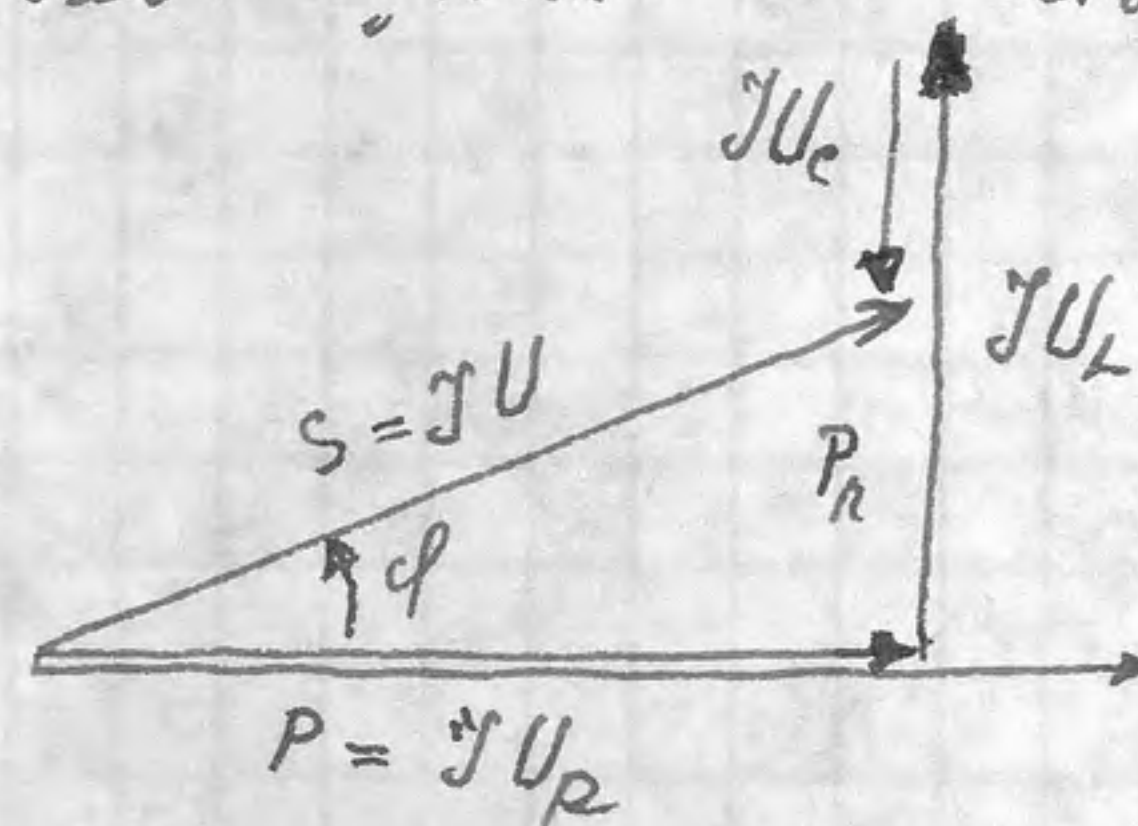
$$P = U \cdot I$$

se dă puterea circuitului. Cîm în circuitul

serie același I



Prin urmare fiecare componentă a circuitului, amplificăm cu I laturile triunghiului de mai sus. Obținem un triunghi asemenea cu



primul. Produsul dintre intensități și tensiuni reprezintă puteri:

1) $P = IU_R$ puterea activă - se măsoară în W.

2) $P_R = I(U_L - U_C)$ puterea reactivă - se măsoară în VAR (volt-ampere-reactiv)

3) $S = IU$ putere aparentă - se măsoară în VA (volt-ampere).

Din triunghiul puterilor:

$$P = IU \cos \phi \quad P_R = IU \sin \phi$$

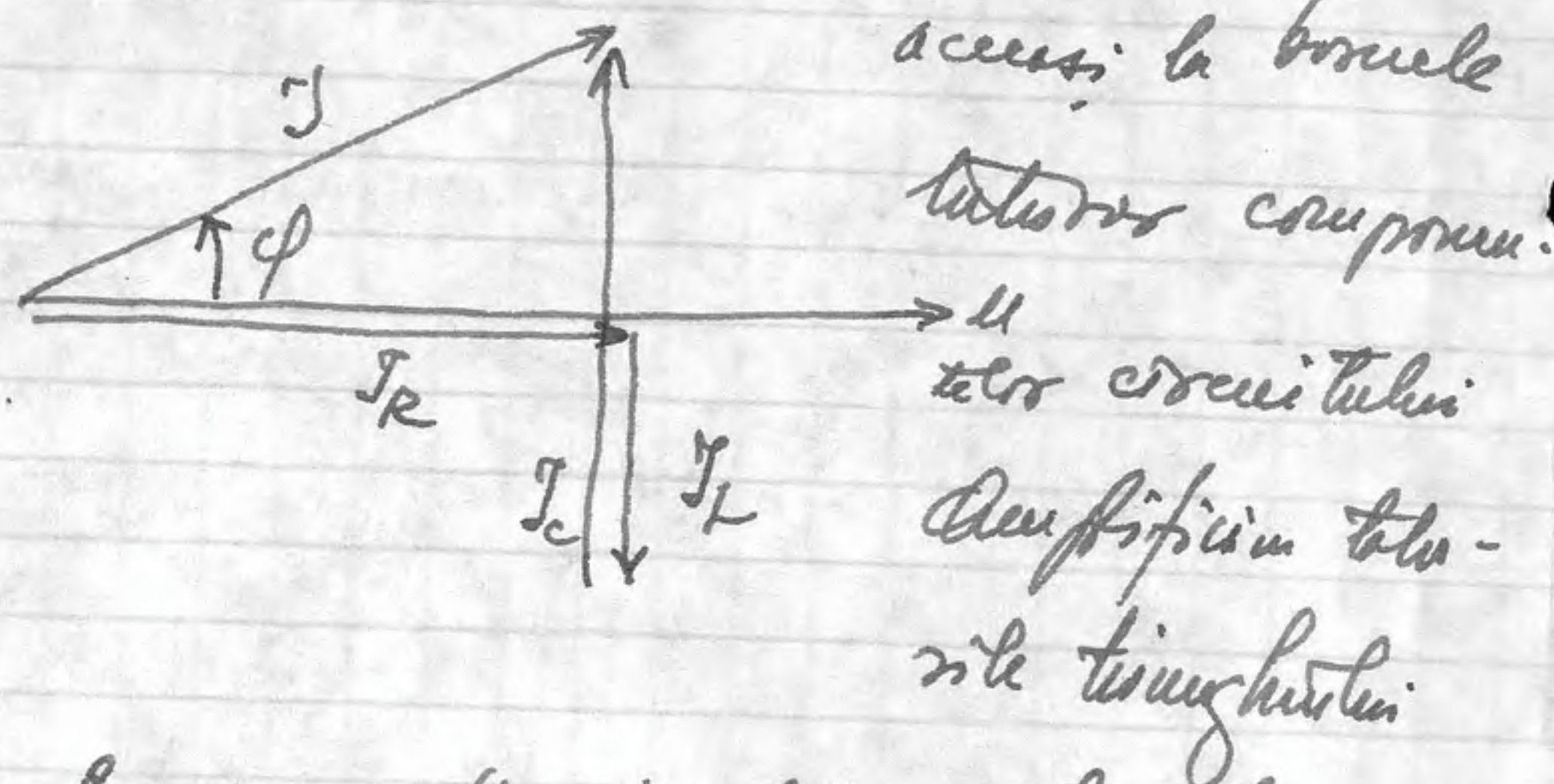
$\cos \phi$ se numește factor de putere.

funt valabile la cccuitul serie:

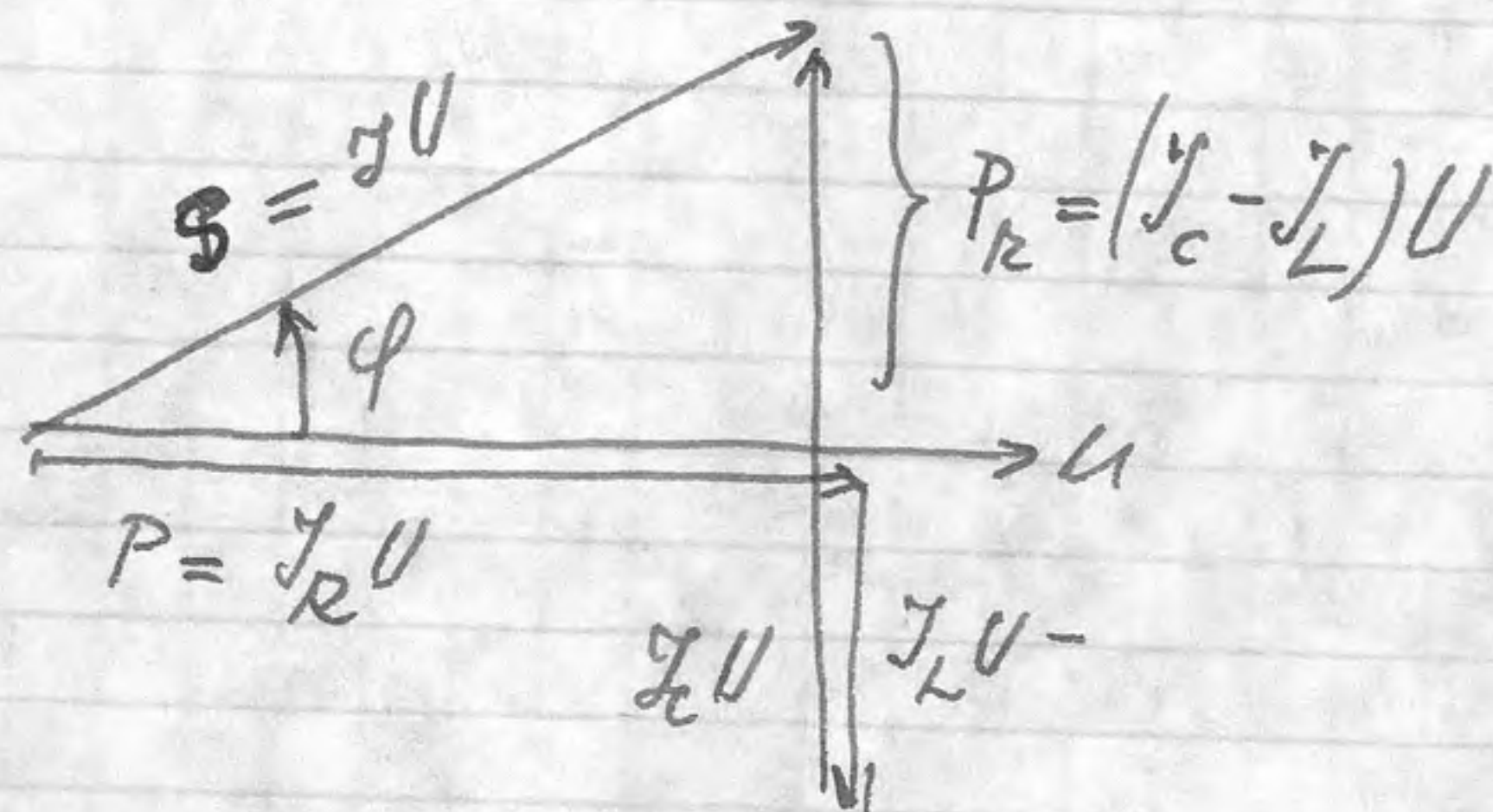
$$P = J^2 R ; P_L = J^2 X_L ; P_C = J^2 X_C$$

$$P_R = J^2 (X_L - X_C)$$

la cccuitul paralel tensiunea este



cu lentinara U și obținem triunghiul puterilor:



$$P = JU \cos \phi$$

$$P_R = JU \sin \phi$$

$$S = JU$$

observ că obținem același

formule ca la cccuitul

serie. Avem și:

$$P = J_R^2 R ; P_L = J_L^2 X_L ; P_C = J_C^2 X_C$$

2.1 SISTEM TERMODINAMIC

(A)

1. Definiția sistemului termodinamic.

2. Mediul exterior.

2. Forme de interacțiune între sistem și exterior, obiect de studiu al termodinamicii.

3. Exemple de sisteme termodinamice

5. Sisteme izolate - idealizate.

6. Sistem neizolat.

7. Sistem termodinamic închis. (schimb energie fără schimb de masă)

8. Sistem termodinamic deschis. (are loc schimb energie și de masă)

9. Starea sistemului termodinamic.

10. Parametri de stare.

11. Parametri independenți și dependenți. $f = \frac{m}{V}$

12. Starea de echilibru termodinamic.

13. Stările de echilibru și transformările lor, obiect de studiu al termodinamicii.

14. Starea de neechilibru

15. Principiul echilibrului termodinamic de a intra în stări de echilibru.

16. Posibilitatea reprezentării grafice a stărilor de echilibru. Coordonate Clapeyron.

13. 17. Transformare sau proces.

14. 18. Transformarea crasistatică.

19. Reprezentarea grafică a transformărilor crasistatice.

20. Procesele naturale nu sunt crasistatice.

21. Cum se realizează un proces crasistatic.

22. Exemple de procese crasistatice: comprimarea unui gaz într-un cilindru cu piston;

23. Întinderea sau comprimarea unui resort: proces crasistatic ~~proces crasistatic~~.

15. 24. Proces necrasistatic, exemplu cu defor-

25. marea unui resort. Imposibilitatea reprezentării grafice a procesului necrasistatic.

26. Deformarea necrasistatică a resortului.

17. 27. Transformare ciclică. Graficul ei.

18. 28. Transformare reversibilă.

29. Transformările reversibile sunt obligatoriu și crasistatice.

30. Exemple de transformări inversibile: piston blocat într-un cilindru, un compartiment aer, în altul vid. În deblocare ce fel de proces are loc pentru aer?

19. 31. Transformări inversibile. Definiție.

32. Transformările necrasistatice sunt inversibile.

33. Procesele din natură sunt inversibile.

- 1) Sistemul termodinamic este un sistem fizic format dintr-un număr foarte mare, dar limitat, de particule materiale aflate în mișcare spontană, haotică și permanentă (termică), delimitat de frontiere naturale, sau artificiale.
- 2) Mediu exterior este tot ce nu se află în sistemul termodinamic.
- 3) Parametrii termodinamici sunt acele proprietăți ale sistemului termodinamic care caracterizează sistemul (presiunea, volumul, temperatura...).
- 4) Parametrii externi sunt acei care depind de sistem și sunt specifici sistemului în ansamblul său, și se referă la proprietățile corpurilor exterioare față de sistem (volumul, etc.).
- 5) Parametrii interni sunt acei care depind doar de proprietățile și pozițiile moleculelor sistemului (presiunea, temperatura, ...).
- 6) Parametrii intrinseci sunt cei care sunt

funcție de punctul din sistem în care sunt măsurați (presiune, temperatură...)

4) Parametrii extensivi sunt aceia care privesc sistemul în ansamblul său, redefinind de noi anumit punct sau zonă din sistem (volum)

8) Parametrii independenți sunt aceia care nu pot fi deduși pe baza altor parametri.

Starea sistemului la un anumit moment este univ. 10) Trecerea valorilor parametrilor independenți la un alt moment.

1) Parametrii dependenți pot fi deduși pe baza altor parametri.

11) Starea staționară a sistemului termodinamic

este realizată când nici un parametru nu variază în timpul respectiv.

12) Starea de echilibru termodinamic este o

stare staționară în care parametrii nu variază nici în spațiu (parametrii intensivi au valoarea constantă indiferent de locul din sistem în care sunt măsurați).

13) Sistemul termodinamic suferă o transformare sau un proces atunci când parametrii săi nu sunt constanți în timp.

Procesul este cunoscut dacă se cunoaște parametrul ^{sistemului} în fiecare moment al transformării ce se produce.

14) Procesul este de echilibru sau quasistatic dacă fiecare stare intermediară între cea inițială și finală este o stare de echilibru (parametrii variază foarte lent).

Procesul este explicat 10H

15) Procesul este de neechilibru sau nestatic dacă nu este de echilibru (cel puțin un parametru variază în timp sau spațiu).

Aceste procese nu pot fi cunoscute, reprezentând doar stări intermediare.

Numai procesele de echilibru pot fi reprezentate grafic, deoarece numai la ele

pot fi cunoscute parametrii în orice moment. Coordonate Clapeyron: (p, V) . Mai folosim (p, T) , (T, V) .

10H

16) Procese închise sunt acelea în care starea inițială și cea finală a sistemului sunt diferite.

17) Procese închise sau ciclice sunt cele la care stările inițiale și finale coincid.

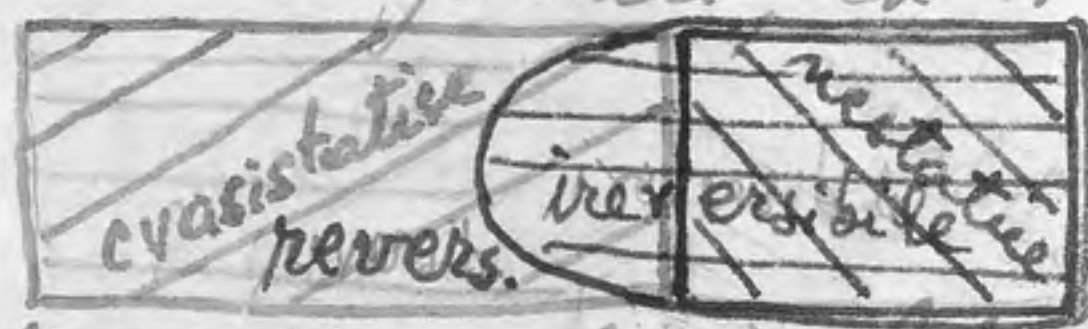
18) Un proces este reversibil, dacă poate

fi parcurs și în sens invers, exact prin aceleași stări intermediare, fără a se produce, în final, modificări în mediul exterior (modificarea stării termodinamice a mediului exterior).
 Reversibile pot fi deci numai procesele, crasistatice, numai la ele cuorciind toate stările intermediare.
 Ex: Reversibile sunt procesele mecanice fără pr-

sări ~~Prin procesele crasistatice~~.

19) Procese ireversibile sunt acelea în care sistemul nu poate fi readus în starea inițială ~~recunoscând stările intermediare~~ fără a se produce modificări în starea termodinamică a mediului exterior.

Ex: Schimbul de căldură este un proces ireversibil, procesele mecanice cu frecări ca și toate procesele nestatice.



20) Sistemul termodinamic este izolat dacă nu interacționează cu mediul exterior.

21) Prinul postulat al termodinamicii (formulat de Boltzmann): Dacă scoțăm un sistem termodinamic din starea de echilibru și îl izolăm de exterior, el revine totdeauna, spontan, într-o stare de echilibru.

și nu poate ieși din această stare fără acțiunea unor ^{cauze} (forte) exterioare.

22) Procesul de relaxare este tocmai acela de revenire a sistemului la o stare de echilibru.
 23) Durata sa este timpul de relaxare.

24) Prin fluctuații înțelegem abaterea spontană a sistemului de la starea de echilibru. Ele sunt cu atât mai mici cu cât sistemul are mai multe particule. În cazul sistemelor termodinamice fluctuațiile sunt neglijabile, datorită existenței unui număr enorm de particule.

Sistemele fizice în care fluctuațiile au rol esențial sunt studiate în fizica statistică.

24. Noțiunea de contact are sensul de legătură, interacțiune.

25) Contact termic este acea legătură dintre două sisteme termodinamice în care acestea ^{au schimb și procesele} schimbă energie fără ~~ca~~ ^{ca} ~~modificarea~~ ^{modificarea} ~~unui~~ ^{unui} parametru exterior (schimb de lucru mecanic). Contactul termic nu-l însoțește ^{nu-l exclude} ~~unul~~ ^{unul} ~~efectuat~~ ^{efectuat} ~~lucru mecanic~~ ^{lucru mecanic} ~~asupra~~ ^{asupra} celuilalt.

sisteme termodinamice este tranzitiv: Dacă sistemul A este la echilibru cu B, și B este la echilibru cu C, atunci A este la echilibru cu C.

Această proprietate se verifică experimental,

dar nu este la baza măsurării temperaturii.

de aceea ea trebuie aducisă ca un postulat sau principiu. El a fost numit și principiul zero al termodinamicii sau al doilea principiu al termodinamicii.

Se presupune existența unui sau mai multor parametri

de stare pentru sistemele termodinamice

³⁰⁾ Din cele două postulate anterioare, (a echilibrului termic și a tranzitivității) (și

adesea, tranzitivitatea echilibrului termic su-

gereză că toate sistemele la echilibru ter-

mic posedă o proprietate comună, în a-

ceastă calitate, care asigură acest echi-

libru. Numim această proprietate tempera-

tura și o notăm cu T . ³¹⁾ Pentru sistemele (1)

și (2) aflate la echilibru termic este pro-

pă aducem $T_1 = T_2$, iar dacă siste-

mele nu se află la echilibru termic, $T_1 \neq T_2$.

Dacă puse în contact termic, sistemul (1) cedează energie sistemului (2), vom aduce că deducem existența temperaturii ca parametru de stare al sistemelor termodinamice. Acesta este al doilea postulat al termodinamicii.

Temperatura este singurul parametru în plus, necesar pe lângă parametrii externi, pentru determinarea stării de echilibru termodinamic al sistemului (după cum se poate deduce din principiul de zero).

Altă formulare a postulatului al doilea al termodinamicii: În starea de echilibru termodinamic toți parametrii interni ai unui sistem sunt funcție de parametrii externi și de temperatură.

Menținând constant parametrii externi, cei interni vor depinde numai de temperatură. ^{și invers} De această proprietate se bazează construcția termometrelor.

3.03.1985

2.2. LUCRUL MECANIC ÎN TERMODINAMICĂ (A)

1. Efectele interacțiunii dintre un sistem termodinamic și mediul exterior constă în acțiunea unor forțe (deplasarea pistonului în camera, fără ieșirea din starea de echilibru termodinamic; ieșirea pistonului din starea de echilibru termodinamic).
2. Schimbul de energie între sistemul termodinamic și exterior sub forma schimbului de lucru mecanic, măsură a acestui schimb de energie.

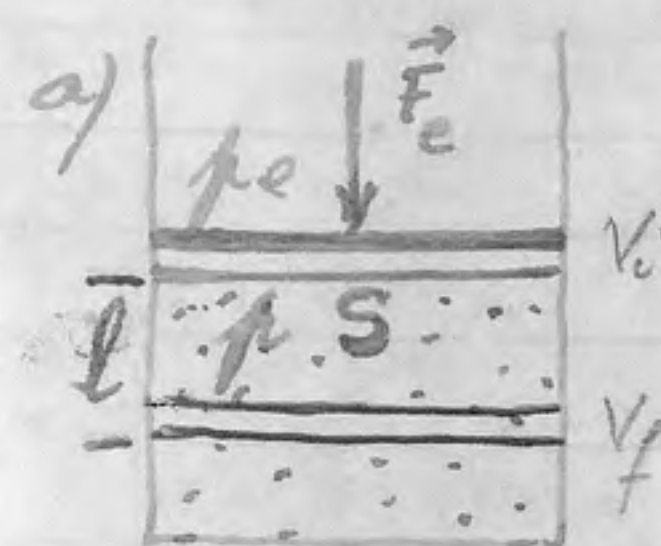
$$\text{Dacă } \vec{F} = \text{const} \quad L = F \ell \cos \alpha.$$

3. Care din cele două forme ale schimbului de energie ^{sub forma de lucru mecanic} între sistem și exterior interesează termodinamica și care interesează mecanica.
4. Parametrii de poziție ai sistemului (sunt cei care depind de deplasările acestuia. Variația lor indică deplasarea punctelor de aplicatie ale forțelor de

2.3 LUCRU MECANIC ÎN TRANSFORMAREA IZOBARĂ

CVASISTATICĂ (A)

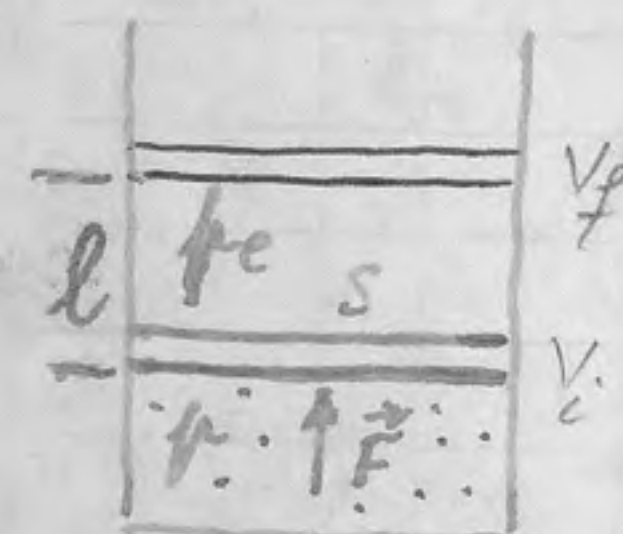
1. Cum se poate realiza o transformare izobară
cu cvasistatică: a) ^{Comprimarea.} Forță exterioară $\vec{F}_e$ constantă



deplasați pistonul comprimând
gazul din corpul de pompă,
gazul răcindu-se simultan

astfel încât presiunea din interior $p = \frac{F_e}{S}$
să rămână constantă. Evident presiunea ex-
terioară pe corinzi de numerie cu p . Depresa-
rea pistonului trebuie să aibă loc atât de lent
încât fiecare stare intermediară a gazului
să fie de echilibru.

b)



^{Destinderea.} Forță interioară $\vec{F}_i$ cons-
tantă deplasează pistonul,
gazul se destinde, încălzindu-
se în mod corespunzător.

tot, încât presiunea interioară p să fie constantă
(la fel ca exterioară p_e). $p = \frac{F_i}{S}$.
Depresarea pistonului trebuie făcută foarte lent.

2. Lucrul mecanic la comprimarea izobară crasistetică, făcut de forța exterioară $\vec{F}_e$.

$$L_e = F_e \cdot \Delta l = p_e \cdot S \Delta l = -p_e \Delta V = -p_e (V_f - V_i)$$

$$|L_e| = -p_e (V_f - V_i) \text{ sau } |L_e| = -p_e \Delta V$$

Cum $V_f < V_i$ observăm că $L_e > 0$

3. Lucrul mecanic la dilatarea izobară crasistetică, făcut de forța interioară $\vec{F}$.

$$L = F \cdot \Delta l = p \cdot S \Delta l = p \cdot \Delta V$$

$$|L| = p \cdot \Delta V \text{ sau } |L| = p_e \Delta V$$

Cum $V_f > V_i$ avem $L > 0$.

Observăm $L_e = -L$

4. Lucrul mecanic al forțelor interioare sistemului la transformarea izobară crasistetică:

Dilatare: $L = p \cdot \Delta V$

Comprimare: $L = -L_e = -(-p_e \Delta V) = p \cdot \Delta V$

Așadar, în ambele cazuri

$$L = p \cdot \Delta V$$

cu observația $L > 0$ la dilatare și $L < 0$ la comprimare.

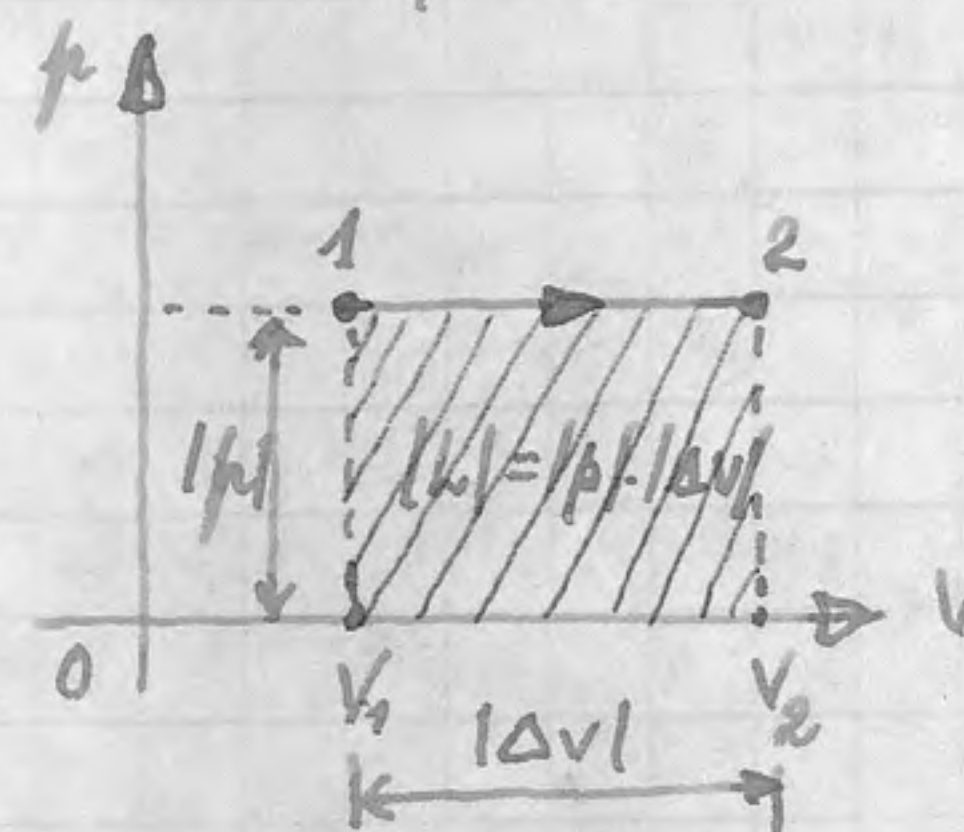
2.4. INTERPRETAREA GEOMETRICĂ A LUCRULUI MECANIC. EFECTUAT DE FORȚELE DE PRESIUNE INTERNĂ

A

1. Destinderea izobară crasistetică.

$$L = p \cdot \Delta V > 0$$

$$|L| = |p| \cdot |\Delta V|$$



Aria dreptunghiului

hăsurat este un număr

pozitiv ce coincide cu $|L|$.

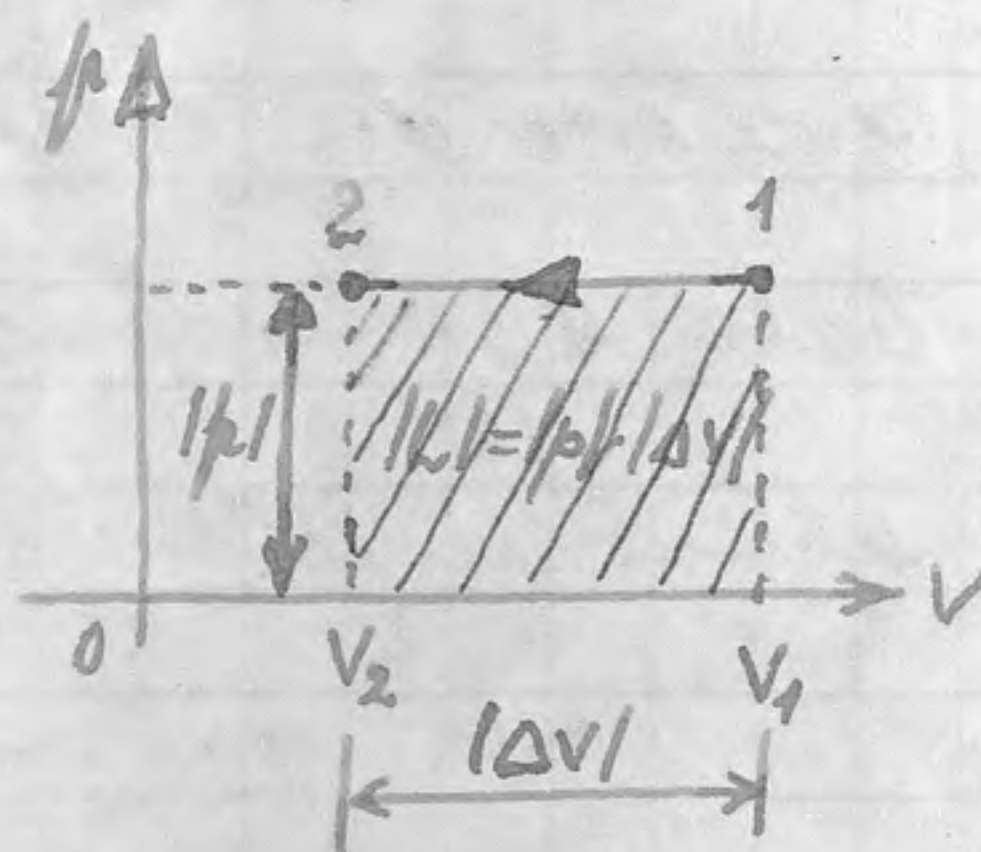
$$|L| = + \text{aria}(1, 2, V_2, V_1)$$

$$L = +|L| = + \text{aria}(1, 2, V_2, V_1)$$

2. Comprimarea izobară crasistetică.

$$L = p \cdot \Delta V < 0$$

$$|L| = |p| \cdot |\Delta V|$$

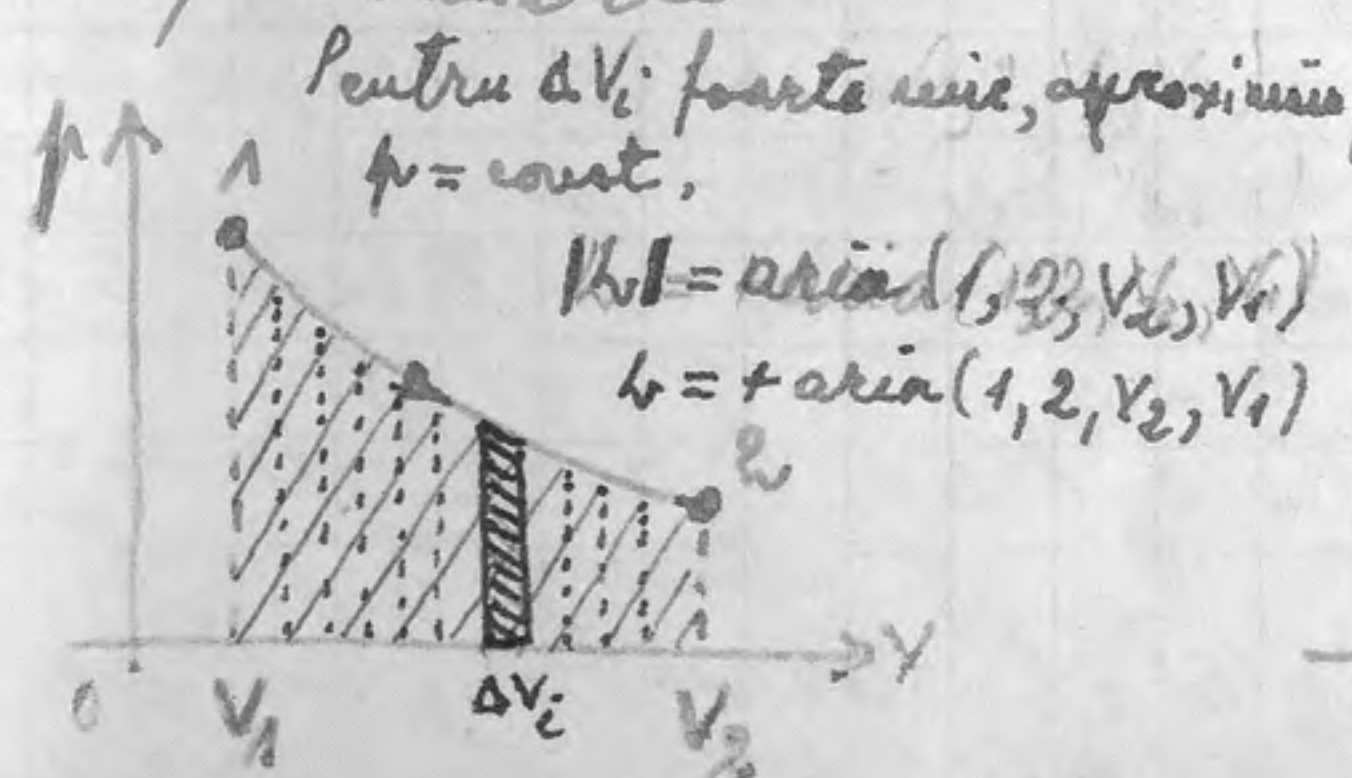


$$|L| = \text{aria}(1, 2, V_2, V_1)$$

$$L = -|L| = - \text{aria}(1, 2, V_2, V_1)$$

3. Transformarea crasistetică oarecare:

a) destindere



Pentru ΔV foarte mic, aproximativ $p = \text{const.}$

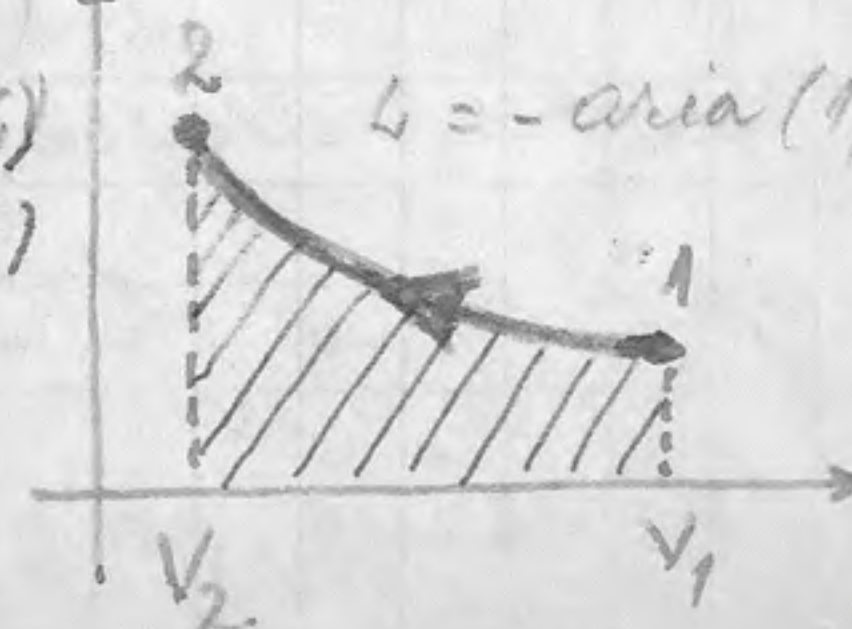
$$|L| = \text{aria}(1, 2, V_2, V_1)$$

$$L = + \text{aria}(1, 2, V_2, V_1)$$

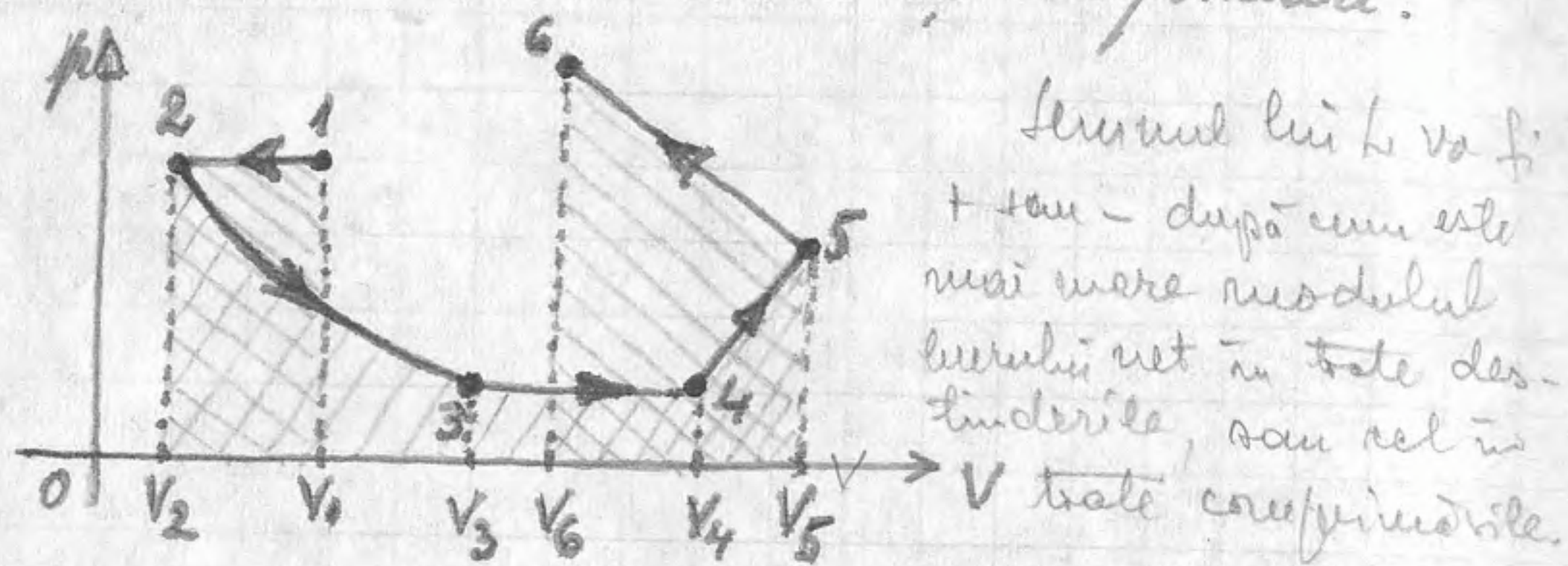
b) comprimare

$$|L| = \text{aria}(1, 2, V_2, V_1)$$

$$L = - \text{aria}(1, 2, V_2, V_1)$$

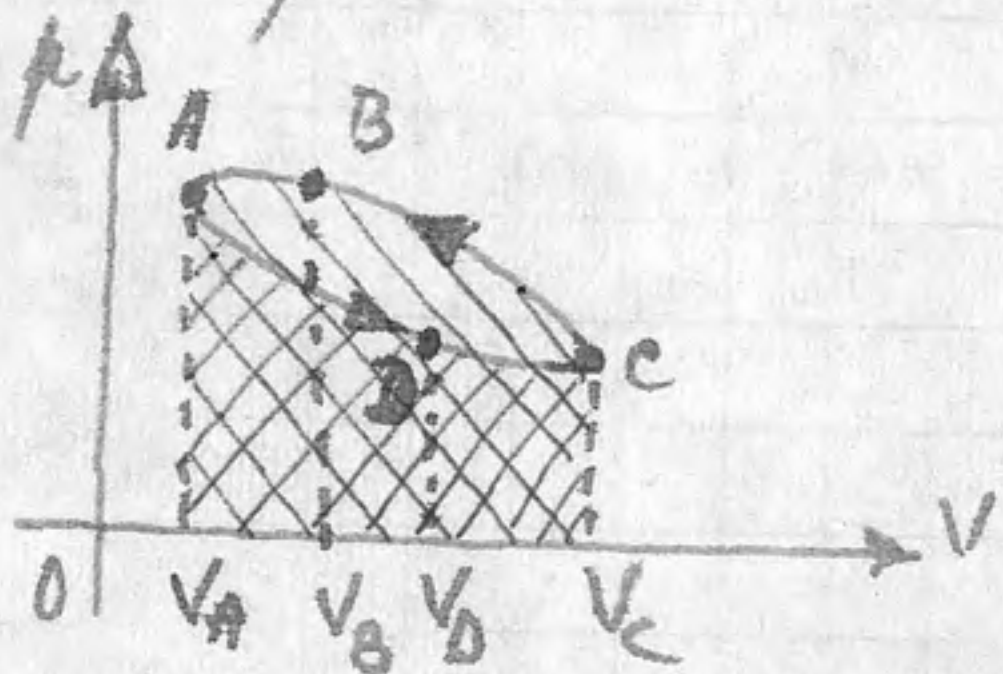


- 20
4. Transformarea coasistatică compusă dintr-o succesiune de destinderi și comprimări.



$$L_{1,6} = -\text{aria}(1,2,V_2,V_1) + \text{aria}(2,3,V_3,V_2) + \\ + \text{aria}(3,4,V_4,V_3) + \text{aria}(4,5,V_5,V_4) - \\ - \text{aria}(5,6,V_6,V_5)$$

5. Transformarea coasistatică ciclică în care revenirea la starea inițială, CBA, se face prin alte stări intermediare decât la transformarea directă ADC.



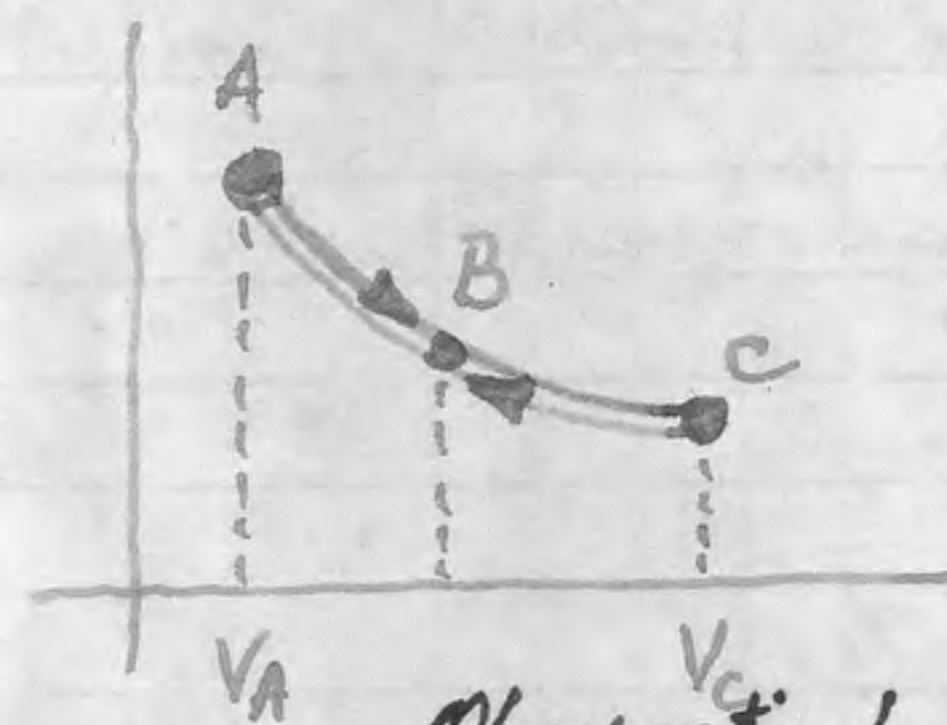
$$L_{ADCBA} = L_{ADC} + L_{CBA} \\ L_{ADCBA} = +\text{aria}(ADC,V_C,V_A) - \text{aria}(ABC,V_C,V_A); \\ L_{ADCBA} = -\text{aria}(ADCBA)$$

Deci lucrul mecanic depinde de stările intermediare.

6. Cum se atasează semnul la aria ciclului spre a se obține lucrul mecanic efectuat de sistem pe ciclul respectiv?

- 21-
7. Dependența dintre semnul lucrului mecanic al forțelor de presiune din sistem și faptul dacă sistemul face lucru asupra exteriorului, sau invers.

8. Lucrul în transformarea coasistatică ciclică când revenirea la starea inițială se face prin același stări intermediare ca și în transformarea directă:



$$L_{ABCBA} = +\text{aria}(ABC,V_C,V_A) - \\ - \text{aria}(CBA,V_A,V_C)$$

$$L_{ABCBA} = 0$$

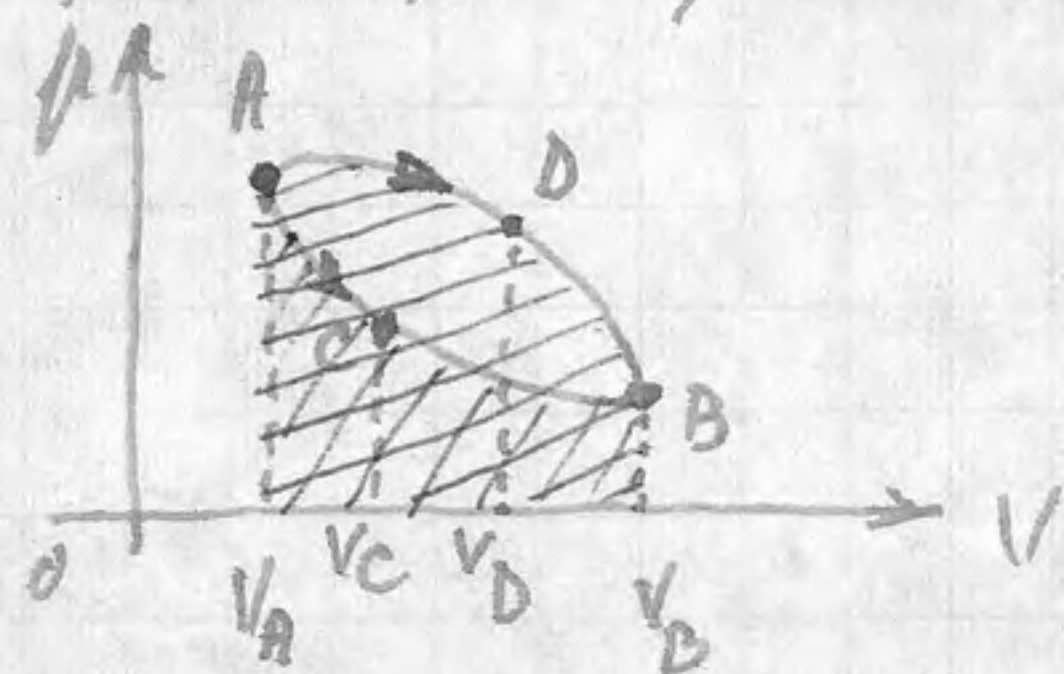
Observație: $L_{ABC} = -L_{CBA}$

9. Verificarea concluziei anterioare în cazul transformărilor ciclice coasistatice constând din:

- a) destinderea și comprimarea coasistatică a unui gaz;
b) destinderea și comprimarea coasistatică a unui resort elastic.

10. Lucrul mecanic în Transformarea coasistatică

tatică depinde nu numai de stările inițiale și finale, ci și de stările intermediare.



$$L_{ACB} = + \text{aria}(ACBV_BV_A)$$

$$L_{ADB} = + \text{aria}(ADB V_B V_A)$$

$$L_{ADB} - L_{ACB} = \text{aria}(ACBDA) \neq 0$$

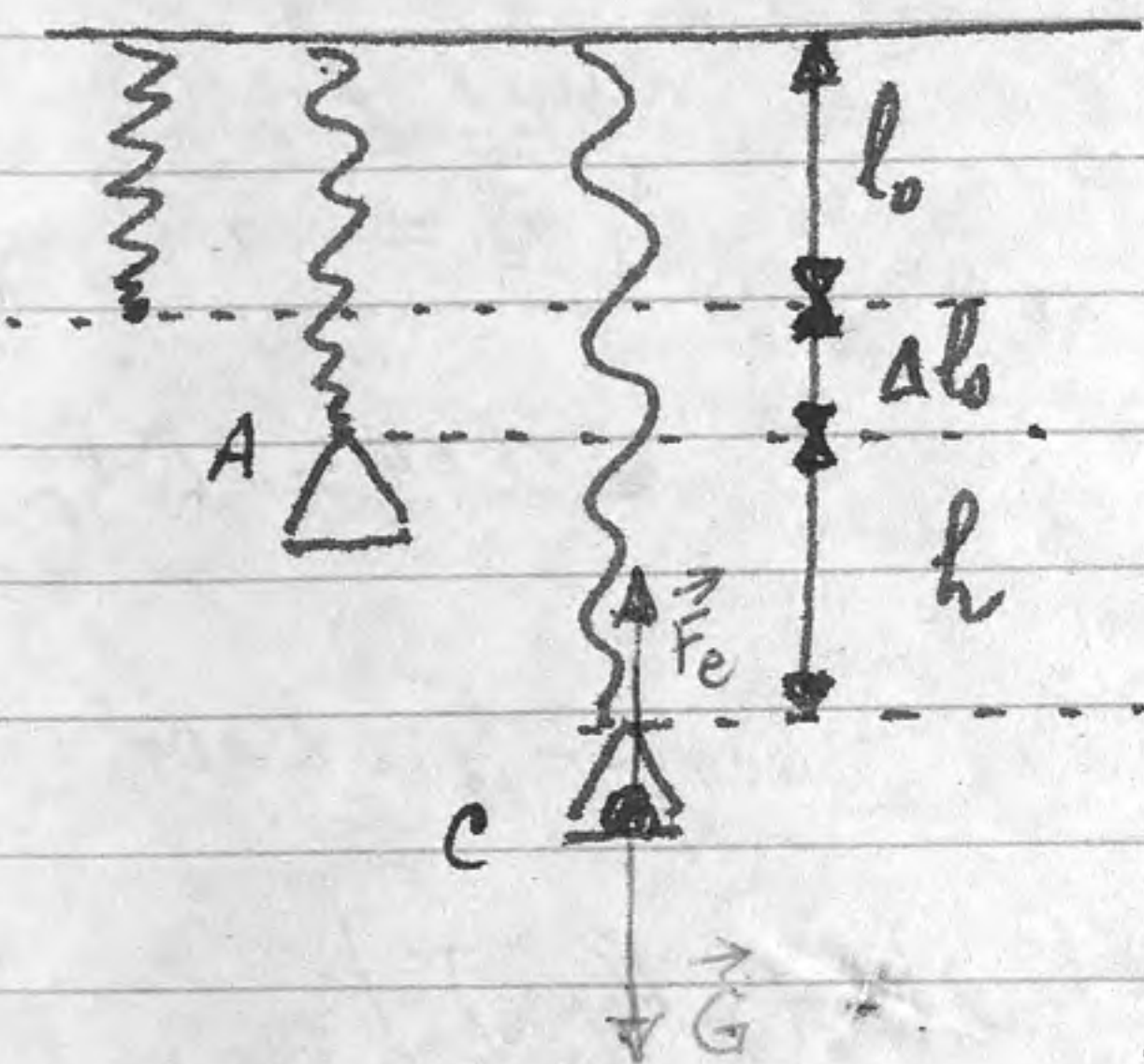
deci $L_{ADB} \neq L_{ACB}$

11. Dependența lucrului mecanic de caracterul procesului: reversibil sau ireversibil al transformării.

$$L_{ACA}^{\text{rev}} \neq L_{ACA}^{\text{rev}}$$

(Cazul resortului elastic).

25 Calculul lucrului mecanic la destrucerea consistenței a unui resort. (A)



- În fiecare moment forțe elastice $\vec{F}_e$ și forțe de greutate $\vec{G}$ pot fi:

$$\boxed{\vec{G} \approx -\vec{F}_e}$$

- Se vede că variația energiei potențiale la alungirea resortului de la Δx_0 este dată de

$$\Delta E_p = \frac{k}{2} (\Delta x^2 - \Delta x_0^2)$$

iar lucrul mecanic efectuat cu această ocazie de forțele elastice este:

$$L = -\Delta E_p.$$

- Astfel, lucrul mecanic efectuat de forțele elastice la alungirea resortului va fi:

$$L_{AC}^{\text{rev}} = -\frac{k}{2} [(\Delta l_0 + h)^2 - \Delta l_0^2] = -\frac{k}{2} (\Delta l_0^2 + h^2 + 2h\Delta l_0 - \Delta l_0^2)$$

$$L_{AC}^{\text{rev}} = -\frac{k}{2} (2h\Delta l_0 + h^2) = -kh \left(\Delta l_0 + \frac{h}{2} \right)$$

$$\boxed{L_{AC}^{\text{rev}} = -kh \left(\Delta l_0 + \frac{h}{2} \right)}$$

- Se vede că $L_{AC}^{\text{rev}} < 0$ deci la destrucerea resortului exteriorul face lucru mecanic asupra resortului.

2.6 Calculul lucrului mecanic la comprimarea crasistatică a resortului, efectuat de forțe elastice

= În mie uo.

avem:

$$\vec{F}_e = -\vec{G}$$

$$L_{CA} = -\Delta E_p$$

$$L_{CA} = -\frac{k}{2}(\Delta x^2 - \Delta x_0^2)$$

$$L_{CA} = -\frac{k}{2}[\Delta l_0^2 - (\Delta l_0 + h)^2] =$$

$$= -\frac{k}{2}(\Delta l_0^2 - \Delta l_0^2 - h^2 - 2h \cdot \Delta l_0) = -\frac{k}{2}(-h^2 - 2h \cdot \Delta l_0)$$

$$L_{CA} = kh \left(\Delta l_0 \cdot h + \frac{h}{2} \right)$$

= Se vede că la comprimarea crasistatică a resortului

$$L_{CA} > 0 \text{ și } L_{CA} = -L_{AC}$$

adică resortul face lucru mecanic asupra extensiei, unuierii aceluși ca la destindere.

= Observăm că revenirea la starea inițială $C \rightarrow A$ se face prin aceleași stări intermediare. Iar și procesul direct $A \rightarrow C$. Avem:

$$L_{AC} = -L_{CA}$$

= Pentru transformarea ciclică reversibilă sau revenirea prin aceleași stări: $L_{ACA} = L_{AC} + L_{CA} = 0$

2.7 Lucrul mecanic la destinderea necrasistatică a resortului. (A)

= Evident, transformarea este ireversibilă (de ce?).

= Destinderea producându-se brusc, pe totă durata ei forța deformație $\vec{G}$ (grava-tă-tă-lui de pe taler) este constantă, lucru mecanic al ei fiind:

$$L_{AC}^* = G \cdot h = mgh + Mgh$$

$$L_{AC}^* = (M+m)gh$$

unde M este masa talerului și m a resortului așezat tot odată.

$$\text{Avem } L_{AC}^* > 0$$

deci (L_{AC}) făcut de forțele elastice în procesul destinderii va fi de semn -

$$L_{AC} < 0$$

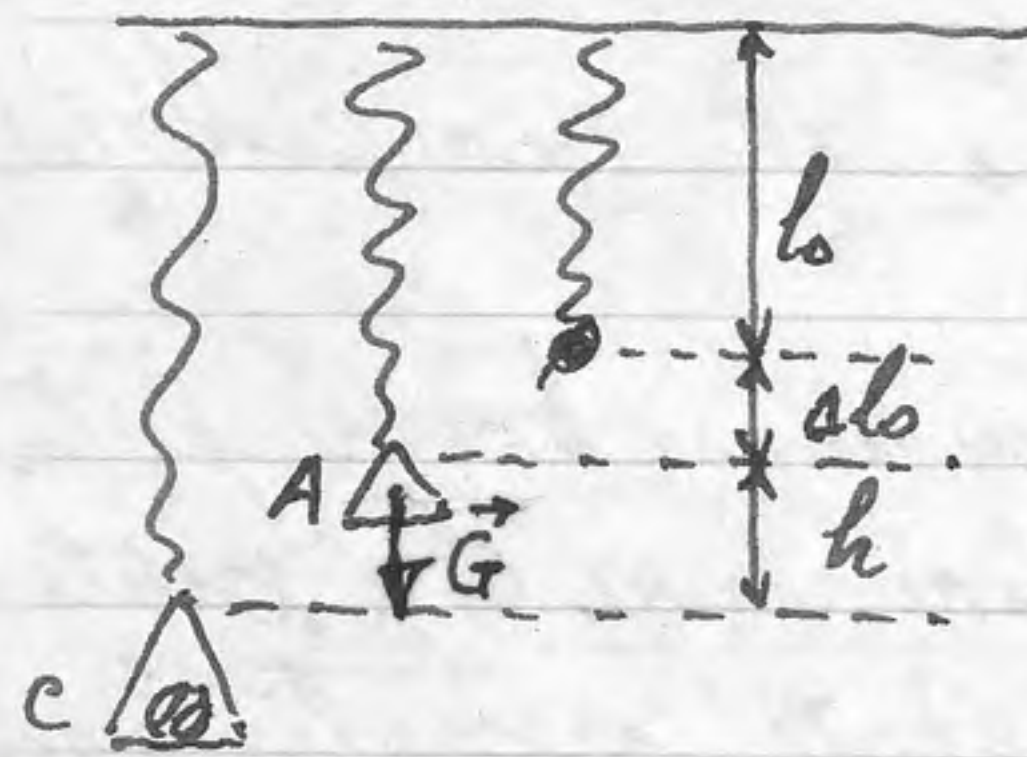
adică în procesul destinderii exteriorul face lucru mecanic asupra resortului.

$$L_{AC} = -L_{AC}^* \text{ sau } L_{AC} = -(M+m)gh$$

= Anterior s-a stabilit:

$$L_{AC} = -kh \left(\Delta l_0 \cdot h + \frac{h}{2} \right) \text{ deci } L_{AC} \neq L_{AC}^*$$

2.8 Lucrul mecanic la comprimarea mecanică a unui resort, efectuat de forțele elastice



Tabelul are masa M .
Nisipul are masa m .
Se înălțură brusc nisipul.
Sistemul trece din starea C în starea A , în mod brusc.

Gravitatea tabelului

$G = Mg$ își deplasează punctul de aplicatie pe distanța h , efectuându-se lucrul mecanic împotriva forței de gravitate:

$$L_{CA}^{**} = -Mgh$$

Acest lucru mecanic este datorat forței elastice a resortului. Lucrul forței elastice va fi:

$$L_{CA}^{**} = -L_{CA}^{**} = -(-Mgh) = Mgh$$

$$\boxed{L_{CA}^{**} = Mgh} \text{ cu } L_{CA}^{**} > 0$$

2.9 Lucrul forței elastice a resortului la o transformare ciclică ireversibilă constând din dilatarea și comprimarea bruscă a acestuia

$$L_{CA}^{**} = L_{AC}^{**} + L_{CA}^{**} = -(M+m)gh + Mgh = -mgh$$

$$\boxed{L_{CA}^{**} = -mgh} \text{ deci } L_{CA}^{**} < 0, \text{ sistemul primește lucru mecanic din exterior.}$$

2.10 ENERGIA INTERNĂ

7.03.1985

(A)

1. Definiția energiei interne U a sistemului termodinamic.
2. Definiția energiei totale E_t a sistemului termodinamic.
3. Condițiile în care energia totală E_t a sistemului termodinamic se reduce la energia internă U .
4. Invarianța energiei interne U a sistemului termodinamic aflat în stare de echilibru termodinamic.
5. Energia internă U mărime de stare și nu de proces (dependență de stările inițiale și finale și independentă de stările intermediare).
6. Energia internă U , mărime aditivă (experimental se arată că energia unui sistem este suma energiilor părților componente).

2.11 LUCRUL MECANIC ȘI ENERGIA INTERNĂ ÎN

TRANSFORMĂRILE ADIABATICE

1. Definiția învelișului adiabatic al unui sistem termodinamic

(Un înveliș care separă un sistem termodinamic de mediul exterior se numește adiabatic dacă nu permite ieșirea sistemului din starea de echilibru termodinamic decât ca urmare a unui schimb de lucru mecanic între sistem și mediul exterior.)

Alfel spus, un înveliș care separă un sistem termodinamic de mediul exterior se numește adiabatic dacă nu permite schimbul de energie între sistem și exterior decât ca urmare a unui schimb de lucru mecanic între acestea.)

2. Definiția transformărilor adiabaticelor unui sistem termodinamic.

3. Aplicarea legii conservării energiei la procesul de schimb de energie are loc într-un înveliș adiabatic (în care sistemul fie că absoarbă, fie că cedează tot timpul energie):

$$|\Delta U_L| = |L| \quad (1^*)$$

unde $|\Delta U_L|$ și $|L|$ sînt, respectiv, valorile numerice ale energiei schimbate și ale lucrului mecanic schimbat adiabatic de sistem cu exteriorul.

(Din mecanică se știe că un sistem fizic care execută asupra altuia lucru mecanic de valoare $|L|$, îi transmite în acest proces energia $|\Delta E|$, valoarea lucrului mecanic efectuat putînd fi considerată măsura a energiei transmise:

$$|\Delta E| = |L|$$

Acastă relație este o formă a legii conservării energiei în procesele mecanice.

Extinzînd legea conservării energiei de la procesele mecanice la cele

termodinamice, valoarea $|\Delta U_L|$ a energiei
schimbate
transmise adiabatic între sistem și exterior
va fi egală cu valoarea lucrului mecanic
 $|L|$ schimbat în acest proces, adică

$$|\Delta U_L| = |L|$$

exprimă legea conservării energiei în procese
le termodinamice adiabatic.)

4. Convenție asupra semnului lui L :

Dacă lucrul este făcut de sistem: $L > 0$;

Dacă lucrul este făcut de exterior: $L < 0$.

5. Concordanță cu convenția generală asupra sem-
nului lucrului mecanic $\vec{F}$ (drept forțe vor
considera rezultanta forțelor interioare de presi-
une din sistem).

6. Scrierea relației (1*) sub forma

$$\Delta U_L = -L \quad (1)$$

fie că sistemul termodinamic cedează,

fie că primește energie în procesul adiabatic.

a) În cazul cedării: $\Delta U_L = U_f - U_i < 0$, deoarece $U_f < U_i$;
deci $|\Delta U_L| = -\Delta U_L$.
În acest caz sistemul face lucru asupra

exteriorului, deci $L > 0$, și avem $|L| = L$.

Relația $|\Delta U_L| = |L|$ devine $\boxed{\Delta U_L = -L}$

b) În cazul că sistemul primește energie, $U_f > U_i$;
deci $\Delta U_L = U_f - U_i > 0$. Atadar $|\Delta U_L| = \Delta U_L$

În acest caz exteriorul face lucru asupra
sistemului, deci $L < 0$, și $|L| = -L$.

Relația $|\Delta U_L| = |L|$ devine $\Delta U_L = -L$.

Atadar, în ambele situații posibile avem

$$\Delta U_L = -L$$

7. Dependența lucrului mecanic în trans-
formațiile adiabatic de stările inițiale și
finale a sistemului, și independența sa
de stările intermediare.

($L = -\Delta U_L$. Cum ΔU_L depinde doar
de U_f și U_i , urmează că și L depinde
numai de U_f și U_i , adică de stările inițiale
și finale, în acest tip de transformări)

? Observație: Lucrul mecanic, formă a schim-
bării de energie prin mișcarea ordonată

SCHIMBUL DE ENERGIE ÎNTRE SISTEMUL TERMODINAMIC
ȘI EXTERIOR ÎN PROCESELE ÎN CARE ACEST SCHIMB NU
SE DATOREAȚĂ UNUI SCHIMB DE LUCRU MECANIC.

ARE LOC ÎNTR-UN SINGUR SENS.

1. Definiția contactului termic (este acea legătură între un sistem termodinamic și exterior care permite schimbul de energie fără ca acest schimb să se datoreze unui schimb de lucru mecanic)
2. Definiția căldurii, ^{simbol Q} ca formă a schimbului de energie. (Numim căldură energia schimbată de un sistem termodinamic și exterior, ^{în care schimbul are loc într-un singur sens} fără ca acest schimb să se datoreze efectuării de lucru mecanic, ci contactului termic).

Notăm $|\Delta U_Q|$ valoarea energiei schimbate de sistem cu exteriorul într-un proces, în care schimbul are loc într-un singur sens, fără ca schimbul să se datoreze efectuării de lucru mecanic, ci contactului termic, definiția se scrie:

$$|\Delta U_Q| = |Q| \quad (2^*)$$

3. Unitatea de măsură în SI pentru căldură (este, ca și pentru energie:

$$[Q]_{SI} = 1 \text{ J.}$$

4. Convenția de semn pentru Q :

($Q > 0$ când sistemul primește energie
 $Q < 0$ când sistemul cedează energie)

5. Scrierea relației (2*) sub forma

$$\Delta U_Q = Q \quad (2)$$

indiferent dacă sistemul primește sau cedează energie.

a) Dacă sistemul primește energie, $\Delta U_Q = U_f - U_i > 0$

deoarece $U_f > U_i$. Atunci $|\Delta U_Q| = \Delta U_Q$ și $Q > 0$,
 Deci $|Q| = Q$. Relația $|\Delta U_Q| = |Q|$ devine $\Delta U_Q = Q$.

b) Dacă sistemul cedează energie, $\Delta U_Q = U_f - U_i < 0$,

deoarece $U_f < U_i$. Atunci $|\Delta U_Q| = -\Delta U_Q$. Cum

în acest caz $Q < 0$, avem $|Q| = -Q$. Astfel,

relația $|\Delta U_Q| = |Q|$ devine în acest caz

$$-\Delta U_Q = -Q, \text{ adică } \Delta U_Q = Q.$$

Asadar, în ambele situații posibile,
 relația (2*) se scrie sub forma (2):

$$\Delta U_Q = Q \quad \text{mușcare de coordonată.}$$

Obs. Căldura fiind o schimbare de energie prin

2.3 LUCRUL MECANIC, ENERGIA INTERNĂ ȘI CĂLDURA

ÎN PROCESELE TERMODINAMICE

(A)

PRINCIPIUL I AL TERMODINAMICII: ÎN PROCESELE ÎN CARE SCHIMBUL DE LUCRU MECANIC ȘI CĂLDURĂ ARE LOC, FIECARE ÎNTR-UN SINGUR SENS.

1. Formele schimbării de energie între un sistem termodinamic și mediul exterior, într-un proces

oarecare în care schimbul de lucru mecanic și de căldură pot avea loc, fiecare, într-un singur sens.

(a) Sub forma schimbului de lucru mecanic L , care determină schimbul de energie ΔU_L ;

b) sub forma schimbului de căldură Q , adică a unui schimb de energie ΔU_Q care nu se datorează unui schimb de lucru mecanic.)

2. Expresia legii conservării energiei în procesele termodinamice oarecare în care schimbul de lucru mecanic și de căldură are loc, fiecare, într-un singur sens: $\Delta U = \Delta U_Q + \Delta U_L \quad (3^*)$

3. Primul principiu al termodinamicii: în procesele în care schimbul de căldură și de lucru mecanic are loc, fiecare, într-un singur sens:

$$\Delta U = Q - L \quad (3)$$

(obținută din (3*) cu ajutorul relațiilor

(1) și (2) și care nu reprezintă altceva decât o anumită formă de scriere a legii conservării energiei în procesele termodinamice oarecare.)

4. (Lucrul mecanic L din relația (3) de mai sus nu mai este într-o transformare adiabatică, deci el va depinde și de stările intermediare, nu doar de cea inițială și finală așa cum s-a arătat despre lucrul mecanic într-o transformare adiabatică)

Dependența căldurii:

$$Q = \Delta U + L$$

schimbate de sistem într-o transformare oarecare, de stările inițială și finală, de stările intermediare, și de tipul transformării (notată cu L). explicații:

5. Lucrul mecanic și căldura au fost mărimi de stare, și de proces. Ele nu sînt forme de energie, ci forme ale schimbului de energie.

6. Forma primei principii al termodinamicii în transformările ciclice:

$$Q = L \quad (4)$$

(În adevăr, starea inițială fiind aceeași cu cea finală, $U_i = U_f$ și $\Delta U = U_f - U_i = 0$. Înlocuind în (3) ΔU cu 0 obținem pe (4).)

7. Într-un proces ciclic nu este posibil ca sistemul să primească, sau să cedeze simultan și lucru mecanic și căldură.

(Într-un asemenea proces este valabil primul principiu al termodinamicii sub forma (4). Din ea rezultă că lucrul mecanic și căldura schimbate de sistem cu exteriorul au același semn. Există alternativele:

a) $Q = L > 0$, ceea ce înseamnă că sistemul primește căldură ($Q > 0$) și face lucru mecanic ($L > 0$).

b) $Q = L < 0$, adică sistemul cedează căldură ($Q < 0$) și primește lucru me-

cauie ($L < 0$).)

8. Forma primului principiu al termodinamicii în transformările adiabatic:

$$\Delta U = -L \quad (5)$$

(Transformarea fiind adiabatică sistemul nu poate schimba cu exteriorul energia ΔU decât sub formă de lucru mecanic, adică

$$\Delta U = -L$$

neexistând energie schimbată cu exteriorul datorată efectuării lucrului mecanic, rezultă că $Q = 0$. Apădar:)

9. În transformările adiabatic sistemul nu poate schimba căldură cu exteriorul

10. Într-o transformare în care toți parametri de poziție sunt menținuți constanti primul principiu al termodinamicii ia forma (cazul transformărilor izocore: $V = 0$):

$$\Delta U = Q \quad (6)$$

(Constanta parametrilor de poziție arată că nu au loc deplasări, deci $L = 0$ și din (3) rezultă (6).)

2.14 PRIMUL PRINCIPIU AL TERMODINAMICII

9.03.1985

(A)

ÎN PROCESELE TERMODINAMICE OARECARE

1. Descompunerea unui proces termodinamic oarecare în etape simple, astfel încât pe fiecare din ele schimbul de lucru mecanic și căldură între sistem și exterior să aibă loc, fiecare, într-un singur sens (de la sistem către exterior, sau invers, fără ca sensul schimbului de lucru mecanic să trebuiască să coincidă cu cel al schimbului de căldură).

2. Definiția energiei totale ^{sau nete} și a căldurii totale ^{sau nete} schimbate (reținute sau cedate), precum și a lucrului mecanic total ^{sau net} schimbat (efectuat sau primit) într-un proces compus din etape ^{"simple"} astfel încât pe fiecare din ele, schimbul de lucru mecanic și căldură între sistem și exterior se desfășoară, fiecare, într-un singur sens.

(sunt, respectiv, sumele algebrice ale energiei, căldurilor și lucrurilor mecanice schimbate pe fiecare etapă simplă „i” a procesului)

$$\Delta U = \sum_i \Delta U_i; \quad Q = \sum_i Q_i; \quad L = \sum_i L_i$$

unde ΔU_i , Q_i și L_i sunt, respectiv, energia, căldura și lucrul mecanic schimbat cu exteriorul pe etapa simplă „i”.

3. Expresia primului principiu al termodinamicii pentru un proces compus din etape simple, astfel încât pe fiecare din ele schimbul de lucru mecanic și căldură între sistem și exterior se desfășoară, fiecare, într-un singur sens:

$$\Delta U = \sum_i Q_i - \sum_i L_i \quad (7)$$

(Fie „i” o etapă simplă a procesului. Se ea este valabil primul principiu al termodinamicii sub forma (3):

$$\Delta U_i = Q_i - L_i$$

Însușind algebric schimburile de ener-

gie pentru toate etapele procesului:

$$\Delta U = \sum_i \Delta U_i = \sum_i (Q_i - L_i) = \sum_i Q_i - \sum_i L_i$$

$$\text{sau} \quad \Delta U = \sum_i Q_i - \sum_i L_i \quad)$$

4. Folosind definițiile energiei totale, căldurii totale și a lucrului mecanic total schimbat cu exteriorul date aici sau la punctul (2), relația (7) ia forma

$$\Delta U = Q - L \quad (3)$$

Rezultă că (3) poate fi privită ca expresie generală a primului principiu al termodinamicii, cu condiția ca prin ΔU , Q și L să înțelegem energia totală și căldura totală reținute sau cedate de sistem în timpul procesului, precum și lucrul mecanic total primit sau cedat de sistem pe parcursul procesului.

2.15 TEMPERATURA

1. Cum se poate realiza un contact termic ideal între două sisteme termodinamice A și B. Ce condiții se trebuie îndeplinite.
2. Variația energiei interne U_1 și U_2 a două sisteme A și B aflate în contact termic, astfel încât căldura Q treacă de la A la B:

$$U_1' = U_1 - Q ; \quad U_2' = U_2 + Q$$

3. Definiția echilibrului termic între două sisteme termodinamice.

Zicem că două sisteme sunt la echilibru termic, sau că între sistemele A și B este realizat echilibrul termic, dacă fiecare din ele se află în stare de echilibru termic și puse în contact termic nici unul din ele nu-și modifică starea de echilibru termic - deci între ele nu are loc schimb de căldură.

4. Principiul echilibrului termic.

(Dacă două sisteme aflate fixare în stare de echilibru termodinamic sunt puse în contact termic, fie că în urma contactului fiecare își păstrează starea de echilibru amită anterior - caz în care între ele era realizat echilibrul termic, fie că sistemele ies din starea de echilibru, făcând între ele schimb de căldură, dar în acest caz, după un anumit interval de timp, ele re-
intră în stări de echilibru în care schim-
bul de căldură între ele încetează, deci
se realizează echilibrul termodinamic în-
tre cele două sisteme în contact termic.

Așadar, pînă la urmă, între două sisteme aflate în contact termic se realizează echilibrul termic. Acesta este principiul echilibrului termic.)

5. Dependența energiei interne U , deci și a schimbului de energie ΔU , în

absența fenomenelor termice, doar de para-
metrii de poziție, respectiv de variația acestora.

(În absența fenomenelor termice schimbul de energie între două sisteme are loc numai sub for-
mă de lucru mecanic, deci ΔU se exprimă nu-
mai funcție de variația parametrilor de pozi-
ție, care măsoară lucrul respectiv).

6. Dependența energiei interne U , deci și a schimbului de energie ΔU , în prezența fenomenelor termice nu numai de para- metrii de poziție și de variația lor, dar și de un alt parametru care să fie le- gat de schimbul de căldură.

În procesele termodinamice schimbul de energie are loc sub formă de lucru meca-
nic, dependent de parametrii de poziție, dar
și sub formă de căldură, schimb neacomp-
at de efectuarea unui lucru mecanic, deci
independent de parametrii de poziție.

Acest echilibru trebuie exprimat printr-un parametru diferit de cei de poziție și determinat de echilibrul de căldură. Acesta va fi temperatura empirică t .)

7. Necesitatea unui parametru suplimentar, pe lângă cei de poziție, pentru determinarea completă a stării unui sistem termodinamic. (pentru determinarea energiei interne a sis. termodin., s-a văzut mai sus că parametrii de poziție nu sunt suficienți)

8. Principiul tranzitivității echilibrului termic. În termodinamică se admite următorul enunț, numit principiul tranzitivității echilibrului termic: Dacă între sistemele A și B este posibil echilibrul termic, și între sistemele B și C este posibil echilibrul termic, atunci între A și C este posibil echilibrul termic.

Acest principiu se verifică experimental, dar nu poate fi dedus teoretic din defi.

niția echilibrului termic între sisteme. De aceea se admite ca un „principiu” sau „postulat”.

9. Folosind principiul tranzitivității echilibrului termic și faptul că energia internă este o mărime de stare se poate demonstra că pentru determinarea stării de echilibru termodinamic a unui sistem este necesară o singură variabilă în plus, pe lângă parametrii de poziție ai sistemului.

Această variabilă introdusă de fapt obținută cu principiul tranzitivității echilibrului termic este numită temperatură empirică, notată cu t .

(În mod intuitiv temperatura ca parametru de stare poate fi introdusă pornind de la principiul echilibrului termic. Revăzând acest principiu sîntem conduși a admite că orice sistem termodinamic posedă o anumită proprietate în cantitate mică mare sau mică și datorită căreia este posibilă siste-

me A și B este realizat, sau nu, echilibrul termic, după cum ele posedă proprietatea respectivă în aceeași cantitate, sau nu. Numim această proprietate temperatură empirică și o notăm t .)

10. Compararea temperaturilor a două sisteme termodinamice.

(Fie t_A și t_B temperaturile a două sisteme A și B. Dacă A și B puse în contact termic:

- a) nu fac schimb de căldură, atunci $t_A = t_B$;
- b) fac schimb de căldură, atunci $t_A \neq t_B$.

Dacă A cedează căldură lui B, avem $t_A > t_B$ sau $t_B < t_A$.)

11. Definiția termostatului. Exemple.

12. Condițiile care trebuie îndeplinite de un sistem termodinamic pentru a fi termostat.

13. În urma contactului termic dintre două sisteme A și B, din care unul este termostat, cu cine este egală temperatura celuilalt, în urma realizării echilibrului termic?