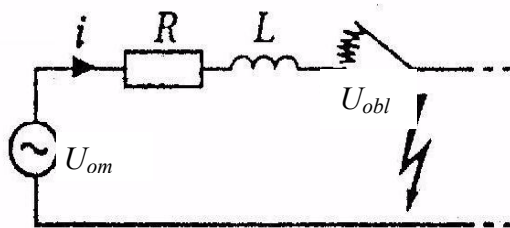


OBLOK KOT KORISTEN STIKALNI ELEMENT

1. Izklop kratkega stika s tokovno omejitvijo v LR tokokrogu:

Večina električnih tokokrogov je običajno induktivna. Takšen tokokrog je prikazan na sliki 1. V vezju se nahaja zaščitni element (taljiva varovalka, odklopnik, omejevalnik toka), ki zazna kratkostični tok. Na zaščitnem elementu se pojavi obločna napetost U_{obl}



Slika 1; LR tokokrog v kratkem stiku in tokovno omejitvijo

V induktivnosti L se v primeru toka v vsakem trenutku toka i nahaja magnetna energija po enačbi :

$$E_{magn} = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1.1)$$

ki vpliva na proces izklopa po enačbi $U_{om} = R \cdot i + L \frac{di}{dt} + U_{obl}$ (1.2)

$$\int U_{om} \cdot i \cdot dt = \int R \cdot i^2 \cdot dt + \frac{1}{2} L \cdot i^2 + \int U_{obl} \cdot i \cdot dt \quad (1.3)$$

pri čemer je U_{om} omrežna napetost, U_{obl} pa obločna napetost.

Posamezni členi energijske enačbe:

- energija, dovedena iz generatorja v času trajanja obloka,
- izgube na ohmski upornosti
- magnetna energija
- izklopno delo, energija, ki jo prevzame stikalni aparat

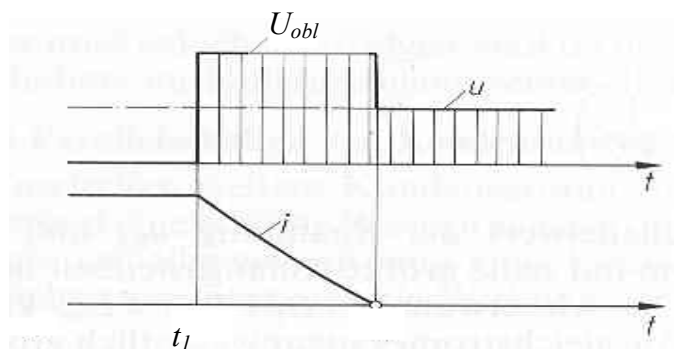
Po enačbi (1.3) je potrebno upoštevati tako magnetno energijo, kot tudi energijo, ki je iz omrežja dovajamo v času trajanja obloka.

2.1. Obločna napetost in omejevanje toka

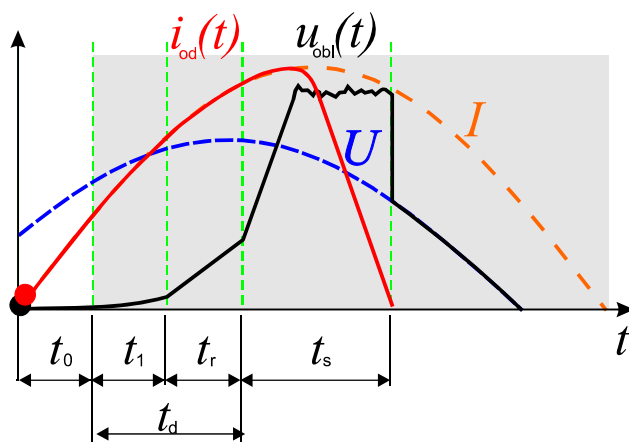
Električni oblok s svojo obločno napetostjo ima enak vpliv na tok v tokokrogu kot dodatna impedanca: tok se bo ustrezno zmanjšal. Ta efekt je toliko bolj izrazit, kolikor je obločna napetost višja od napetosti vira.

Poznavanje lastnosti električnega obloka pomeni poznavanje stikalnega procesa od trenutka odpiranja kontaktov do dokončne prekinitve toka [2].

$$i(t) = \frac{u}{R} - \frac{u_{obl}}{R} \left[1 - \exp\left(-\frac{t-t_1}{T}\right) \right] \quad [2.1]$$



slika 2; Diagram prekinitve enosmernega toka s tokovno omejitvijo,



slika 3 Diagram prekinitve izmeničnega toka s tokovno omejitvijo v odklopniku z gasilno komoro iz kovinskih lamel

Kratka razlaga diagrama:

I_{od} odrezani tok

U_{obl} obločna napetost

t_0 mehanska zakasnitev kontaktov po zaznavanju kratkostičnega toka,

t_1 začetek odpiranja kontaktov, zastajanje obloka na kontaktih,

t_r čas raztegovanja obloka do obločne komore,

t_d t_I+t_r = čas od pojava obloka med kontakti do vstopa v obločno komoro,

t_s čas trajanja obloka v obločni komori.

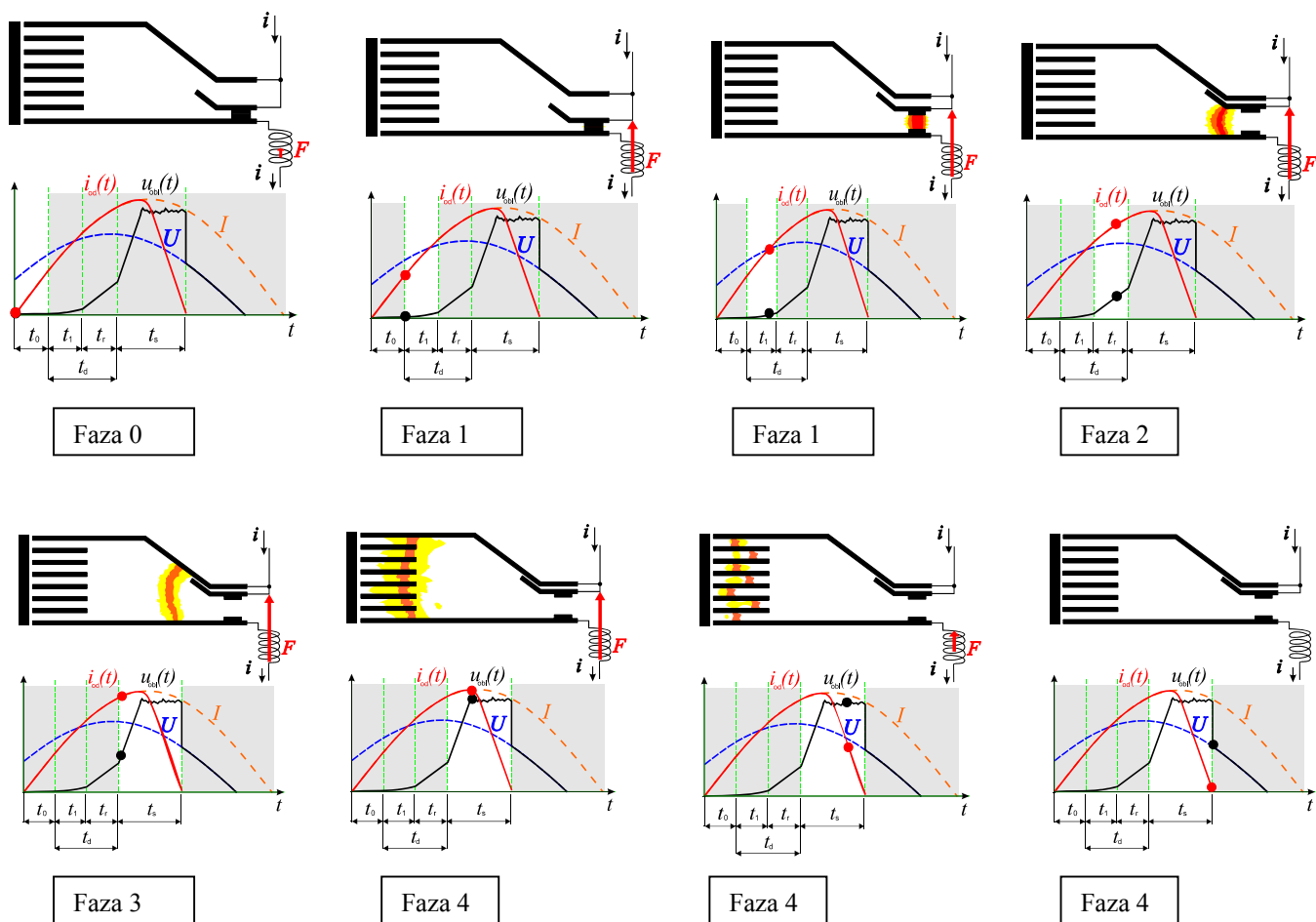
Oblok kot koristen stikalni element v zaščitnem odklopniku nudi odločilne prednosti:

- oblok nastane samodejno in v pravem časovnem trenutku, ob odpiranju kontaktov,
- oblok odvisnosti od konstrukcije odklopnika, ustvari primerno visoko stikalno napetost in ob nadzorovani izgubi materiala pretvori nastalo energijo kar vodi k omejevanju kratkostičnega toka,
- ker s svojimi fizikalnimi lastnostmi zagotavlja obločno napetost, ki je pogoj za prekinitvev s tokovno omejitvijo,
- izguba materiala, ki se ji je nemogoče izogniti, in življenska doba odklopnika, so v ravnotežju zaradi dejstva, da kratkostični tokovi nastopajo zelo redko,
- ko oblok ugasne, nastane vidna , jasna in v primeru nekaterih aparatov, dovolj velika ločilna razdalja,
- sklenjeni kontakti predstavljajo majhno prehodno upornost in s tem tudi nizke izgube.

Vse te dobre lastnosti obloka kot stikalnega elementa pa pridejo do izraza le, če je celoten proces nastanka obloka primerno obvladovan.

2.2. Potek izklopa kratkega stika v nizkonapetostnem odklopniku z gasilno komoro iz kovinskih lamel:

To podpoglavje prikazuje razmere v nizkonapetostnem inštalacijskem odklopniku z gasilno komoro, ki je izdelana iz kovinskih lamel. Razmere so prikazane grafično na idealiziranem modelu odklopnika. Poleg kontaktno obločnega sistema je prikazana še tuljava elektromagnetnega sprožnika, ki z vektorsko prikazano silo F deluje v smeri odpiranja kontaktov. Zaradi toka kratkega stika elektromagnetni sprožnik v odklopniku sproži mehanizem, ki začne odpirati gibljivi kontakt. Med odpirajočima se kontaktoma se pojavi oblok, ki se pod vplivom magnetnih sil vodnikov (Lorentzova sila $F = I \times B$) začne odmikati od kontaktnega mesta. V nadaljevanju se oblok preseli med obločne letve in potuje proti paketu pločevin obločne komore. Tu se razdeli med delne obloke, kjer ob prekinitvi toka dokončno ugasne.



Slika 4; Potek izklopa kratkega stika v instalacijskem odklopniku

Celoten proces seveda ni tako enostaven in ga je potrebno podrobneje pogledati po posameznih fazah dogajanja in sicer:

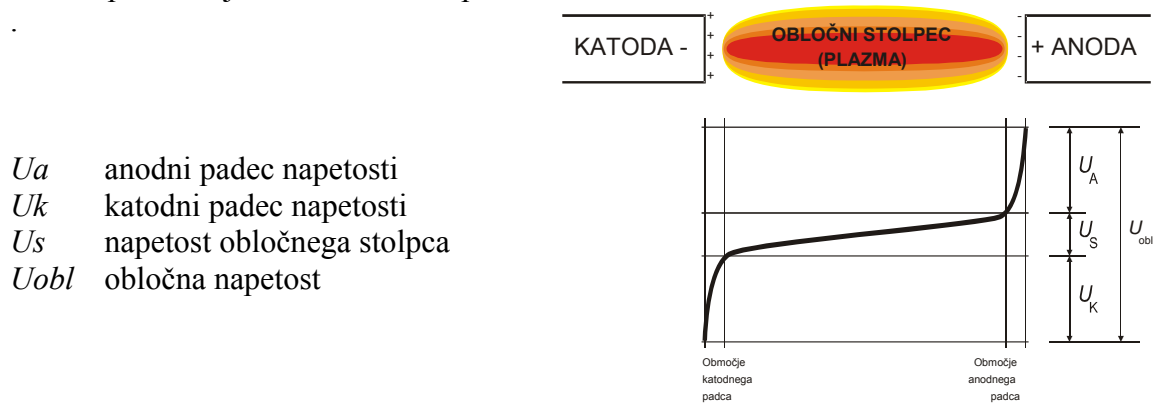
- faza 0: dogajanje od trenutka nastanka toka kratkega stika do odpiranja kontaktov, čas mehanske zakasnitve elektromagnetnega sprožnika in mehanizma,
- faza 1: odpiranje kontaktov in potovanje gibljivega kontakta do skrajne točke, čas zadrževanja oblaka med kontaktoma,
- faza 2: oblok se pod vplivom magnetnih sil začne gibati v smeri proti oblačni komori, z razmikanjem obeh kontaktov in s podaljševanjem njegove dolžine se povečuje oblačna napetost,
- faza 3: oblok preskoči z gibljivega kontakta na oblačno letev, podaljševanje oblaka in povečevanje oblačne napetosti je še bolj izrazito,

- faza 4: oblok se razdeli med pločevine obločne komore, med katerimi nastanejo delni oblaki, napetost se skoraj skokovito poveča nad vrednost pritisnjene napetosti kar omejevalno deluje na tok kratkega stika dokler le-ta ne pade na vrednost 0.

Pojav povečanja obločne napetosti pri razdelitvi oblaka med pločevine obločne komore se torej izkorišča za omejevanje toka kratkega stika. Za boljše razumevanje fizikalnih mehanizmov v posameznih fazah pa je potrebno podrobneje pogledati teoretične osnove na katerih sloni pojav električnega oblaka.

2.3. Vzpostavljanja obločne napetosti v odklopnikih:

Slika 5 predstavlja zelo idealiziran prikaz oblaka.

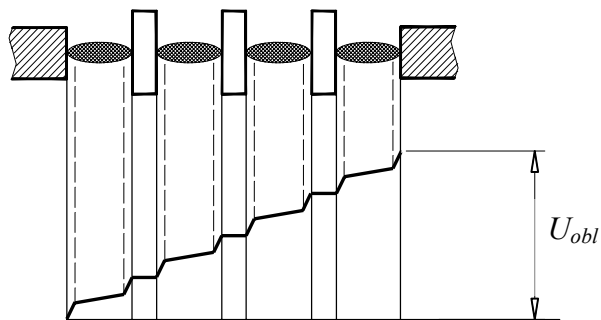


Slika 5; Idealiziran prikaz oblaka

Katoda proizvaja elektrone za potrebe toka skozi oblok. V območju anode pa se proizvajajo ioni. Porazdelitev napetosti med obema elektrodama torej ni linearna, ampak se v bližini obeh elektrod pojavita t.i. anodni in katodni padec napetosti. Na sam obločni stolpec odpade manjši del napetosti. Vsota vseh treh vrednosti je obločna napetost, ki znaša okrog 20V.

Dejanska oblika oblaka je v precejšnji meri določena s konstrukcijskimi značilnostmi stikalnega aparata in se praviloma zelo razlikuje od opisane idealizirane oblike.

Kako se formira visoka obločna napetost?

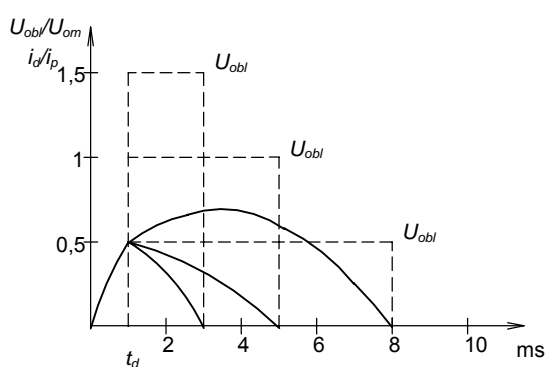


Slika 6 ; Vzpostavljanje obločne napetosti s pomočjo delnih oblokov

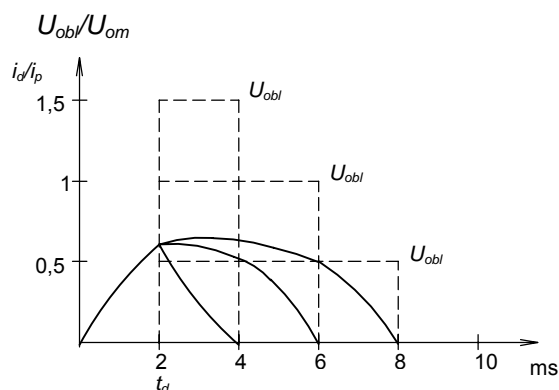
Z razdelitvijo obloka v t.i. »delne« obloke prihaja do seštevanja posameznih obločnih napetosti in do potrebne višine obločne napetosti, ki skupaj s padcem napetosti na odklopniku predstavlja dovolj visoko vrednost napetosti na sponkah odklopnika, da zagotavlja funkcijo omejevanja toka kratkega stika. V praksi se uporabljajo obločne komore z 12-13 pločevinami, kar pomeni da se v njej ustvari 13-14 delnih oblokov. Obločna napetost v komori daje torej odločilen prispevek k omejevanju toka kratkega stika. Če se sedaj vrnemo na oscilogram toka in napetosti, vidimo, da je višina obločne napetosti v glavnem neodvisna od višine pričakovanega toka kratkega stika, kar pomeni, da se s povečevanjem kratkostičnega toka povečuje tudi celotni integral. Na drugi strani pa je celotni integral zelo odvisen od dolžine časov zakasnitev. Skratka, čimprej se vzpostavi dovolj visoka obločna napetost, tem manjši je celotni integral. To pomeni da je velikost celotnega integrala v odklopniku odvisna v veliki meri od mehanskih sposobnosti mehanizma ter konstrukcije obločne komore s kontakti.

2.4. Vpliv višine obločne napetosti na potek toka v odklopniku

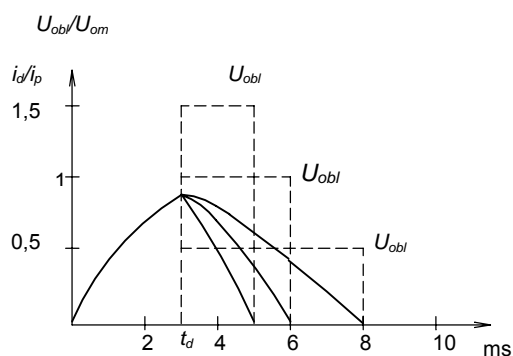
Potek obločne napetosti je v [4] aproksimiran s stopničasto funkcijo, ki je prikazana v naslednjih diagramih:



Slika 7; Stopničasta obločna napetost, $t_d=1$ ms



slika 8; Stopničasta obločna napetost, $t_d=2$ ms



slika 9; Stopničasta obločna napetost, $t_d=3$ ms

Slika 7 prikazuje situacijo trenutka nastanka obločne napetosti 1 msek po začetku toka kratkega stika, stopničasta funkcija obločne napetosti je prikazana za 3 primere:

- obločna napetost U_{obl} znaša $0.5 U_{om}$
- obločna napetost U_{obl} znaša $1.0 U_{om}$
- obločna napetost U_{obl} znaša $1.5 U_{om}$

Slika 8; trenutek nastanka obločne napetosti je 2msek po začetku toka

Slika 9; trenutek nastanka obločne napetosti je 3 msek po začetku toka kratkega stika

Vidimo, da imata čim krajši čas nastanka obločne napetosti in čim večja vrednost obločne napetosti odločilen vpliv na omejevanje toka kratkega stika in torej na izpolnjevanje zaščitne funkcije.

Seveda pa obstajajo omejitve:

- trenutek nastanka obločne napetosti je v zaščitnih odklopnikih povezan z mehansko zakasnitvijo prožilnega in kontaktnega sistema in ga zaradi fizikalnih omejitev ni možno skrajšati na manj kot 1 do 2 milisekunde.
- Vrednost obločne napetosti prav tako ne moremo poviševati preko določenih meja, ki so povezane z dielektrično trdnostjo vseh elementov v električni instalaciji. Visoka vrednost obločne napetosti namreč pomeni hiter padec vrednosti toka, velika vrednost di/dt pa lahko v posameznih porabnikih povzroči dodatne težave.

Vsekakor pa je za zaščitne naprave s funkcijo omejevanja toka pomembno čimprejšnje razklepanje kontaktov in takojšnja vzpostavitev obloka in obločne napetosti.

VIRI, LITERATURA

- [1] W.Rieder: *Plasma und Lichtbogen*, Friedr.Vieweg&Sohn Gmbh Verlag, 1967, strani 35-47, 57-65
- [2] M.Lindmayer, *Schaltgaerete*, Springer Verlag, 1987, stran 14, stran 27
- [3] Johann Wolf, *Der Lichtbogen-das ideale Schaltelement der Schutzschalttechnik*, ETZ, 1994,Heft 16, stran 902 -906
- [4] Martin Bizjak, *Model ablacijsko stabiliziranega obloka v odklopniku*, doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo,1992, stran 74-96
- [5] Koprivšek: *Nizkonapetostne varovalke in odklopniki, primerjava delovanja v pogojih visokih kratkostičnih tokov*, Kotnikovi dnevi, Radenci 2003.