

Srđan Savić
ssavic@etfos.hr

Hrvoje Glavaš
hrvoje.glavas@ferit.hr

Tin Benšić
tin.bensic@ferit.hr

Dražen Dorić
drazen.doric@ferit.hr

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek

PRAKTIČNA PROVJERA KARAKTERISTIKA HRC OSIGURAČA

SAŽETAK

Osigurači kao komponenta elektroenergetskog sustava dugo je bio jedini element zaštite. Jednostavna konstrukcija u pozadini krije kompleksno ponašanje. Posljednje značajno unapređenje u samoj konstrukciji dogodilo se 1939. godine pojavom M-efekta koji značajno pridonosi kontroli odziva. Cilj rada je na praktičnom primjeru HRC osigurača provjeriti kataloški iskazanu vremensko strujnu karakteristiku. Za ispitivanje korišten je strujni izvor Megger CSU600A/AT na koji je spojen HRC osigurač nazivne vrijednosti 25 A, veličine 00, razreda gG. Uz pomoć IOtech WaveBook 512 i programske podrške DASYLab vršeno je mjerenje vremenskoga tijeka struje i napona te određivanje vremena prorade osigurača za tri karakteristične vrijednosti struje. Prilikom postupka mjerenja struje i napona provedeno je i mjerenje temperature. Ovisnost promjene otpora uslijed disipacije prikazana je grafički. Vremena dobivena mjerenjem kroz postupak praktične provjere vremensko strujne karakteristike poklapaju se sa vrijednostima iz kataloga. Može se zaključiti da korišteni HRC osigurači predstavljaju iznimno pouzdane elemente sustava sa poznatim ponašanjem.

Ključne riječi: osigurači, HRC, vremensko-strujna karakteristika

PRACTICAL VERIFICATION OF HRC FUSE LINK CHARACTERISTICS

SUMMARY

Fuses as one of the oldest element of the electric power system and for the long period of time has been only element of protection. Basically simple construction conceals complex physical behavior in the background. The last significant improvement in the construction occurred in 1939 with the discovery of so-called M-effect, which made significant contribution to the physical behavior. The aim of the work is to check the catalog time-current characteristic on a practical example of the HRC fuse link. For testing, the Megger CSU600A / AT power source was connected to a HRC fuse rating of 25 A, size 00 gG. With the help of IOtech WaveBook 512 and DASYLab, current and voltage measurements were performed, ie the fuse rating for three characteristic current values. During the measurement of the current and voltage, the measurements of temperature was performed. The dependence of resistance changes due to dissipation is shown graphically. The time obtained by measuring through the practical check of the time-current characteristic matches the values from the catalog. It can be concluded that used HRC fuses links represent extremely reliable elements of system with well known characteristics.

Key words: fuses, HRC, time-current characteristics

1. UVOD

Osigurači se ubrajaju u osnovne elemente elektroenergetskog sustava. Početne jednostavne izvedbe ispoljavale su kompleksno ponašanje. Značajno unapređenje dogodilo se 1939. godine pojavom tzv. M-efekta koji značajno pridonosi kontroli odziva. Rad daje kratki pregled povijesnog razvoja osigurača, standarde vezane uz osigurače i praktičan primjer provjere kataloških karakteristika HRC osigurača. Ispitivanje je provedeno uz pomoć izvora Megger CSU600A/AT, IOtech WaveBook 512 i programske podrške DASyLab. Mjerenje vremena prorade osigurača za tri karakteristične vrijednosti struje uspoređeno je sa kataloškim podacima.

2. HRC OSIGURAČI

2.1. Povijesni razvoj rastalnih osigurača

U 17. stoljeću s pojavom električne energije pojavila se i potreba za zaštitom električnih uređaja. Rastalni osigurač je aparat koji taljenjem jednog ili više svojih rastalnih elemenata otvara strujni krug prekidanjem struje kad ona kroz dovoljno vrijeme premašuje određenu vrijednost. Osigurač se, u današnje vrijeme, sastoji od držača i rastalnog uloška.

Prvi osigurači bili su jednostavne konstrukcije, sastavljeni dvije niti spojene materijalom niskog tališta, [1] Do danas osigurači su predmet brojnih istraživanja, no i dalje postoji prostor za usavršavanje. Trenutno postoje osigurači od nazivne vrijednosti od nekoliko miliampera do vrijednosti kiloampera. Kronološki promatrano [1-3] vrijedno je spomenuti neka značajna unapređenja rastalnih osigurača:

- 1774. - Edward Nairne - elektrostatika, prvi spomen osigurača u sklopu zaštite od munje
- 1846. - Louis François Clément Breguet - koristi tanke žice za zaštitu telegrafa od munje
- 1864. - Sir William Henry Preece - zaštita kabela osiguračima
- 1874. - Sir David Salomons - prvo izvješće o korištenju osigurača
- 1879. - S. P. Thompson - patentirao osigurač koji se sastojao od dvije žice spojene na kuglu koja je bila legura kositra i olova ili od materijala niskog tališta
- 1880. - Joseph Swan - žarulja s osiguračem
- 1980. - Thomas Alva Edison - prvi patent osigurača u staklenom kućištu
- 1883. - C. V. Boys i H. H. Cunyngham - patentirali osigurač koji se sastojao od dvije žice na krajevima zalemljene materijalom niskog tališta
- 1887. - Udruženje inženjera telegrafista - Prva publikacija o osiguračima
- 1890. - W. A. Mordey - dodaje ispunu od ne zapaljivog materijala (kreda, pijesak, azbest)
- 1900. - Siemens Brothers, ZED osigurači,
- 1939. - A. W. Metcalf - M-efekt
- 1971. - realiziran osigurač s elementom u obliku zavojnice

2.2. Norme vezane uz osigurače

Postoji nekoliko međunarodnih standarda koji pokrivaju područje zaštite primjenom rastalnih osigurača. U Europi se primjenjuje normativ IEC (International Electrotechnical Commission):

- IEC 60127 - pokriva male osigurače za unutrašnju upotrebu
- IEC 60269 - pokriva osigurače niskog napona 1000 Vac, 1500 Vdc, $\geq 6\text{kA}$.
- IEC 60934 - pokriva zaštitu u električnoj opremi 440 Vac, 250 Vdc, 125 A.
- IEC 60947 - osigurači s lijevanim kućištem 1000 Vac, 1500 Vdc, do 6300A.
- IEC 60898 - zaštita objekata 400V, 6A do 125A.

Za potrebe realizacije rada korištena su dvije važeće hrvatske norme HRN EN 60269-1:2009/A2:2015 Niskonaponski osigurači -- 1. dio: Opći zahtjevi [4] i HRN HD 60269-2:2013 Niskonaponski osigurači -- 2. dio: Dodatni zahtjevi za osigurače kojima rukuju stručne osobe (osigurači uglavnom namijenjeni za primjenu u industriji), [5]. Pored navedenog izvršen je uvid u normu koja nije više u upotrebi, ali je dobro poznata svima koji se koriste rastalnim osiguračima JUS N.E5.005 X,1962.

2.3. Karakteristike HRC osigurača

Ispitivanje u ovom radu provedeno je na visokoučinskim osiguračima HRC (engl. High Rupturnig Capacity). Visokoučinski niskonaponski HRC rastalni osigurači se često izvode u tzv. NH izvedbi (njem. Niederspannungs Hochleistungs) pravokutnog presjeka s nožastim priključcima, po njemačkoj DIN normi (slika 1). Koriste se uglavnom za industrijske primjene, u tvorničkim sustavima razvoda energije, kao i u niskonaponskim distribucijskim mrežama. Životni vijek im je u prosjeku 20 godina. Veličine NH osigurača i njihovih podnožja označavanju se, sukladno normi, oznakama: 000, 00, 1, 2, 3, 4, 4a, za vrijednosti nazivne prekidne struje od 6 A do 1250 A, te za napone od 400 do 690 V.

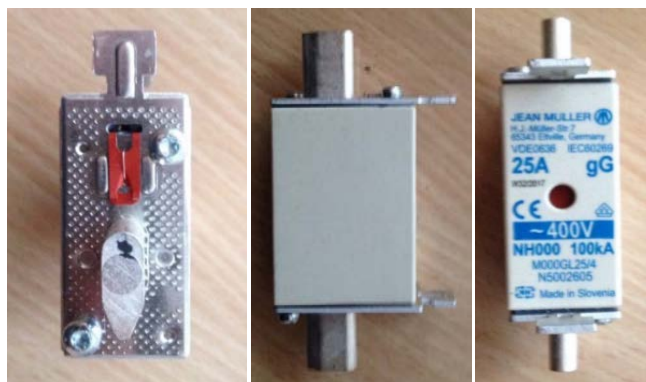
Po razredima djelovanja dijele se u dvije skupine:

- g – osigurač koji pod određenim uvjetima može prekidati sve struje koje dovode do topljenja elementa osigurača do nazivnog prekidnog kapaciteta; koriste se za zaštitu krugova bez značajnijih strujnih preopterećenja kod pokretanja
- a – osigurač koji pod određenim uvjetima može prekidati sve struje između najniže struje navedene na njegovu radnom vremenskom strujnom svojstvu i nazivnog prekidnog kapaciteta; rastani ulošci koji se koriste za zaštitu opreme s visokim strujnim preopterećenjima

Pored razreda djelovanja nalazimo i veliko slovo koje označava osigurače:

- gG - prekidne moći punog kapaciteta za opću primjenu,
- gM - prekidne moći punog kapaciteta za zaštitu elektromotornih pogona
- aM - djelomične prekidne moć za zaštitu elektromotornih pogona
- gD - prekidne moći punog kapaciteta s vremenskim zatezanjem i
- gN - prekidne moći punog kapaciteta bez vremenskog zatezanja.

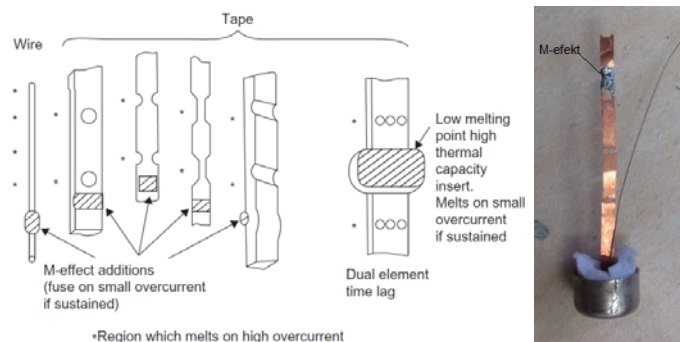
Visokoučinski NH osigurač prikazan je na slici 1. Izvršni elementi osigurača općenito su izrađeni od bakrene trake. Tijelo je obično izrađeno od keramičkih ili visokotemperaturnih termoplastičnih materijala. Tijelo ima pravokutni vanjski presjek s kružnom uzdužnom rupom kroz njih, a završne ploče, zajedno s kontaktima oštice, pričvršćene su na tijelo s vijcima [1]. Na sredini osigurača nalazi se indikator prorade koji ne prikazuje uvijek stvarno stanje osigurača.



Slika 1. HRC / NH osigurač 25A

Jedan od većih problema prekidnog elementa od bakra je visoka temperatura tališta koja iznosi oko 1000 °C za mala opterećenja. Zato se središnji dio niti osigurača presvuče materijalom niske točke tališta, kositrom. Na malim opterećenjima koji rezultiraju temperaturama iznad točke taljenja kositra 232 °C difuzijskim procesom dolazi do otapanja bakra u tekućem kositru i na taj način se prekidaju manja opterećenja dok sam bakar na oslabljenim mjestima prekida velika opterećenja. Ova pojava se zove M-efekt [7] prikazana slikom 2, a otkrio ju je 1939. godine A. W. Metcalf i objavio u radu pod nazivom "A new fuse phenomena", [2].

U normalnom pogonu dolazi do disipacije koja podiže temperaturu osigurača iznad temperature okoline. Sukladno HRN EN 60269-1 radna temperatura okolnog zraka T_a ne bi trebala prelaziti 40 °C, a srednja vrijednost izmjerena tijekom 24 sata 35 °C dok srednja godišnja temperatura treba biti još niža. Povećanje temperature HRC osigurača na kontaktima ne bi trebalo prelaziti 75 °C, a na priključnim elementima 65 °C. Važno je napomenuti da kataloške vremensko-strujne karakteristike [6] prikazuju svojstva za ambijentalnu temperaturu 20 °C.



Slika 2. M-efekt, izvor [8-9]

3. PROVJERA KARAKTERISTIKE HRC OSIGURAČA 25 A gG

Provedba ispitivanja osigurača opisana normom HRN EN 60269-1 iziskuje ispitno mjesto. Praktičnom ispitivanju pristupilo se koristeći raspoloživu opremu, [9]. Za ispitivanje korišten je strujni izvor Megger CSU600A/AT prikazan na slici 3.

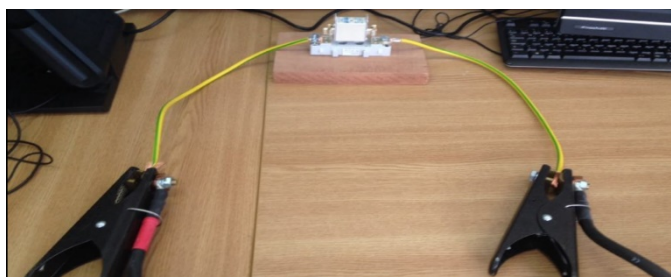


Slika 3. Megger CSU600A/AT

Izvor je u mogućnosti dati struju do 600 A. Tablica II prikazuje karakteristiku izvora.

Tablica II. Karakteristika strujnog izvora Megger CSU600A/AT

Struja [A]	0	75	100	200	300	400	500	600
Vrijeme držanja struje na izlazu	konstantno	konstantno	1h	5 min	2 min	1 min	30 s	20 s
Izlazni napon [V]	9,5	9,3	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5



Slika 4. HRC osigurač 25 A spojen na strujni izvor Megger CSU600A/AT

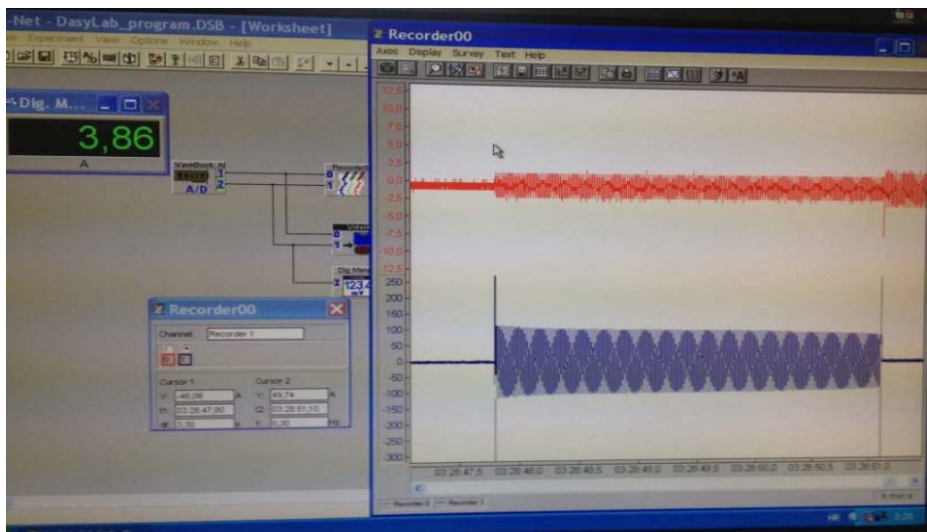
Uz pomoć IOtech WaveBook 512 i programske podrške DASYLab izvršeno je mjerenje struje i napona tj. vremena prorade osigurača za tri karakteristične vrijednosti struje. Na slici 5 prikazan je IOtech

WaveBook 512 i strujna kliješta koja su korištena za prikupljanje informacije o vrijednosti struje. Naponske stezaljke IOtech WaveBook 512 spojene su izravno na stezaljke izvora što je vidljivo na slici 3.



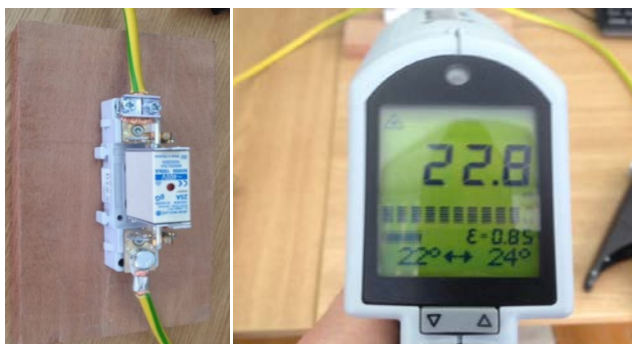
Slika 5. IOtech WaveBook 512 i strujna kliješta

Programska podrška DASYLab pohranjivala je podatke s instrumenta u realnom vremenu. Na slici 6 vidljiv je prikaz na zaslonu računala i izgled oscilograma struje i napona.

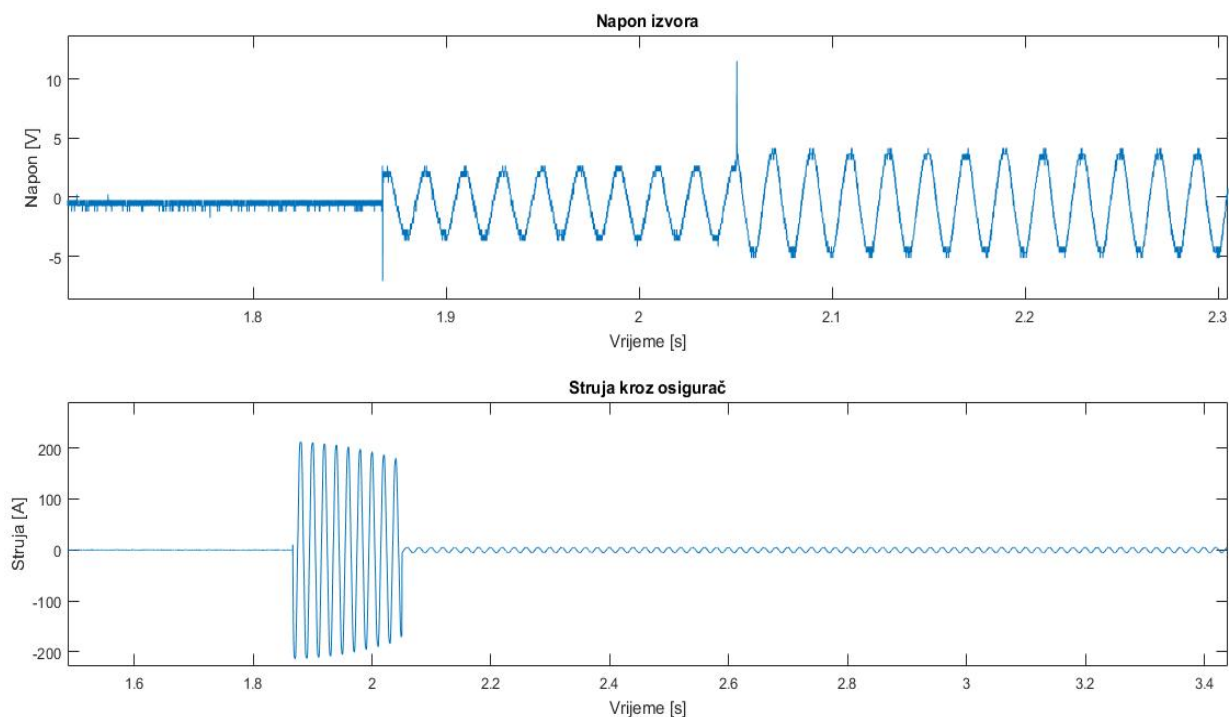


Slika 6. DASYLab okruženje s prikazom promjene struje i napona u vremenu

Tijekom procesa mjerenja mjerene su vrijednosti temperature tijela osigurača Raytek infracrvenim beskontaktnim termometrom. Vrijednost emisivnosti podešena je na porculan.

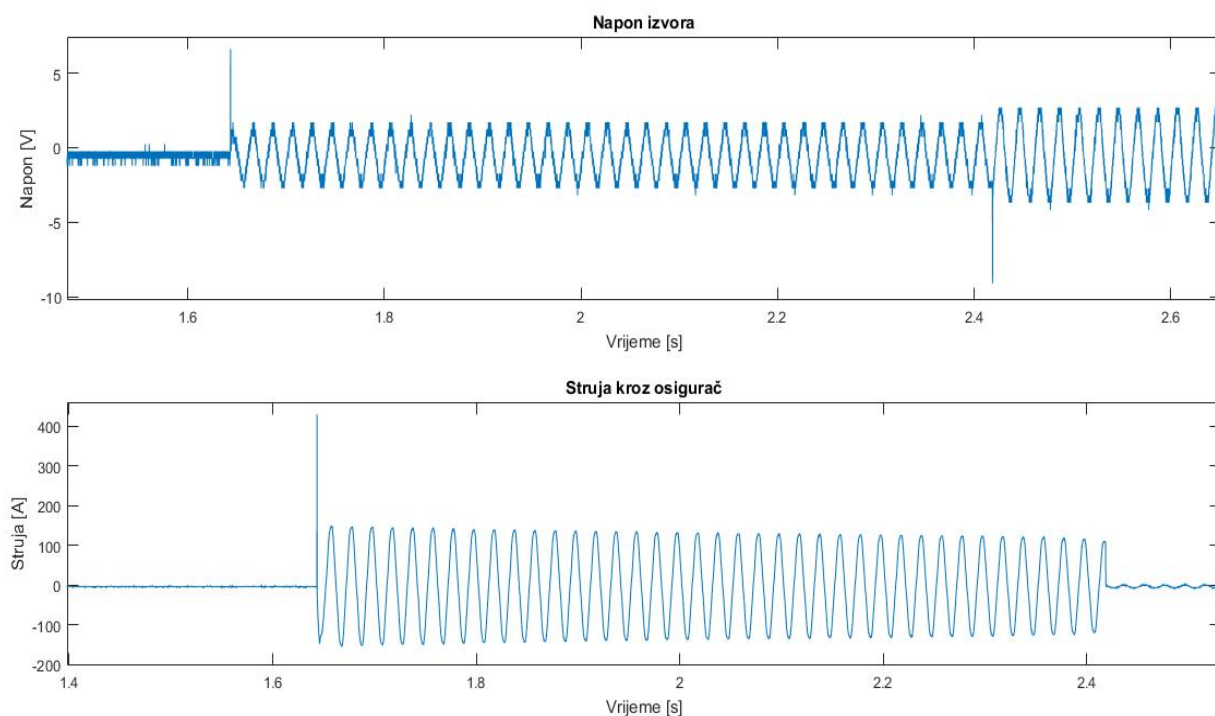


Slika 7. Mjerenje temperature osigurača beskontaktnim Raytek infracrveni termometrom



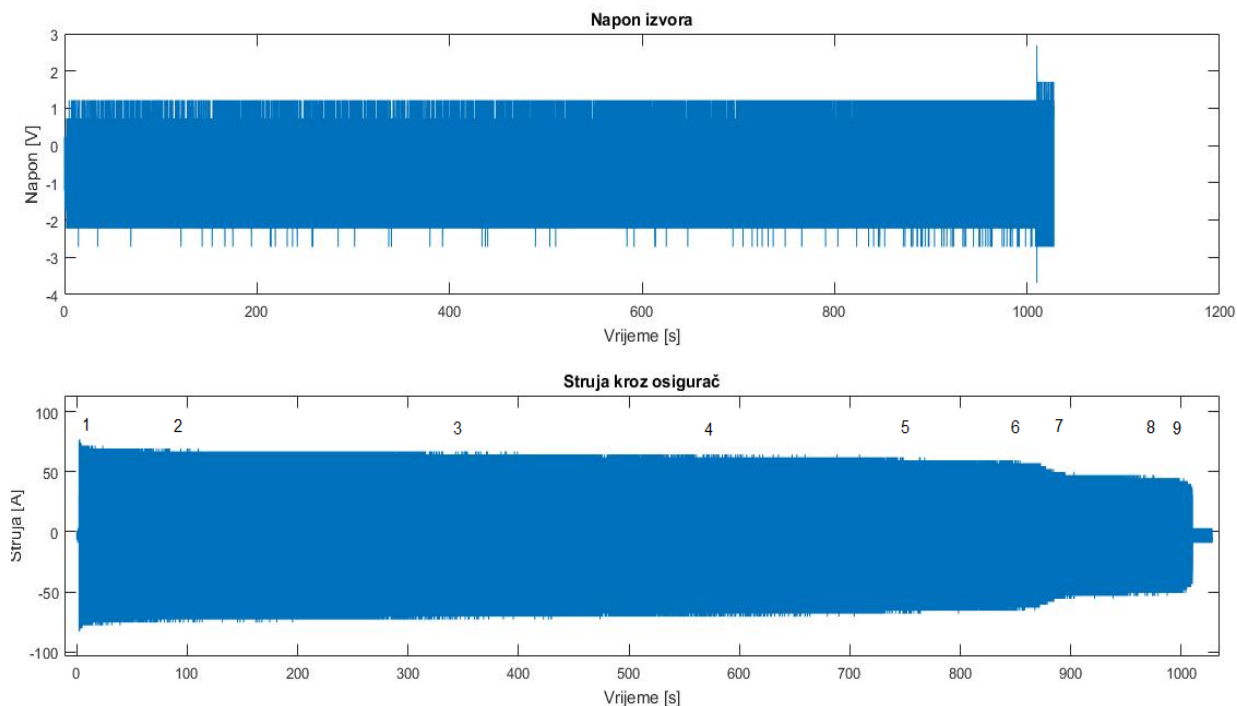
Slika 8. Valni oblik struje i napon u vremenu za vrijednost struje kroz osigurač od 210 A

Na slici 8. vidljiv je valni oblik struje i napona osigurača prilikom pobude od 210 A. U trenutku prorade može se uočiti skok napona, a izgaranja osigurača nastupilo je nakon $t_1=0,165$ s od trenutka uključenja izvora.



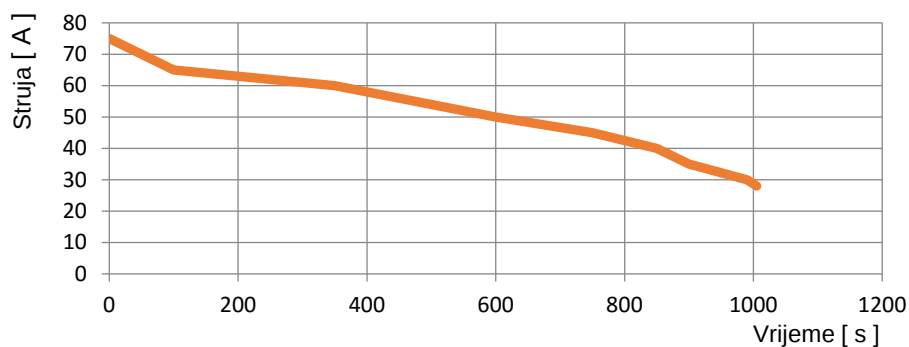
Slika 9. Valni oblik struje i napon u vremenu za vrijednost struje kroz osigurač od 150 A

Na slici 9. vidljiv je valni oblik struje i napona osigurača prilikom pobude od 150 A. Vrijeme izgaranja osigurača nastupilo je nakon $t_2=0,77$ s od trenutka uključenja izvora

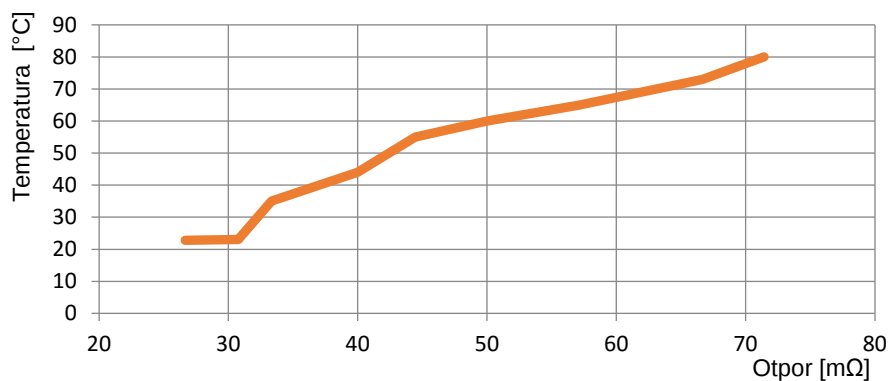


Slika 10. Valni oblik struje i napon u vremenu za vrijednost struje kroz osigurač od 75 A

Na slici 10. prikazan je valni oblik struje i napona za pobudu od 75 A. Zbog dugog vremena mjerenja gubi se razlučivost po vremenskoj osi pa se na slici 10. ne uočavaju sinusni valni oblici struje i napona već se može pratiti samo envelopea mjerenog signala koja daje informaciju o iznosu struje. Vrijeme potrebno za izgaranja osigurača iznosi $t_3=1010$ s. Promjena struje tijekom 17 minuta prikazana je slikom 11. Do promjene iznosa struje je došlo zagrijavanjem osigurača koji je mijenjao svoj otpor. Promjena otpora u ovisnosti o temperaturi prikazana je na slici 12.

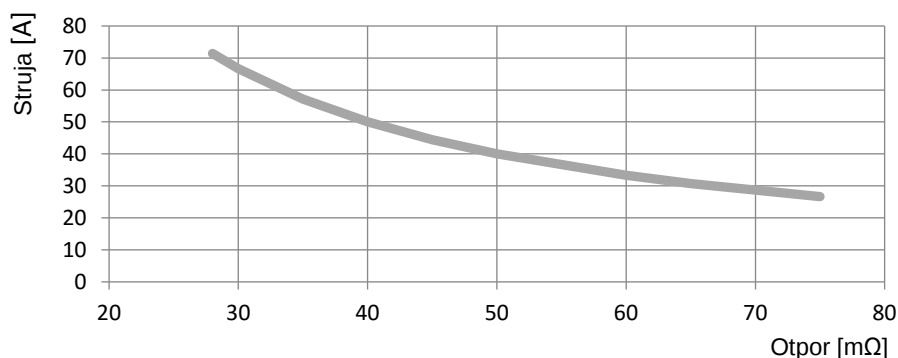


Slika 11. Promjena vrijednost struje



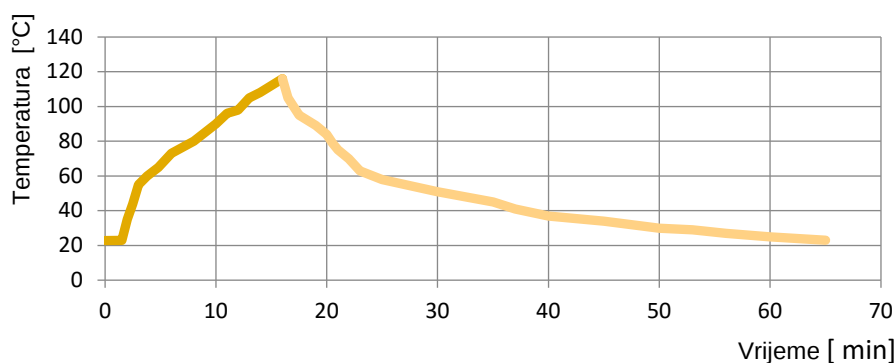
Slika 12. Promjena vrijednosti otpora osigurača o ovisnosti temperature

Struja kroz osigurač se smanjuje promjenom otpora što je vidljivo na slici 13.



Slika 13. Ovisnost struje kroz osigurač o povećanju otpora

Mjerenje temperature osigurača od početne ambijentalne T_a pa do hlađenja na temperaturu okoline prikazano je slikom 14. Vrijednosti mjerenja temperature kod nižih preopterećenja mogla bi se iskoristiti za utvrđivanje vremena prorade osigurača u nedostatku mjerne opreme.



Slika 14. Temperatura osigurača od 25 A pri prolasku struje od 75 A

Uspoređeni rezultati mjerenja vremena prorade HRC osigurača 25 A za struje pobude od 75A, 150A i 210A prikazani su paralelno s kataloškim vrijednostima na slici 15. Neosporno je da bi ispitivanje trebalo napraviti na više različitih vrijednosti struje izvora, ali ako uzmemo u obzir vrijeme potrebno za provedbu mjerenja razvidno je zašto su samo tri mjerena iznosa.



Slika 15. Usporedba rezultata mjerenja s kataloškim vrijednostima

Podaci sa slike 15 u numeričkom obliku vidljivi su u tablici III. Očekivana vremena prorade osigurača za iznos struje od 75 A u potpunosti se poklapa sa kataloški opisom dok za veće iznose vidimo odstupanja od 25 % do 50 % koje je uvažavajući iznose struja i postupak mjerenja prihvatljivo.

Tablica III. Očekivana vremena prorade i izmjerene vrijednosti za pojedine iznose struje

Struja [A]	Očekivano vrijeme [s]	Mjerenje [s]
210	0,220	0,165
150	0,400	0,770
75	1010	1010

4. ZAKLJUČAK

HRC osigurači su namijenjeni za industrijske primjene. Koriste se u distribucijskim mrežama i tvorničkim distribucijskim sustavima. Njihova instalacija i nadzor povjerava se stručnoj osobi. Prosječan životni vijek doseže 20 godina a uvelike ovisi o dinamici potrošača. Jednostavna tehnička izvedba krije složeno fizikalno ponašanje. Prorada ovisi o vrsti poremećaja od kojeg se štiti. U slučaju preopterećenja mjesto na kojem je apliciran kositar pojava koja se naziva M efekt dovodi do prekida bakrenih elementa, a u slučaju kratkog spoja stanjena mjesta izvršnog člana prekidaju strujni krug.

Ispitivanje osigurača opisano je prvim dijelom norme HRN EN 60269 koja se sastoji od četiri dijela. HRC osiguračima posvećen je drugi dio norme. U svakodnevnoj praksi ograničene su mogućnosti provede ispitivanja, ali nadzor temperature i opterećenja osigurača periodična je pojava u svim distribucijskim sustavima.

Rad prikazuje da se sa odgovarajućim izvorom u skromnim uvjetima može provesti kontrola vremensko strujne karakteristike osigurača. Za daljnje istraživanje potrebno je povećati broj mjerenja koje je u našem slučaju zbog potrebnog vremena za provedbu mjerenja i logističkih razloga izostalo. Rezultati ispitivanja pokazuju da se mjerenja pri vrijednostima preopterećenja poklapaju s kataloškim podacima i da su HRC osigurači pouzdani elementi zaštite distribucijskih sustava.

5. LITERATURA

- [1] M. Rupalla, "A Brief Insight Into the World of Device Fuses: Significance and Development of Fuses in Electrical Devices", Hamburg, Diplomica Publishing GmbH, 2015
- [2] A. Wright, P.G.Newbery, "Electric Fuses, 3rd ed.", The Institution of Engineering and Technology, London, UK, 2004
- [3] C.Mullert, "GB299- Fuse Advantages, 2005", URL: www.bezpieczniki.com/strony/artykuly/ferraz/GB199_Fuse_advantages.pdf, (pristup ostvaren 30.04.2018.)
- [4] HRN EN 60269-1:2009/A2:2015 Niskonaponski osigurači -- 1. dio: Opći zahtjevi (IEC 60269-1:2006/am2:2014; EN 60269-1:2007/A2:2014)
- [5] HRN HD 60269-2:2013 Niskonaponski osigurači -- 2. dio: Dodatni zahtjevi za osigurače kojima rukuju ovlaštene osobe (osigurači uglavnom namijenjeni za primjenu u industriji) -- Primjeri normiranih sustava osigurača A do KI1. Prezime1, I2. Prezime2, "Naslov knjige", Publikacija, Izdavačka kuća, mjesto, država, mjesec, godina.
- [6] J. Andersson, M. Ramqvist, "Circuit breakers, Melting fuses and Electronic fuses", Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2010.
- [7] P. Rosen, P.G. Newbery, "Recent advances in HRC fuse technology", Electronic&Power,1983.
- [8] C. Bayliss, B. Hardy: "Transmission and Distribution Electrical Engineering", Newnes, Elsevier, Oxford, UK, 2011
- [9] S. Savić: "Osigurači", diplomski rad u postupku izrade, mentor: izv.prof.dr.sc. Hrvoje Glavaš, sumentor: Tin Benšić, mag.ing., Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2018.