

LUCRAREA A1
MODELAREA ANALOGICĂ A FENOMENELOR DE COMUTAȚIE
DIN STAȚIILE DE ÎNCERCĂRI DIRECTE

1. Tematica lucrării

1. Studiul modelului de simulare a sursei, a liniei de transport și a întreruptorului de protecție.
2. Studiul evoluției curentului de scurtcircuit.
3. Studiul evoluției tensiunii oscilante de restabilire.

2. Descrierea schemelor electrice

Schema modelului analogic (figura 1):

Tr - transformator coborâtor de tensiune 220V/3 V; 50 Hz (model al sursei);

MR - model al rețelei de înaltă tensiune bazat pe cuadripoli de tip π cu următorii parametrii electrici:

rezistența **R** = 60 Ω ; inductivitatea **L** = 1,4 H; capacitatea **C** = 1 nF;

MI - model al întreruptorului;

Sh - șunt de măsură;

OC - osciloscop.

Întreruptorul modelat este un întreruptor ideal realizat în două variante constructive:

IM - întreruptor mecanic, de tip releu Reed;

IE - întreruptor electronic, bazat pe componente discrete comandate prin intermediul unui amplificator operațional.

Alegerea acestora în cadrul schemei de lucru se face prin intermediul comutatorului de selecție **S**.

Întreruptorul mecanic (IM), constă dintr-un releu Reed cu contacte protejate în gaz inert. Schița unui astfel de întreruptor este prezentată în figura 3, iar schema electrică de comandă în figura 4. S-a folosit un releu Reed cu contacte placate cu Rh de tip SK 560, cu următoarele caracteristici :

Tensiunea maximă de alimentare a înfășurării de excitație: 250 V c.c. sau c.a..

Puterea de comutație maximă	: 60 W;
Curentul maxim :	: 1,25 A;
Frecvența de comutație maximă	: 250 Hz;
Tensiunea de ținere	: 70 V
Rezistența de contact	: 0,1 Ω
Timpul de întârziere	: 2 ms

Modelarea întreruptorului cu ajutorul unui releu Reed este avantajoasă deoarece acesta admite supratensiuni mari în raport cu modelul electronic. Modelul electronic limitează supratensiunile la 15 V, în vederea protejării amplificatorului operațional.

Funcționarea întreruptorului mecanic

Înfășurarea de excitație a releului Reed, reprezintă sarcina tranzistorului T4 cu rol de amplificator. Dacă semnalul U6 este de +15 V, tranzistorul T4 este saturat, înfășurarea releului este excitată, iar contactele a, b ale releului se închid, corespunzător poziției "**ÎNCHIS**" a întreruptorului. Dacă semnalul U6 este de -15 V, tranzistorul T4 se blochează, iar contactele a, b ale releului se deschid, corespunzător poziției "**DESCHIS**" a întreruptorului.

În paralel cu înfășurarea de excitație a releului s-a conectat o diodă de regim liber (DRL) cu rolul de a limita supratensiunile de comutație asupra tranzistorului T4.

Întreruptorul electronic (IE), (cu comutație statică), prezentat în figura 5 este realizat cu un amplificator operațional de tip β A 741 având în schema de reacție

negativă o punte de tip Graetz, în diagonala căreia se află un tranzistor NPN cu Si de tip BD 237.

Această schemă electronică funcționează ca un întreruptor ideal dacă sunt respectate condițiile:

$$|u_{\max}| < 15 \text{ V} \quad \text{și} \quad |i_{\max}| < 0,5 \text{ A.}$$

Bornele a, b reprezintă un scurtcircuit dacă tranzistorul T1 este saturat ($U_6 = +15\text{V}$), corespunzător poziției "ÎNCHIS" a întreruptorului ideal sau reprezintă un circuit deschis dacă tranzistorul T2 este blocat ($U_6 = -15 \text{ V}$), corespunzător poziției deschis.

Funcționarea întreruptorului electronic (IE) cu comutație statică este prezentată în detaliu în anexă.

Blocul electronic comandă (figura 2) generează semnalele de comandă pentru întreruptorul modelat mecanic sau electronic producând o secvență repetitivă de procese de conectare și de deconectare care permite vizualizarea acestora pe osciloscopul fără memorie.

Este compus din următoarele blocuri funcționale :

TRS - transformator de sincronizare 220V/5V ; 50Hz ;

BFIS - bloc formator de impulsuri de sincronizare ;

SP - selector de polaritate (+ sau -). Poziția neutră corespunde poziției "ÎNCHIS" a întreruptorului, (curent de scurtcircuit stabilizat).

DF - bloc divizor de frecvență, (numărător modulo 4);

RFD - bloc pentru reglarea fazei de deconectare, în raport cu faza curentului de scurtcircuit;

RFC - bloc pentru reglarea fazei de conectare în raport cu faza tensiunii de alimentare;

BIC - blocul generator de impulsuri de comandă pentru întreruptor.

3. Modul de lucru

Panoul de comandă al simulatorului electronic este descris în **figura 6**.

- se alimentează schema electrică model prin intermediul cordonului de alimentare la rețeaua de 220 V, 50Hz ;

- se alimentează simulatorul electronic prin conectarea cordonului de alimentare, închiderea întrerupătorului "**REȚEA**" (se aprinde LED-ul roșu) și pornirea sursei de 5 V (se aprinde LED-ul verde) ;

- se racordează osciloscopul cu două spoturi prin intermediul cablurilor coaxiale;

- se selectează funcționarea întrerupătorului mecanic sau electronic.

LED-ul galben ("**SUPRASARCINĂ**") indică prezența unui regim de scurtcircuit sau suprasarcină datorat unor conexiuni greșite.

Studiul evoluției curentului de scurtcircuit

Evoluția în timp a curentului de scurtcircuit depărtat de generator este dată de relația :

$$i(t) = \hat{I} [e^{-t/T} \cdot \sin \alpha + \sin(\omega t - \alpha)] \quad (1)$$

unde : \hat{I} - amplitudinea curentului de scurtcircuit;

T - constanta de timp a circuitului ($T = L/R$);

ω - pulsația curentului ;

α - unghiul de comutație ($\alpha = \varphi - \psi$);

ψ - faza tensiunii în momentul apariției scurtcircuitului;

φ - defazajul curent-tensiune în regim staționar.

Se va determina factorul de lovitură dat de raportul:

$$k = \frac{\hat{i}}{\hat{I}} \quad (2)$$

pentru câteva valori ale unghiului de comutație α distribuite uniform în intervalul (0, $\pi/2$).

Reglajul fazei de conectare ψ se va efectua cu ajutorul potențiometrului multitură "REGLAJ FAZA - CONECTARE" .

Se vor studia următoarele situații limită :

- cazul curentului de scurtcircuit simetric (pentru $\alpha = 0$);
- cazul curentului de scurtcircuit asimetric de asimetrie maximă (pentru $\alpha = \pi/2$) .

Se vor analiza formele de undă cu ajutorul osciloscopului și se vor desena graficele respective.

În cazul al doilea se va determina constanta de timp a rețelei T și defazajul tensiune-curent φ în regim staționar. Pentru determinarea lui T vom folosi expresia (1) evaluată pentru valoarea maximă a curentului (curentului de lovitură):

$$k = e^{-t/T} + 1 \quad (3)$$

cu α și t determinați din condițiile de maxim pentru fiecare termen:

$$\sin \alpha = 1 \quad ; \quad \sin (\omega t - \alpha) = 1 \quad (4)$$

rezultatele măsurătorilor și calculelor se vor trece în tabelul 1:

Tabelul 1

Faza conectării [grade electrice]	ψ_1	ψ_2	ψ_3
Factorul de lovitură, $k = \frac{i_1}{\hat{I}}$			
Constanta de timp T[ms]			
Defazajul $\angle(u, i) \varphi$ [grade electrice]			

Studiul evoluției tensiunii oscilante de restabilire

Pentru cazul deconectării la trecerea naturală a curentului prin zero se va utiliza expresia simplificată, valabilă în ipoteza unei frecvențe de oscilație proprii mult mai mari decât frecvența rețelei :

$$u \approx \hat{U}(1 - e^{-\delta t} \cdot \cos \omega_0 t) \quad (5)$$

unde: \hat{U} - amplitudinea tensiunii în regim staționar;

ω_0 - pulsația de oscilație proprie;

δ - factorul de amortizare.

Se vor determina parametrii tensiunii oscilante de restabilire:

γ - factorul de oscilație ($\gamma = \frac{\hat{u}}{\hat{U}}$);

f_0 - frecvența de oscilație proprie;

v - viteza de creștere $v = \frac{\hat{u}}{T_0/2} = 2f_0\gamma\sqrt{2}U_n$, kV/ μ s;

δ - factorul de amortizare.

Factorul de amortizare va fi determinat utilizând expresia (5) evaluată pentru valoarea maximă a tensiunii oscilante de restabilire:

$$\gamma = 1 + e^{-\delta t} \quad (6)$$

momentul t fiind determinat din condiția de maxim:

$$\cos \omega_e t \cong \cos \omega_0 t = -1 \quad (7)$$

Rezultatele măsurătorilor și calculelor se vor trece în tabelul 2:

Tabelul 2

Parametrii t.o.r.	$\gamma = \frac{\hat{u}}{\hat{U}}$	$\delta = \frac{R}{2 \cdot L} [1 / s]$	$f_e [Hz]$	$v = \frac{\hat{u}}{t_e} [V / s]$

Notă:

Modelul de întreruptor realizat permite și vizualizarea supratensiunilor care apar în cazul particular în care curentul se întrerupe brusc (smulgere de curent sau curent tăiat), înainte de trecerea naturală prin zero (întreruperea sarcinilor mici inductive, comutația în vid), situație ilustrată în **figura 10**.

Se va studia dependența formei tensiunii oscilante de restabilire (t.o.r.), în funcție de faza de deconectare. Reglajul fazei de deconectare se va efectua cu ajutorul potențiometrului multitură "**REGLAJ FAZA - DECONECTARE**".

Se va determina factorul de oscilație γ pentru diferite valori procentuale ale curentului tăiat și se va compara cu valoarea obținută în condiții normale de întrerupere.

Anexa 1 - Modul de funcționare a modelului electronic de întreruptor

În situația în care la bornele a, b ale întreruptorului tensiunea este negativă, schema echivalentă este prezentată în figura 11.

Dacă semnalul U_6 este +15 V tranzistorul T1 este saturat, tensiunea la bornele a, b este nulă (poziția “ÎNCHIS” a întreruptorului) .

Astfel rezultă : $U_0 = U_{BE2} + U_{D22} + U_{CE1} + U_{D21} - U_i = -A \cdot u_i$

Deoarece : $U_{CE1} = 0$; $U_{D22} = U_{D21} = U_{DE2} = 0,6$ V, rezultă

$$1,8 = U_i(1-A) = A \cdot u_i$$

$$U_i = 1,8/A \approx 0 ; \text{ deoarece } A = 10^6; \text{ deci } U_{ab} = 0.$$

Dacă semnalul U_6 este -15V, joncțiunea BE a tranzistorului a tranzistorului este polarizată invers, chiar dacă tensiunea la bornele sarcinii este -12 V. Rezultă că bucla de reacție a amplificatorului operațional este deschisă și tensiunea U_{ab} nu poate fi influențată.

Rezultă astfel că $I = 0$, deci corespunde poziției “DESCHIS” a întreruptorului.

În situația în care la bornele a, b ale întreruptorului tensiunea de lucru este pozitivă, schema echivalentă este prezentată în figura 12.

Dacă semnalul U_6 este +15 V , tranzistorul T₂ este saturat, iar tensiunea la bornele întreruptorului a, b este nulă, (poziția “ÎNCHIS” a întreruptorului) .

Dacă semnalul U_6 este -15V, joncțiunea BE a tranzistorului T₂ rămâne blocată, deci bucla de reacție rămâne deschisă, (poziția “DESCHIS” a întreruptorului).

Poziția “DESCHIS” a comutatorului S corespunde poziției “DESCHIS”, regim stabilizat de tensiune.

Întreruptorul electronic nu permite smulgeri cu supratensiuni mai mari de 15 V, pentru a proteja amplificatorul operațional. Protecția s-a realizat cu două diode Zener DZ 12,6 (fig.5).

4. Întrebări

1. Care este ordinul de mărime al curenților de scurtcircuit:
 - într-o instalație interioară de joasă tensiune, instalații casnice și industriale;
 - într-o rețea de medie tensiune;
 - în rețelele de înaltă și foarte înaltă tensiune?
2. Care sunt efectele curenților de scurtcircuit?
3. Care sunt expresiile analitice ale curenților de scurtcircuit depărtat de generator, simetric și asimetric?
4. Desenați formele de undă ale curenților de scurtcircuit depărtat de generator, simetric și asimetric.
5. Cum se explică forma curențului de scurtcircuit apropiat de generator?
6. Care sunt valorile curențe ale factorului de lovitură și parametrii care influențează valoarea acestuia?
7. Cum se definește tensiunea (tranzitorie) oscilantă de restabilire?
8. Care sunt parametrii tensiunii oscilante de restabilire și cum se definesc aceștia?
9. Indicați valorile normale ale parametrilor tensiunii oscilante de restabilire.
10. Care este influența tensiunii oscilante de restabilire asupra procesului de deconectare; corelare cu tensiunea de ținere a întreruptorului?
11. Ce este un întreruptor ideal și cum funcționează modelul utilizat?
12. De ce apare necesitatea modelării fenomenelor de comutație?

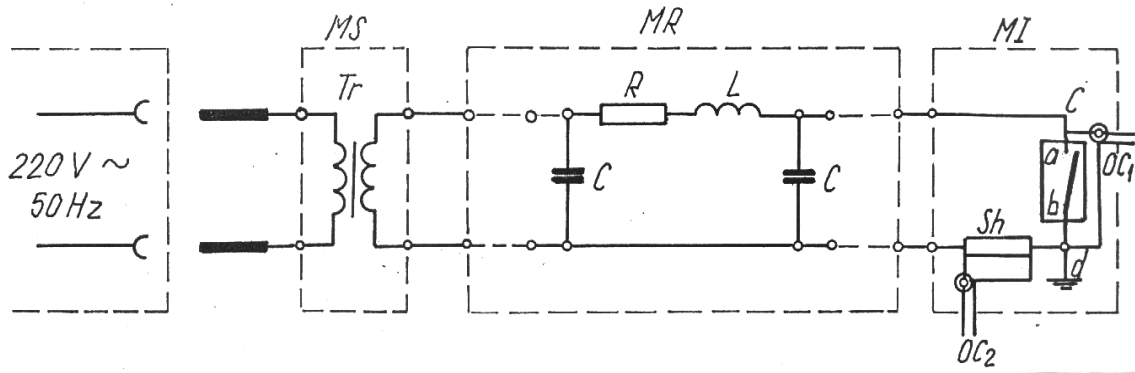


Fig. 1. Schema electrică de modelare a fenomenelor de comutație.

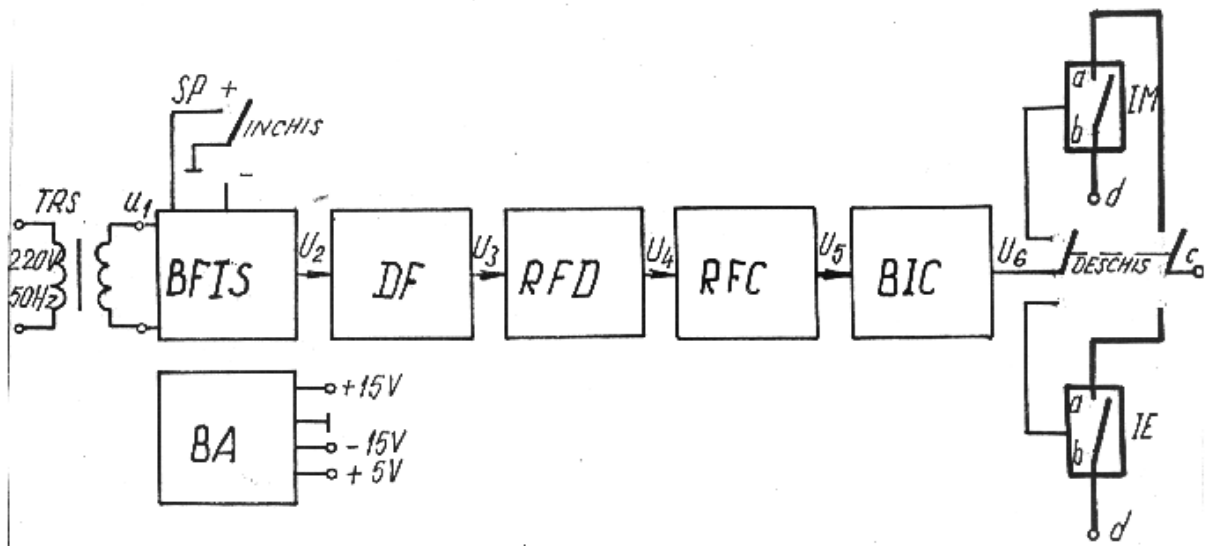


Fig. 2. Schema bloc a modelului de întreruptor

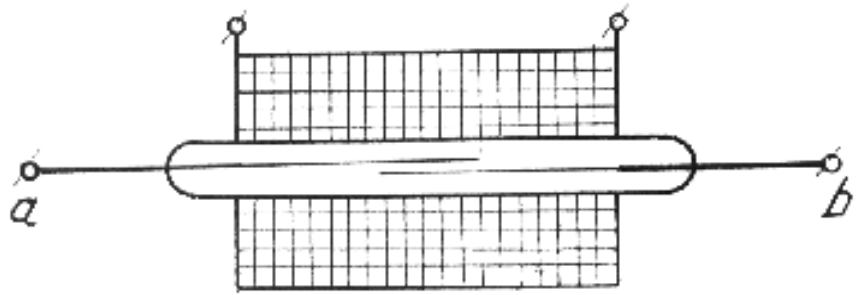


Fig. 3. Releu Reed cu contacte protejate în gaz

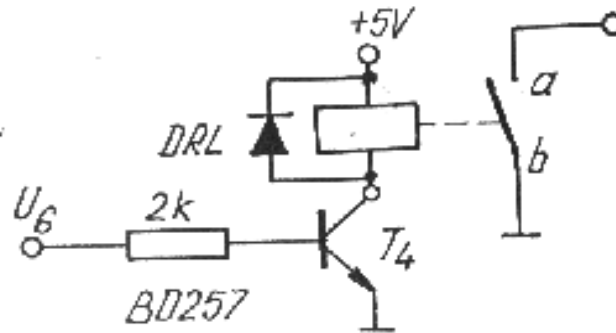


Fig. 4. Blocul întreruptor mecanic

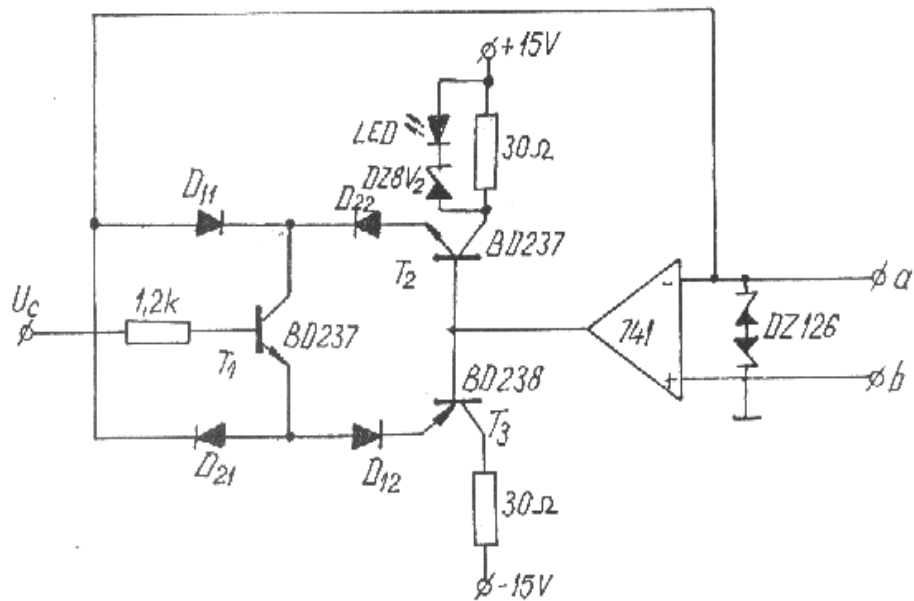


Fig. 5. Schema modelului electronic de întreruptor

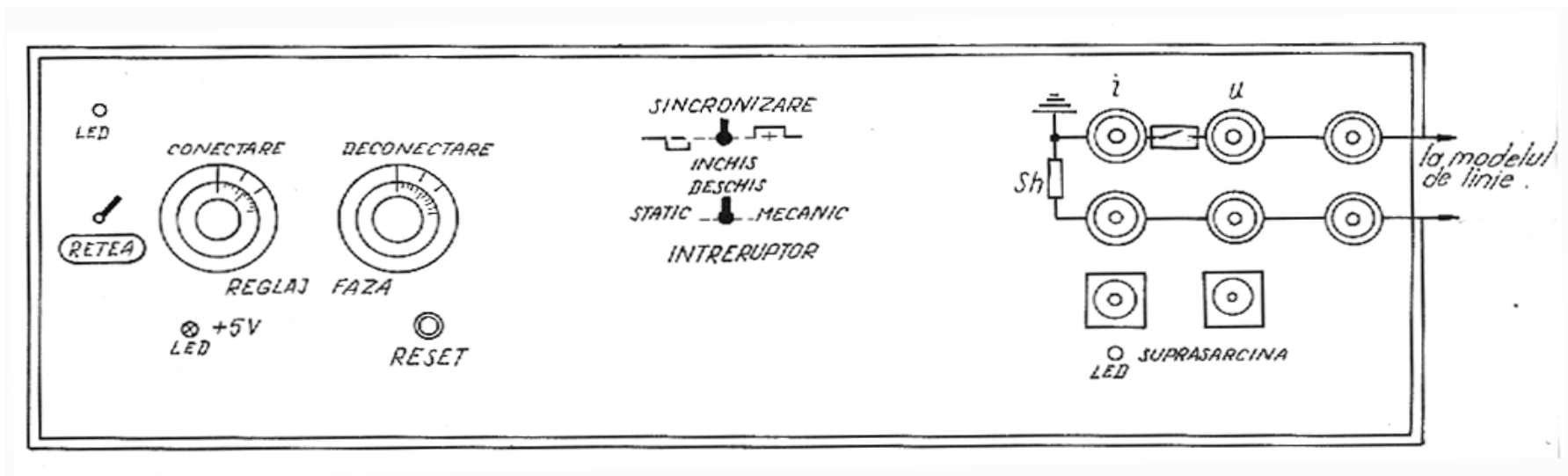


Fig. 6. Placa frontală a aparatului

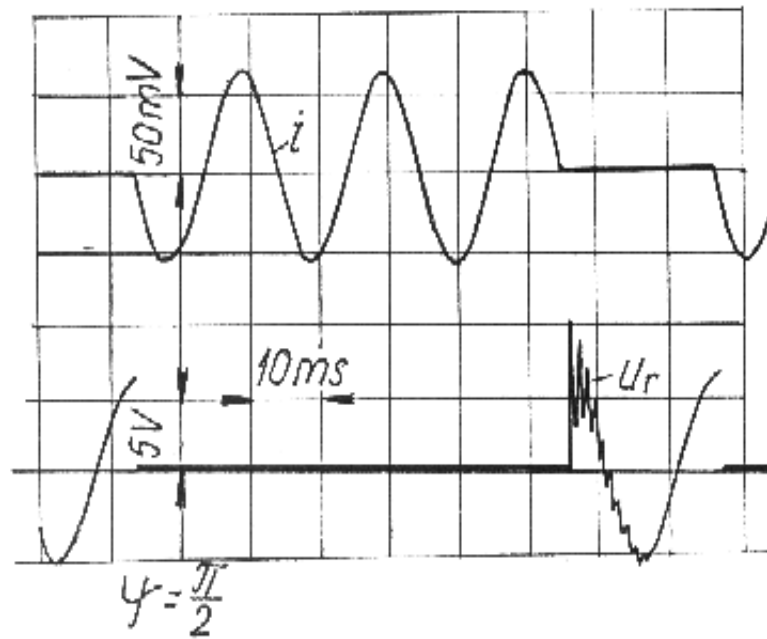


Fig. 7. Conectarea la $\psi = \pi/2$; curent de scurtcircuit simetric.

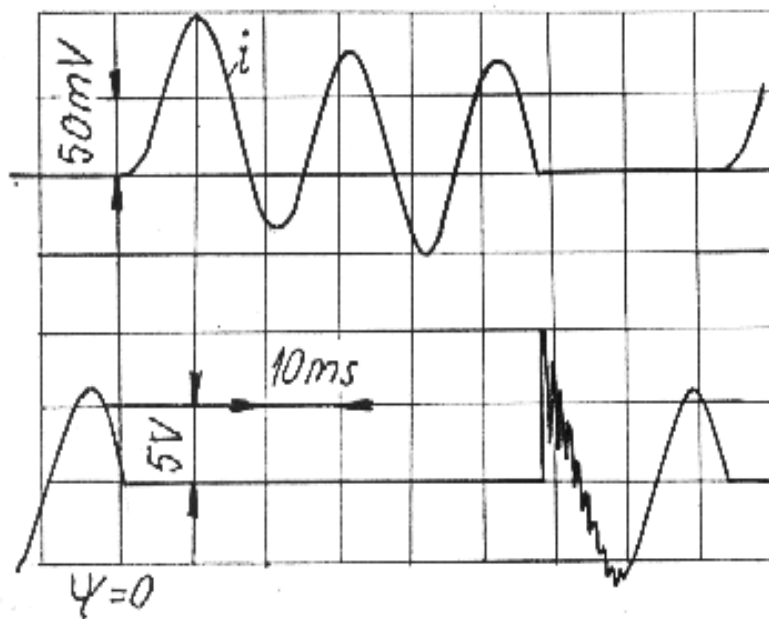


Fig. 8. Conectarea la $\psi = 0$; curent de scurtcircuit asimetric
de asimetrie maximă

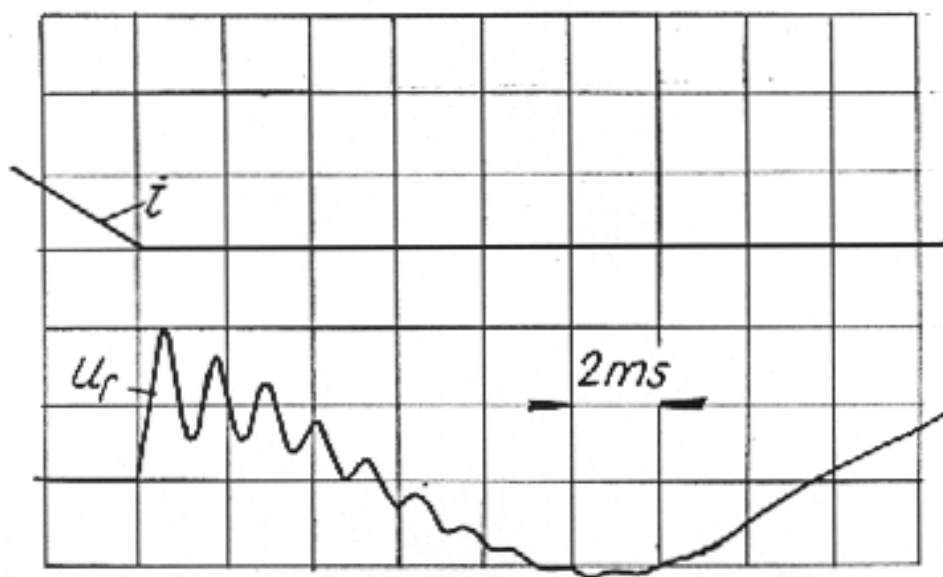


Fig. 9. Oscilogrammele curentului de scurtcircuit la trecerea naturală a curentului prin zero și tensiunea oscilantă de restabilire.

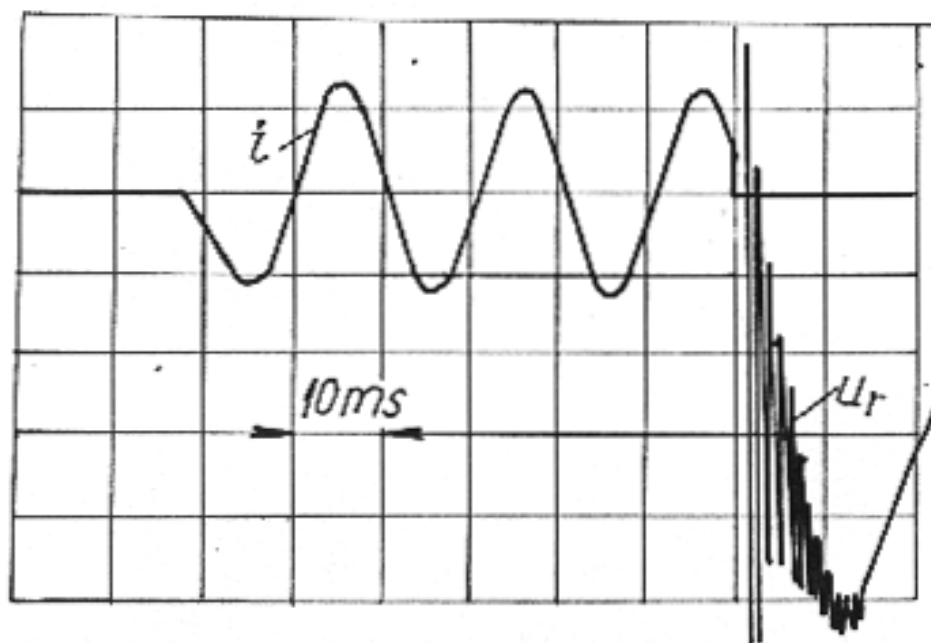


Fig. 10. Oscilogrammele întreruperii cu smulgere de curent și tensiunea oscilantă de restabilire.

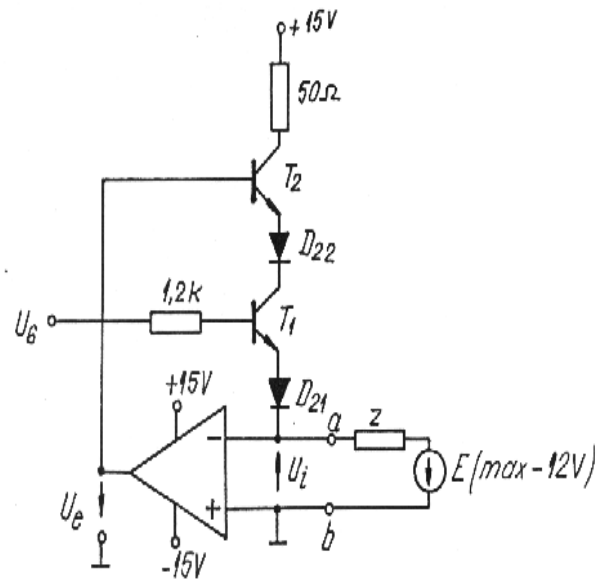


Fig. 11. Schema echivalentă pentru U_{ab} negativă.

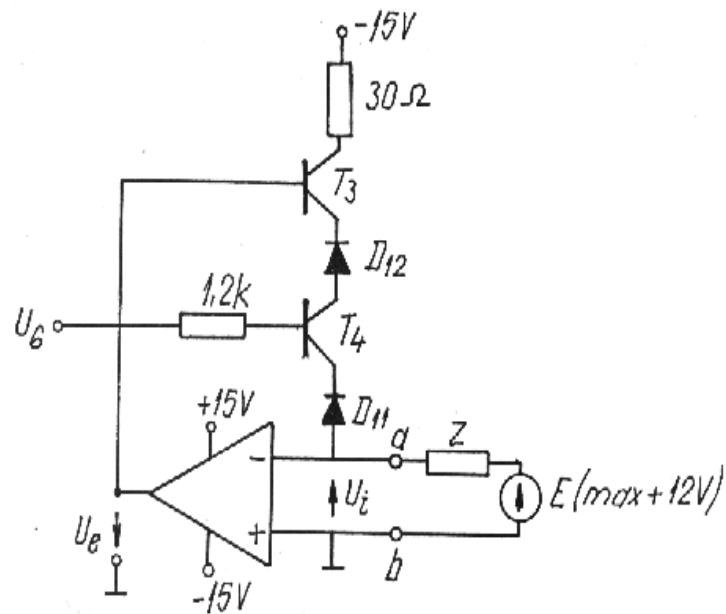


Fig. 12. Schema echivalentă pentru U_{ab} pozitivă.