

Kratkostična zaščita v tokokrogih z enosmerno (D.C.) napetostjo

Avtorji: Viktor MARTINČIČ univ. dipl. inž. el., ETI Elektroelement
mag. Mitja KOPRIVŠEK univ. dipl. inž. el., ETI Elektroelement
Branko PESAN, univ. dipl. inž. el., ETI Elektroelement

Povzetek:

V zadnjem obdobju narašča pomen uporabe taljivih varovalk kot zaščitnega elementa v tokokrogih z enosmerno napetostjo. V članku je predstavljeno nekaj teoretičnih izhodišč z razlago osnovnih pojmov o enosmernih tokokrogih. V nadaljevanju je opisano nekaj najpogostejših področij uporabe, kjer konvencionalna kratkostična zaščita ni več zadovoljiva in prihaja do posebnih zahtev projektantov oz. uporabnikov. V zadnjem delu prispevka predstavljamo nekaj novosti iz proizvodnega programa ETI d.d., ki so bile razvite za področje enosmernih tokokrogov in kratek opis svetovnih trendov na tem področju.

UVOD - TEORETIČNA IZHODIŠČA

Tako imenovane »DC« varovalke v zadnjem času hitro pridobivajo na pomenu, zato si bomo nekoliko podrobneje ogledali »stanje tehnike« na področju kratkostične zaščite v tokokrogih z enosmerno napetostjo.

Varovalke so univerzalni zaščitni element tako za izmenične (a.c) kot za enosmerne (d.c.) tokokroge. Sposobnost prekinitve kratkostičnega toka (KS) je seveda različna za AC in DC pogoje uporabe in ni preproste formule, s katero bi lahko preprosto določili vrednost največje dovoljene DC napetosti na osnovi podatkov o maksimalni AC napetosti določenega talilnega vložka. Za pravilno razumevanje uporabe varovalk v DC tokokrogih moramo torej poznati nekaj osnovnih informacij o principu njihovega delovanja.

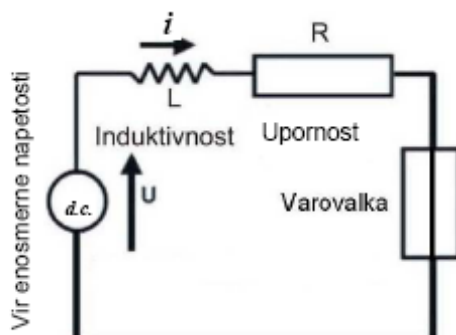
Tokovno-časovno karakteristike in ostale lastnosti močnostnih varovalk, običajno objavljene v proizvajalčevih katalogih, so praviloma osredotočene na a.c. vrednosti za frekvenco 50Hz (ponekod tudi 60Hz). Napetost te frekvence je najpogostejša v javnih in industrijskih sistemih oskrbe z električno energijo.

Tudi varovalke, namenjene za uporabo v enosmernih tokokrogih so se v preteklosti že uporabljale – predvsem v nizkoenergijskih in nizkonapetostnih tokokrogih (napr. v napravah zabavne elektronike in kot kratkostična zaščita v avtomobilskih inštalacijah). Seveda je poznano tudi nekaj običajnih primerov uporabe d.c. varovalk na nekaterih nišnih trgih kot napr. zaščita elektromotorjev vlečnih vozil (lokomotive, tramvaji), elektromagnetov in tovornih vozil, ki za pogon uporabljajo energijo iz akumulatorjev (viličarji). Primer varovalke za viličarje:



OSNOVNO O DC TOKOKROGU

Na naslednji sliki je prikazana osnovna shema DC tokokroga. Vir enosmerne napetosti (d.c.), tuljava (z induktivnostjo L) in upor z upornostjo R so zaporedno vezani v tokokrog, kamor je vključena tudi varovalka.



V primeru napake-kratkega stika, tok v vezju naraste po eksponentni krivulji, kot je prikazano na **grafu A**. Matematično lahko naraščanje toka v vezju zapišemo z enačbo

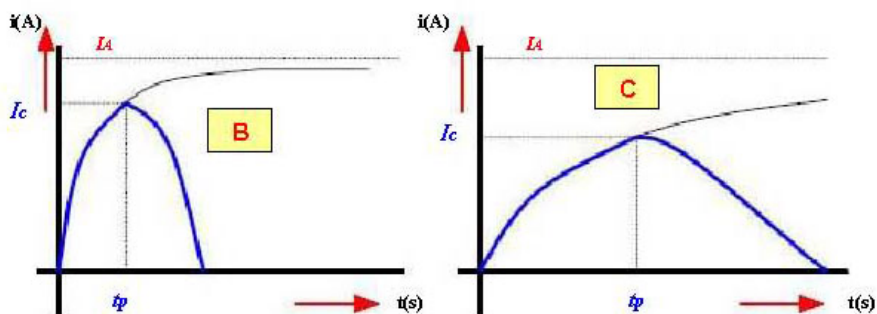
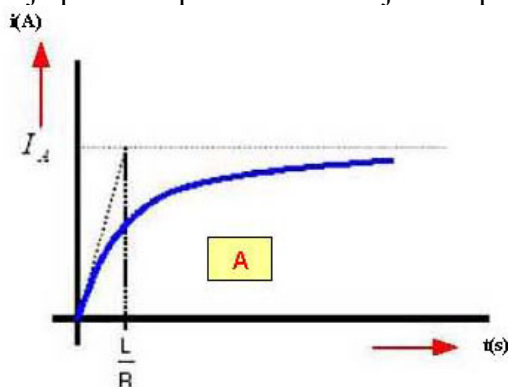
$$i = I_A \cdot (1 - e^{-(L/R)t})$$

Vrednost razpoložljivega toka I_A , (običajno imenovanega tudi pričakovani I_P) je določena po ohmovem zakonu $I_A = U/R$, vrednost $L/R = T$ časovna konstanta. Gornja enačba pokaže vpliv konstante L/R na talilni čas varovalke, ker je

$$di/dt = U/L = I_A / T$$

Sledi torej, da čim večja je časovne konstante L/R , tem nižji je odvod toka po času di/dt in daljša je talilna faza.

V **grafu B** je zaradi nižje induktivnosti naraščanje toka hitrejše in talilni čas je krajši v primerjavi z razmerami v **grafu C**, kjer je prikazan primer naraščanja toka pri veliki časovni konstanti.



PODROČJA UPORABE IN DIMENZIONIRANJE

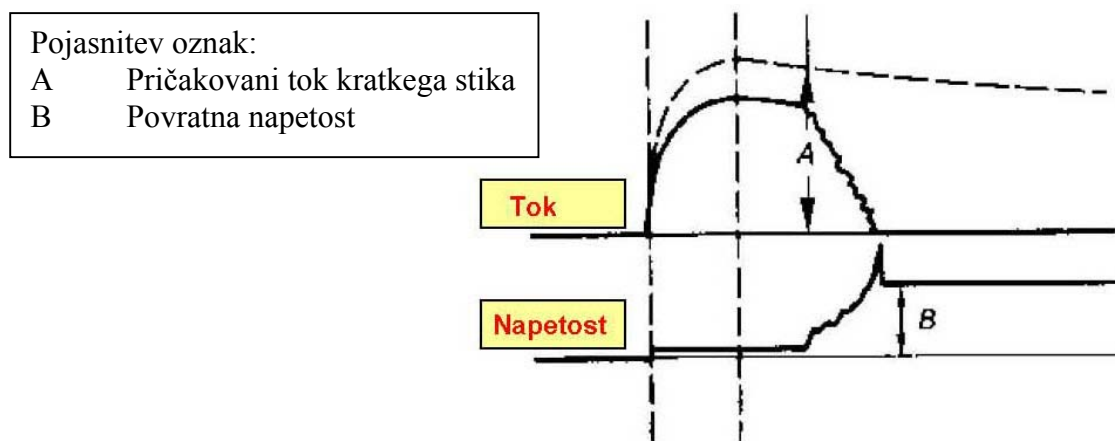
Prihajajoče nove tehnologije zahtevajo nova znanja tudi o delovanju d.c. tokokrogov. Nova in hitro rastoča področja, na katerih lahko pričakujemo potrebo po d.c. talilnih vložkih so predvsem:

- Sistemi brezprekinitvenega napajanja
- Bazične postaje za mobilne telekomunikacije
- Fotonapetostni sistemi (sončne celice) – pridobivanje električne energije
- Avtomobili na električni pogon

Večina novih aplikacij temelji torej na virih, ki imajo omejene kratkostične tokove v primerjavi s konvencionalnimi d.c. napajalniki, ki enosmerno energijo neposredno pretvarjajo iz a.c. omrežja (neomejenega) in prav to daje dimenzioniranju in izboru d.c. varovalke posebno specifiko.

ANALIZA PREKINITVE ENOSMERNEGA TOKA V RAZLIČNIH PODROČJIH

Ena od osnovnih lastnosti varovalk je sposobnost da v primeru kratkostičnega toka ustvarijo visoko oblačno napetost, ki »preseže« povratno napetost in tako »prisili« kratkostični tok k zmanjšanju na vrednost 0, namesto da bi nekontrolirano rasel do vrednosti pričakovanega toka kratkega stika.



Varovalke so torej na splošno primerne za prekinitve izmeničnega a.c., kakor tudi enosmernega d.c. toka. **V kratkostičnem področju** (bližina nazivne izklopne zmogljivosti) so fizikalni procesi v notranjosti varovalke v obeh primerih identični.

Razmere v **preobremenitvenem območju** (manjši preobremenitveni tokovi) pa so za a.c. in d.c. tok popolnoma različne. Medtem ko pri izmeničnem toku periodično prehajanje skozi ničlo pomaga pri ugasitvi obloka, mora talilni vložek v primeru prekinitve d.c. toka »absorbirati« celotno magnetno energijo shranjeno v fazi obloka. Posledica je torej, da je d.c. izklopna zmogljivost obratnosorazmerna shranjeni magnetni energiji, oziroma časovni konstanti tokokroga. Večja kot je časovna konstanta, manjša je d.c. izklopna zmogljivost – po pravilu je torej manjša od a.c. izklopne zmogljivosti.

Niskonapetostne močnostne varovalke (varovalke namenjene v glavnem za industrijsko uporabo, glej standard IEC 60269-2, Ed.3, 11/2006) imajo minimalno (po omenjenem standardu) določeno ozklopno zmogljivost **50kA a.c.** in **25kA d.c.**

Vrednost za d.c. izklopno zmogljivost je določena na osnovi časovne konstante **15ms**, ki ustreza večini industrijskih kontrolnih in bremenskih tokokrogov. Izklopna zmogljivost varovalk v tokorogih z večjo časovno konstanto (kjer so uporabljeni veliki d.c. motorji), je ustrezno **prilagojena – zmanjšana** (ang. de-rated).

Seveda velja tudi obratno: v vezjih, kjer ni pričakovati velikih induktivnosti (akumulatorski napajalniki) lahko pričakovano izklopno zmogljivost tudi povečamo.

Na D.C. izklopno zmogljivost talilnega vložka moramo torej vedno gledati v povezavi s časovno konstanto, ki velja za trenutno obravnavan tokokrog.

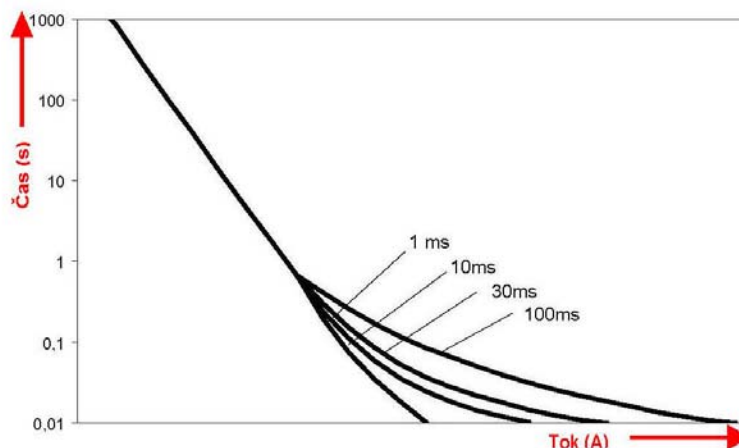
Podrobnejši podatki so običajno na voljo pri proizvajalcu taljivih vložkov ali pa jih ugotovimo s testiranjem. Tipične časovne konstante za nekatere najpogostejše primere uporabe so navedene v naslednji tabeli:

Aplikacija	Časovna konstanta (ms)
Enosmerni industrijski kontrolni in močnostni tokokrogi	≤ 10
Akumulatorski napetostni viri in UPS sistemi	≤ 5
Enosmerni motorji in pogoni	20 do 40
Magneti in generatorji	več kot 1000

VPLIV ČASOVNE KONSTANTE NA I/t KARAKTERISTIKE

Povprečne časovno-tokovne karakteristike, ki jih priskrbi proizvajalec, navajajo a.c. efektivne srednje vrednosti (r.m.s. vrednosti) talilnih tokov. Te vrednosti lahko uporabimo tudi za d.c. razmere, po izkušnjah iz prakse seveda samo v območju daljših izklopnih časov – naprimer pri talilnih časih **daljših od 20 kratnika časovne konstante (nad 300-400ms)**.

Ob prehodnih pojavih pa so trenutne in efektivne vrednosti lahko precej drugačne, zato so tudi časovno-tokovne karakteristike odvisne od časovne konstante. (glej sliko na koncu tega poglavja).



NOVOSTI IZ PROIZVODNEGA PROGRAMA ETI d.d.

Vodilni svetovni proizvajalci talilnih vložkov FERRAZ, BUSSMANN in LITTELFUSE imajo v svojih proizvodnih programih zelo široke palete varovalk za uporabo v enosmernih tokokrogih. To področje je zelo razvito predvsem v ZDA, medtem ko v Evropi še ni dovolj dobro poznano. Zato tudi ne sme čuditi podatek, da je večina t.i. DC varovalk razvita dimenzijah, ki jih v Evropi redko vidimo – nekaj primerov je prikazano na naslednjih dveh slikah.



V ETI d.d. se zavedamo, da postaja področje kratkostične zaščite enosmernih tokokrogov vse pomembnejše, zato smo v zadnjem času razvili dve novi družini varovalk in sicer v standardnih IEC (DIN) Evropskih dimenzijah - **NV TELECOM** in **NV DC**:

- **NV TELECOM**

Ta tip talilnih vložkov je razvit posebej za kratkostično zaščito enosmernih tokokrogov in enosmernih napajalnikov v telekomunikacijskih napravah. Običajno mesto priključitve teh varovalk so izhodi močnostnih usmernikov, priključki akumulatorjev ali DC napajalniki.

Vse lastnosti NV TELECOM talilnih vložkov so v največji meri prilagojene pogojem delovanja opreme za napajanje telekomunikacijskih naprav. Nizke izgubne moči in stikalne napetosti omogočajo optimalno delovanje in zaščito tokokrogov v telekomunikacijskih inštalacijah in napravah. Talilni vložek **ETI TELECOM NH00** s t.i. »Back-up« karakteristiko deluje v omejenem območju tokovne osi, torej od nekega minimalnega dovoljenega toka dalje do nazivne izklopne zmogljivosti. Odlikuje ga velika izklopno zmogljivost (25kA d.c.) in talilni element iz čistega srebra, odporen na staranje.



Varovalke NV TELECOM so zaenkrat razvite samo v standardni IEC velikosti **NV00** za napetosti do **80V d.c.** in za nazivne tokove **od 160A do 800A**. V tej velikosti je običajno največji dovoljen tok **$I_n=160A$** in maksimalna dovoljena nazivna moč **$P_n=12W$** (glej IEC 60269-2, Ed.3, 11/2006).

Predviden način montaže NV TELECOM je v ustrezno dimenzioniranem varovalčnem ločilnem stikalu. Zaradi nazivnih tokov talilnega vložka **do 800A** in izgubnih moči **do 38W** je zelo pomembno, da ima NV podnožje ali varovalčno ločilno stikalo pravilno dimenzionirane priključne vodnike in kontaktne dele.

Informacija: zaradi zahtev trga je v pripravi že nova generacija **NV TELECOM 170V d.c.** z nazivnim tokom **175A**. V ETI d.d. se zavedamo, da se je na področju varovalk za posebne namene uporabe (kar NV TELECOM varovalke nedvomno so) potrebno odzivati na specifične zahteve uporabnikov, zato smo pripravljene razviti tudi talilne vložke s »posebnimi« nazivnimi tokovi in ne samo tiste, prikazane v naslednji tabeli:

NV TELECOM (80V d.c.)

Nazivni tok (A)	Velikost	Nazivna izgubna moč (W)	Nazivna izklopna zmogljivost (kA)
160	NV 00	9	25
250		12.5	
400		17.5	
630		28	
800		37.5	

Tip indikatorja:

Standarden, na gornjem pokrovu talilnega vložka ali indikatorska igla (več podatkov v ETI katalogih)

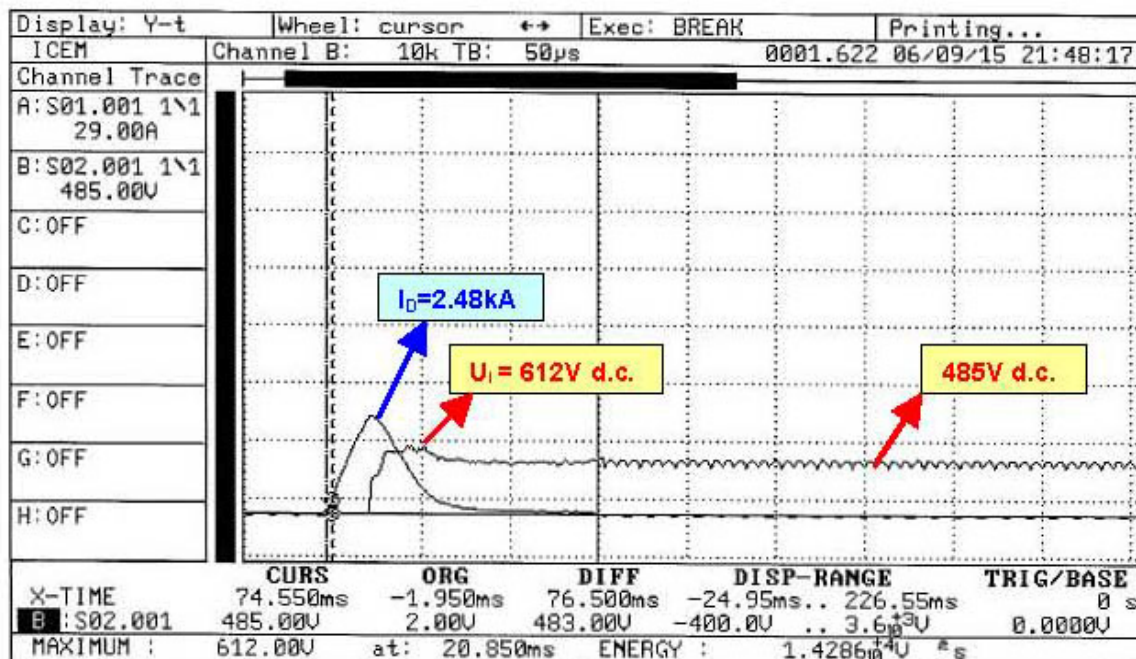
- **NV DC**

Dosedanja praksa proizvajalcev varovalk je bila, da so v fazi certificiranja svojih izdelkov opravili samo teste na izmenični napetosti (400C a.c., 500V a.c. ali 690V a.c.). Zaradi skoraj vedno omejenih stroškov in tudi zaradi ne-prevelikega zanimanja kupcev so bili testi na enosmerni napetosti prej izjema kot pravilo - običajno so 500V a.c. talilni vložek v svojih prospektih deklarirali kot 250V d.c.

Z razvojem raznovrstnih novih aplikacij, tudi področja močnostne elektronike v usmernikih, razsmernikih in frekvenčnih generatorjih je nastala potreba po talilnih vložkih, ki so sposobni zanesljivo prekiniti tudi večje enosmerne napetosti. V ETI smo torej na osnovi zahtev kupcev, ki v svojih standardnih aplikacijah – instalacijah opažajo, da jim običajni gG talilni vložki 500V a.c. ne zadoščajo več v popolnosti razvili novo družino varovalk **NV DC** za nazivno napetost **440V**.

Glede na trenutne zahteve potencialnih kupcev smo se odločili za nazivne tokove **od 20A do 250A** v standardnih velikostih **NV00C, NV00, NV1C in NV1**. V *močnostnem laboratoriju v Infrastrukturnem centru za energetske meritve ICEM Maribor* smo opravili tudi večino kratkostičnih testov na pričakovanih tokih kratkega stika **od 4.700A do 12.100A** pri časovni konstanti tokokroga 20ms. Primer izklopa enega od talilnih vložkov je prikazan na naslednjem oscilogramu.

Pričakovani tok kratkega stika: $I_p=4.720A$, odrezani tok pri časovni konstanti $20ms$ je bil $I_D=2.48kA$.



Tehnični podatki NV DC (440V d.c.).

Nazivni tok (A)	Velikost				Nazivna izklopna zmogljivost (kA)
	00C	00	1C	1	
20	max 7,2W		max 21,9W		25
25					
32					
40					
50					
63	max 15,1W				
80					
100					
125					
160				max 31,3W	
200					
250					

Tip indikatorja:

Standarden, na gornjem pokrovu talilnega vložka (več podatkov v ETI katalogih)