

Ivan Vrbaneč
GME uslužni obrt, vl. Davor Vrbaneč
ivan.vrbaneč@gme.hr

Vedran Kirinčić
Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci
vedran.kirinčić@riteh.hr

Dubravko Franković
Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci
dubravko.frankovic@riteh.hr

Ingrid Sterpin
Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci
ingrid.sterpin@riteh.hr

UTJECAJ FREKVENCIJE DIFERENCIJALNE STRUJE I IMPEDANCIJE PETLJE KVARA NA PRAVOVREMENI ISKLOP RCD UREĐAJA

SAŽETAK

RCD uređaji su neizostavna zaštitna mjera u NN instalacijama te njihov pravilan odabir i ispravnost, odnosno pravovremeni isklup su osnovni čimbenici njihovog pouzdanog rada, a time i električne instalacije. U radu je opisan princip rada RCD uređaja, tipovi te područje primjene. Nadalje su opisani zahtjevi koje RCD uređaji moraju zadovoljiti, kako bi se smatrali ispravnim. Isto tako su navedeni i rezultati mjerenja koja su za cilj imala utvrditi ispravnost djelovanja RCD uređaja pri različitim frekvencijama diferencijalne struje i impedancijama petlje kvara. Mjerenja su provedena na različitim tipovima RCD uređaja, triju različitih proizvođača.

Ključne riječi: zaštita NN instalacija, isklup RCD uređaja, frekvencija diferencijalne struje, impedancija petlje kvara

RESIDUAL CURRENT FREQUENCY AND FAULT LOOP IMPEDANCE RESISTANCE IMPACT ON CORRECT TRIPPING OF RCD DEVICES

SUMMARY

RCD devices are an indispensable protective measure in LV installations and their proper selection and integrity, i.e. correct tripping, are the basic factors of their reliable operation and thus of electrical installations. The paper describes the principle of RCD device operation, types and application area. Furthermore, the requirements that RCD devices must fulfil are described in order to be considered correct. Likewise, the results of the measurements aimed at determining the correctness of the device at different residual current frequencies and the fault loop impedances were specified. The measurements were carried out on different types of RCDs, of three different manufacturers.

Key words: LV installation protection, RCD device tripping, residual current frequency, fault loop impedance

1. UVOD

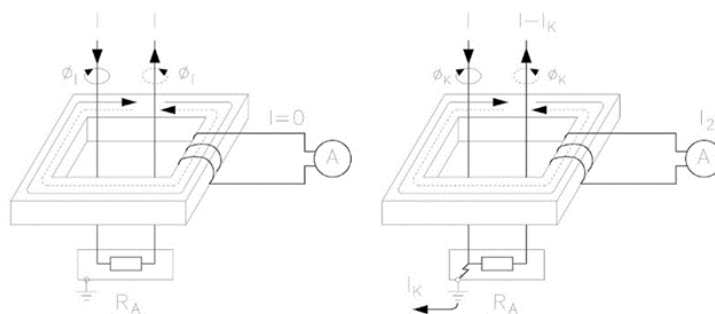
Osnovni cilj zaštitnih uređaja u NN instalacijama je zaštita ljudi i imovine. U niskonaponskim instalacijama zaštitni uređaji diferencijalne struje (engl. Residual Current Devices) – RCD uređaj (RCD sklopka ili strujna zaštitna sklopka) su neizostavna zaštitna mjera od električnog udara i ostalih neželjenih utjecaja struje, stoga je vrlo važno pratiti trendove njihovog razvoja i načine primjene u električnim instalacijama. S obzirom na njihovu važnost u segmentu sigurnosti električnih instalacija, njihov pravilan izbor obzirom na mogući valni oblik i iznos struje kvara, kao i pravovremeni isklon je nešto čemu treba dati posebnu pažnju pri projektiranju, izvođenju te ispitivanju električnih instalacija.

2. PRINCIP RADA I OSNOVNE VELIČINE

2.1. Princip rada RCD-a

Princip rada zaštitnog uređaja diferencijalne struje je sljedeći (slika 1.):

- ako nema smetnje, jakost ulazne i izlazne struje su jednake pa nema induciranog napona na sekundaru transformatora,
- ako dođe do greške, doći će i do razlike u jakosti ulazne i izlazne struje pa dolazi do induciranja napona na sekundaru sumacijskog transformatora, što u konačnici rezultira isklapanjem zaštitnog uređaja, [1].



Slika 1. Princip rada RCD-a, [1]

2.2. Osnovni pojmovi i veličine

Osnovni pojmovi i veličine su:

- struja kvara (greške),
- struja odvoda (odvodna struja),
- diferencijalna (rezidualna) struja,
- nazivna (isklopna) diferencijalna struja,
- nazivni napon,
- nazivna frekvencija,
- nazivna struja,
- broj polova.

Struja kvara je struja koja teče prema zemlji prilikom kvara na izolaciji vodiča ili električnog uređaja i uglavnom je omskog karaktera.

Struja odvoda je struja koja teče kroz zaštitni vodič prema zemlji. Ako nema zaštitnog vodiča, struja odvoda može istjecati iz bilo kojeg vodljivog dijela i uglavnom je kapacitivnog karaktera. Ne bi smjela biti veća od 30% nazivne diferencijalne struje.

Diferencijalna struja je vektorska suma trenutnih vrijednosti struja koje teku zaštitnim uređajem diferencijalne struje.

Nazivna diferencijalna struja ($I_{\Delta n}$) je struja pri kojoj mora doći do prorade RCD-a. Standardne vrijednosti $I_{\Delta n}$ su: 0,006 – 0,01 – 0,03 – 0,100 – 0,300 – 0,500 – 1 A.

Standardne vrijednosti nazivnih napona (U_n) za pojedine vrste strujnih krugova prikazane su u tablici I.

Tablica I. Standardne vrijednosti nazivnih napona RCD-a, [2]

RCD	Krug štíćen RCD – om	Nazivni napon (V)
Jednopolni s dvije strujne staze	Dvožični, fazni vodič i uzemljeni nulti vodič	120
	Jednofazni, fazni vodič i nulti vodič	230
Dvopolni s dvije strujne staze	Dvožični, fazni vodič i uzemljeni nulti vodič	120
	Jednofazni, fazni vodič i nulti vodič	230
	Jednofazni (linijski napon), međufazno	400
Tropolni s tri strujne staze	Trofazni, trožični	400
Tropolni s četiri strujne staze	Trofazni, četverožični	400
Četveropolni	Trofazni, četverožični	400

Frekvencija mreže na koju je uređaj spojen iznosi 50/60 Hz, dok su standardne vrijednosti nazivne struje (I_n): 10 – 13 – 16 – 20 – 25 – 32 – 40 – 63 – 80 – 100 – 125 A.

Prema broju polova i strujnih staza RCD može biti:

- jednopolni s dvije strujne staze,
- dvopolni,
- tropolni s četiri strujne staze,
- četveropolni.

3. TIPOVI RCD-a I PODRUČJE PRIMJENE

3.1. Tipovi RCD-a

Osnovna podjela RCD-a se može izvršiti prema vremenu (brzini) djelovanja (isklapanja) i prema valnom obliku diferencijalne struje. Prema vremenu isklapanja RCD uređaji dijele se na:

- opći tip – bez vremenskog zatezanja,
- tip S (selektivni tip) – s vremenskim zatezanjem.

U tablici II. prikazana su vremena isklapanja za opći i selektivni tip RCD – a.

Tablica II. Vremena isklapanja za opći i S tip RCD – a pri diferencijalnoj struji $I_{\Delta n}$, [2]

Tip	$I_{\Delta n}$ (A)	$I_{\Delta n}$ (A)	$I_{\Delta n}$ (A)	$2 I_{\Delta n}$ (A)	$5 I_{\Delta n}$ (A)	500 (A)	
Opći	Bilo koja vrijednost	Bilo koja vrijednost	0,3 (s)	0,15 (s)	0,04 (s)	0,04 (s)	Maksimalno vrijeme isklapanja
S	≥ 25	$> 0,030$	0,5 (s)	0,2 (s)	0,15 (s)	0,15 (s)	Maksimalno vrijeme isklapanja
			0,13 (s)	0,06 (s)	0,05 (s)	0,04 (s)	Minimalno vrijeme pri kojem ne dolazi do isklapanja

Prema valnom obliku diferencijalne struje, odnosno struji greške (kvara) zaštitni uređaji diferencijalne struje dijele se na:

- tip AC,
- tip A,
- tip F,
- tip B,
- tip B+.

Zaštitne sklopke za diferencijalnu struju, koje su osjetljive samo na sinusne oblike struje, u svojoj izvedbi su najjednostavnije i one su tipa AC. Važno je istaknuti da je RCD tipa AC naponski neovisan jer ne zahtijeva napon napajanja, odnosno, u slučaju prekida neutralnog vodiča uređaj još uvijek djeluje ispravno i u skladu sa svim svojim propisanim tehničkim značajkama. Tehničke značajke za tip AC propisuje norma HRN EN 61008 – 1.

U slučaju poluvalno ispravljene diferencijalne struje, tip AC neće pouzdano raditi jer će odziv na sekundarnoj strani sumacijskog transformatora biti premalen. U tom slučaju, potreban je elektronički sklop koji će taj signal pojačati. Tip RCD-a koji na sekundarnoj strani sumacijskog transformatora sadrži takav sklop je tip A. Tehničke značajke za tip A propisuje norma kao i za tip AC, odnosno HRN EN 61008 – 1.

Tip F će reagirati u svim slučajevima kao i AC i A tip. Dodatno, uređaji tipa F prikladni su za detekciju pulsirajućih istosmjernih diferencijalnih struja superponiranih glatkoj istosmjernoj struji, frekvencije do 1 kHz. Ovaj tip uređaja je prikladan za sustave koji sadrže jednofazne pretvarače frekvencije (perilice rublja, pumpe, itd.). Tip F zadovoljava sve tehničke značajke koje propisuje HRN EN 61008 – 1. Dodatni zahtjevi su propisani normom HRN EN 62423.

U slučaju pojave glatke diferencijalne istosmjerne struje, prethodno navedeni tipovi zaštitnih uređaja nisu prikladni. Naime, u tom slučaju dolazi zasićenja jezgre sumacijskog transformatora i odziv na strani sekundara je premalen da bi uzrokovao djelovanje zaštitnog uređaja i tada je riječ o tzv. „zaslijepljenosti“ zaštitnog uređaja. Rješenje tog problema je primjena zaštitnog uređaja tipa B, koji osim osjetljivosti na istosmjernu struju, osigurava i osjetljivost na više frekvencije, do 1 kHz. Tip B zadovoljava sve tehničke značajke koje propisuje HRN EN 61008 – 1. Dodatni zahtjevi su propisani normom HRN EN 62423. Zahtijevana vremena isklapanja za B tip RCD-a su prikazana u tablici III.

Tablica III. Vremena isklapanja pri istosmjernim diferencijalnim strujama iz ispravljačkih krugova i glatkim istosmjernim strujama, [3]

Tip	I_n (A)	$I_{\Delta n}$ (A)	$2 I_{\Delta n}$ (A)	$4 I_{\Delta n}$ (A)	$10 I_{\Delta n}$ (A)	5, 10, 20, 50, 100, 200 (A)	
Opći	Bilo koja vrijednost	Bilo koja vrijednost	0,3 (s)	0,15 (s)	0,04 (s)	0,04 (s)	Maksimalno vrijeme isklapanja
S	≥ 25	$> 0,030$	0,5 (s)	0,2 (s)	0,15 (s)	0,15 (s)	Maksimalno vrijeme isklapanja
			0,13 (s)	0,06 (s)	0,04 (s)	0,04 (s)	Minimalno vrijeme pri kojem ne dolazi do isklapanja

Tip B+ od velike je koristi kako bi se smanjila opasnost od požara uzrokovanih strujama kvara s visokim frekvencijama, a time ujedno i preventivna zaštita od požara za ljude i imovinu. Zadovoljava sve tehničke značajke propisane normama HRN EN 61008 – 1 i HRN EN 62423. Dodatni zahtjevi su propisani normom VDE 0664-400.

3.2. Područje primjene

Zaštitni uređaji diferencijalne struje svoju primjenu u NN instalacijama imaju kao:

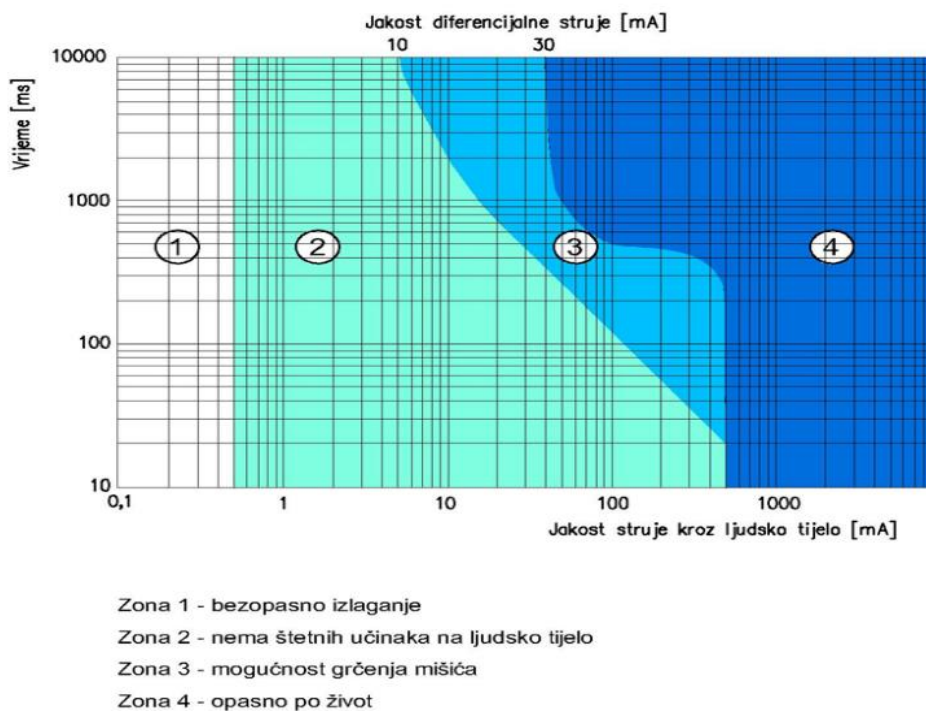
- dodatna zaštita od direktnog dodira,
- osnovna zaštita od indirektnog dodira,
- zaštita od požara.

3.2.1. Dodatna zaštita od direktnog dodira

Dodatna zaštita od direktnog dodira podrazumijeva zaštitu koja djeluje kada dolazi do direktnog kontakta ljudskog tijela s dijelovima instalacije pod naponom u slučaju kada osnovna zaštita ne djeluje. Otpor ljudskog tijela ovisi o strujnoj stazi i otporu ljudske kože. Otpor ljudskog tijela iznosi između 1000 – 1500 Ω kada struja teče stazama ruka – ruka i ruka – noga. Prema navedenim pretpostavkama, dodirni napon od 230 V rezultira opasnom strujom od 230 mA. Slika 2. prikazuje strujno-vremensku karakteristiku povezanu s fiziološkim učincima na ljudsko tijelo.

Opasni iznosi struje i vremena izlaganja ljudskog tijela prikazani su u zoni 4. Isto tako, prikazan je vremenski raspon reagiranja zaštitnih uređaja diferencijalne struje s nazivnim vrijednostima 10 i 30 mA. Iz navedene karakteristike uočava se da zaštitni uređaji diferencijalne struje ne ograničavaju iznos diferencijalne struje, već pružaju zaštitu svojim brzim djelovanjem i tako osiguravaju minimalno vrijeme izlaganja učincima struje. Iskladne karakteristike zaštitnih uređaja diferencijalne struje nazivnih struja manjih od 10 mA u zoni 2 je ispod granice otpuštanja.

Medicinski štetni učinci se obično ne pojavljuju. Oni su stoga prikladni za osjetljiva područja, poput onih s povećanom vlagom (npr. kupaoznice). RCD uređaji nazivnih isklapnih struja do 30 mA ne smiju se koristiti kao osnovna zaštita od direktnog dodira, već isključivo kao dodatna, [4].



Slika 2. Strujno-vremenska karakteristika povezana s fiziološkim učincima na ljudsko tijelo

3.2.2. Zaštita od indirektnog dodira

Zadatak zaštite od indirektnog dodira je zaštita ljudi prilikom kontakta ljudskog tijela s dijelovima opreme/instalacije koji u normalnom pogonu nisu pod naponom, ali su električki vodljivi i prilikom kvara mogu doći na određeni potencijal u odnosu na referentnu zemlju. Nastala potencijalna razlika se naziva napon kvara U_g . U tim slučajevima postoji zahtjev za automatskim isklapanjem kada kvar može predstavljati rizik s obzirom na iznos i trajanje napona dodira. Za razliku od zaštite od direktnog dodira u ovom slučaju zaštitni uređaji diferencijalne struje nazivnih isklapnih struja većih od 30 mA prikladni su za ugradnju.

Uvjeti isklapanja moraju se poštivati kako bi se postigla učinkovita zaštita. Osim toga, nedozvoljeni napon dodira ne smije biti prisutan nedozvoljeno dugo vremena, uzimajući u obzir otpor uzemljenja i nazivnu vrijednost iskladne diferencijalne struje uređaja, [4].

3.2.3. Zaštita od požara

RCD je učinkovita naprava, koja onemogućuje tok opasne diferencijalne struje prema zemlji. Te struje mogu biti uzrokom i požara. Za protupožarnu zaštitu potrebno je da RCD prekida sve linijske i neutralni vodič, dakle sve aktivne vodiče te da struja prorade bude do 300 mA, [5].

4. ZAŠTITA U NN INSTALACIJAMA PRIMJENOM RCD-a

U električnim instalacijama postavlja se zahtjev za automatskim isključivanjem napajanja u slučaju kvara i kao osnovni uvjet funkcioniranja automatskog isključivanja je postojanje zaštitnog (PE) vodiča. Da bi zaštita bila učinkovita, nužno je da su ispunjeni sljedeći uvjeti:

- postojanje zatvorenog strujnog kruga tzv. „kruga petlje kvara“ koji omogućuje protjecanje struje kvara,
- prekidanje struje kvara primjenom prikladnih zaštitnih uređaja s tako kratkim vremenima da ne dođe do ozljeđivanja osobe koja je bila izložena naponu dodira.

Najdulje dopušteno vrijeme isključivanja u ovisnosti o najvišem očekivanom naponu dodira, prikazano je u tablici IV.

Tablica IV. Dopuštena vremena isključivanja u ovisnosti o očekivanom naponu dodira [6]

Najdulje dopušteno vrijeme isklapanja t(s)	Najviši očekivani napon dodira (V)	
	Normalni uvjeti	Loši uvjeti
∞	< 50	< 25
5	50	25
2	56	27
0.8	68	35
0.4	105	54
0.2	210	100
0.1	350	160

4.1. RCD u TN sustavima

U TN sustavima RCD se koristi kao dodatna zaštita od direktnog dodira i kao zaštita od indirektnog dodira. Kod primjene za zaštitu od direktnog dodira, nazivna isklopna diferencijalna struja ne smije biti veća od 30 mA. Iz osnovnog zahtjeva za postojanjem zaštitnog vodiča, jasno je da je primjena RCD-a moguća samo u TN sustavima gdje zaštitni i neutralni vodič nisu objedinjeni.

Za ispravan rad zaštite RCD – om u TN sustavima mora biti ispunjen sljedeći uvjet:

$$Z_s \times I_a = U_0 \quad (1)$$

gdje su:

Z_s – impedancija petlje kvara,

I_a – isklopna struja zaštitnog uređaja,

U_0 – nazivni napon mreže prema zemlji.

Maksimalna vremena isklapanja u TN sustavima za krugove čija nazivna struja ne prelazi 32 A, prikazana su u tablici V.

Tablica V. Maksimalna vremena isklapanja RCD – a u TN sustavima, [6]

Nazivni napon mreže prema zemlji (V)	Vrijeme isklapanja (s)
$50 < U_0 \leq 120$	0,8
$120 < U_0 \leq 230$	0,4
$230 < U_0 \leq 400$	0,2
$U_0 > 400$	0,1

4.2. RCD u TT sustavu

Za razliku od TN-S i TN-C-S sustava u TT sustavu ne postoji veza između neutralnog i zaštitnog vodiča, što može rezultirati velikim impedancijama petlje kvara. Uslijed velikih impedancija, struja kvara koja teče prema zemlji je premalenog iznosa da bi nadstrujna zaštita djelovala, što dovodi do nedozvoljenih napona dodira i mogućnosti požara, zbog nedjelovanja nadstrujne zaštite. U takvim NN sustavima, ugradnja RCD-a je obavezna.

Za ispravan rad zaštite RCD – om u TT sustavu mora biti ispunjen sljedeći uvjet:

$$R_A \times I_{\Delta n} = U_L \quad (2)$$

gdje su:

R_A – ukupni otpor uzemljivača i otpor zaštitnog vodiča od uzemljivača do štice trošila,

$I_{\Delta n}$ – nazivna diferencijalna struja RCD – a,

U_L – dopušteni napon dodira.

Maksimalna vremena isklapanja u TT sustavu za krugove čija nazivna struja ne prelazi 32 A, prikazana su u tablici VI.

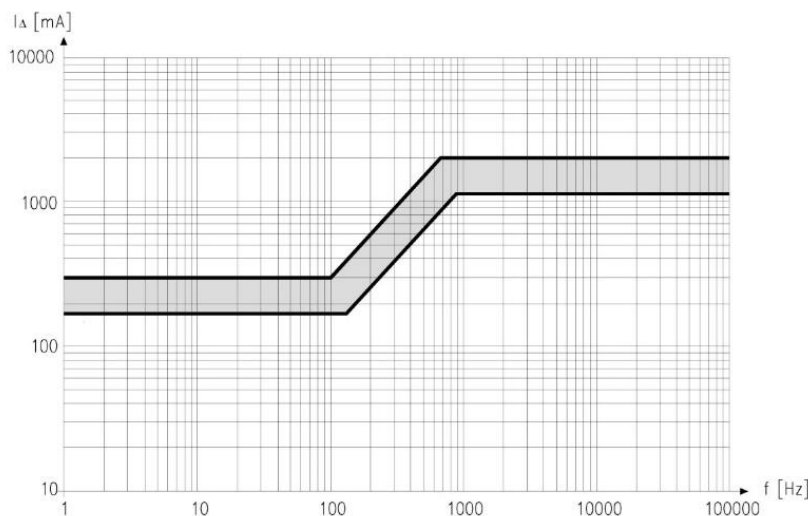
Tablica VI. Maksimalna vremena isklapanja RCD – a u TT sustavu, [6]

Nazivni napon mreže prema zemlji (V)	Vrijeme isklapanja (s)
$50 < U_0 \leq 120$	0,3
$120 < U_0 \leq 230$	0,2
$230 < U_0 \leq 400$	0,07
$U_0 > 400$	0,04

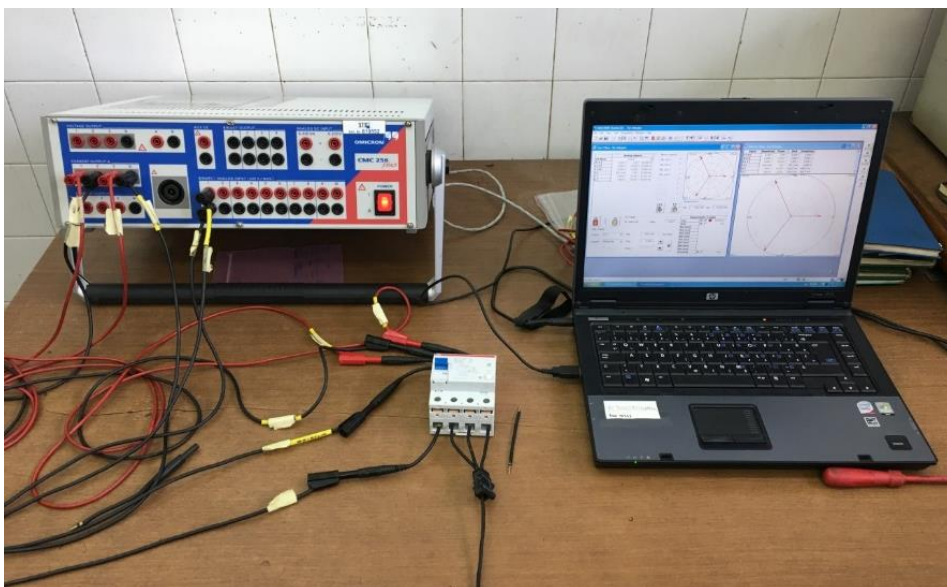
5. ISPITIVANJE RCD-a PRI RAZLIČITIM FREKVENCIJAMA DIFERENCIJALNE STRUJE I IMPEDANCIJAMA PETLJE KVARA

5.1. Ispitivanje utjecaja frekvencije diferencijalne struje na pravovremeni isklon RCD-a

Prije samog ispitivanja ispravnosti uređaja pri različitim frekvencijama diferencijalne struje, potrebno je proučiti isklonnu karakteristiku zaštitnog uređaja. Mjerenja su provedena na zaštitnom uređaju proizvođača ABB (opći tip), nazivne isklonne struje 0,300 A, serija F200 (tip B), čija je isklonna karakteristika prikazana na slici 3., iz koje se jasno vidi ovisnost diferencijalne struje o frekvenciji. Kao ispitni uređaj korišten je uređaj za ispitivanje relejne zaštite OMICRON 256plus. Ispitno okruženje je prikazano na slici 4.



Slika 3. Isklonna karakteristika uređaja B tipa (ABB F200)



Slika 4. Ispitno okruženje za ispitivanje RCD – a za različite frekvencije diferencijalne struje

Rezultati mjerenja su prikazani u tablici VII.

Tablica VII. Rezultati mjerenja za B tip RCD – a (ABB)

Frekvencija (Hz)	I_{Δ} (A)	t_a (s)
35	0,300	2,035
49,2	0,300	0,0242
50	0,300	0,0176
100	0,200	0,0166
400	0,500	0,0065
700	0,900	0,0065
800	1	0,0063
1000	1	0,0055

Prikazani rezultati, odnosno vremena isklapanja su u skladu s normom HRN EN 62423, izuzev vremena isklapanja pri frekvenciji od 35 Hz. Iako u tablici 7. nije prikazano, donja granica frekvencije pri kojoj će uređaj isklapati u propisanom vremenu je oko 37 Hz. Može se zaključiti da će uređaj brže isklapati na višim frekvencijama, a razlog tomu je što će i struja isklopa biti veća pa uređaj brže reagira. Potrebno je još istaknuti da su ispitivanja provedena samo za sinusoidalni oblik diferencijalne struje.

Osim ispitivanja B tipa RCD – a na različitim frekvencijama, provedena su i ispitivanja za A tip. Zaštitni uređaj je proizvođača Schneider (opći tip), nazivne isklapne struje 0,300 A. Rezultati mjerenja prikazani su u tablici VIII.

Tablica VIII. Rezultati mjerenja za A tip RCD – a (Schneider)

Frekvencija (Hz)	I_{Δ} (A)	t_a (s)
33,3	0,300	0,492
33,4	0,300	0,445
35	0,300	0,238
36	0,300	0,190
48	0,300	0,095
50	0,300	0,092
50,04	0,300	0,091
137,2	0,300	0,399
137,5	0,300	0,719

Dobiveni rezultati ukazuju na to da donja granica frekvencije pri kojoj će uređaj isključiti u vremenu propisanom normom HRN EN 61008 – 1 iznosi oko 35 Hz, dok je gornja oko 137 Hz. Ispitivanja su provedena ponovno samo za sinusoidalni oblik diferencijalne struje.

5.2. Utjecaj impedancije petlje kvara na vrijeme isklapa zaštitnih uređaja diferencijalne struje

Kako je i ranije navedeno, da bi zaštita primjenom zaštitnih uređaja diferencijalne struje mogla funkcionirati, nužno je da postoji tzv. petlja kvara. Maksimalne vrijednosti impedancija za različite nazivne isklapne struje RCD – a, za dozvoljeni napon dodira od 50 V, prikazane su u tablici IX.

Tablica IX. Maksimalne vrijednosti impedancije petlje kvara za $U_L = 50$ V

$I_{\Delta n}$ (A)	Z_s (Ω)
0,01	5000
0,03	1660
0,100	500
0,300	170
0,500	100
1	50

Mjerenjima se željelo utvrditi kako različite vrijednosti impedancije petlje kvara utječu na rad RCD – a, odnosno na vrijeme isklapanja. Ispitivanje je provedeno tako da se otporničkom dekadom „umjetno“ podešavala veličina impedancija petlje kvara, a instrumentom za ispitivanje električnih instalacija PROFITEST MXTRA simulirala struja kvara i tako mjerilo vrijeme i struja isklapa. Ispitno okruženje je prikazano na slici 5.



Slika 5. Ispitno okruženje za ispitivanje RCD-a pri različitim vrijednostima impedancije petlje kvara

Mjerenja su provedena na zaštitnim uređajima tri proizvođača (ABB, Schneider, Siemens), različitih tipova (AC, A i B). Rezultati mjerenja su prikazani u tablici X.

Tablica X. Vrijeme i struja isklopa RCD-a pri različitim impedancijama petlje kvara

$I_{\Delta n}$ (A)	Z_s (Ω)	I_{Δ} (A)	t_a (s)	Tip	Proizvođač
0,03	1500	0,021	0,059	AC	ABB
	1000	0,021	0,059		
	700	0,021	0,060		
	300	0,021	0,059		
	100	0,021	0,059		
	50	0,021	0,059		
	10	0,021	0,060		
	1	0,0211	0,058		
0,03	1500	0,0226	0,029	A	Schneider
	1000	0,0226	0,029		
	700	0,0221	0,029		
	300	0,0221	0,030		
	100	0,0221	0,030		
	50	0,0221	0,030		
	10	0,0221	0,029		
	1	0,0226	0,029		
0,03	1500	0,0226	0,02	AC	Siemens
	1000	0,0241	0,02		
	700	0,0211	0,021		
	300	0,0211	0,021		
	100	0,0226	0,021		
	50	0,0211	0,021		
	10	0,0196	0,021		
	1	0,0211	0,02		
0,100	400	0,070	0,029	A	ABB
	300	0,065	0,030		
	200	0,065	0,030		
	100	0,065	0,031		
	50	0,070	0,029		
	20	0,065	0,030		
	10	0,070	0,029		
	1	0,065	0,031		
0,100	400	0,08	0,130	A	Schneider
	300	0,08	0,130		
	200	0,08	0,130		
	100	0,08	0,130		
	50	0,08	0,130		
	20	0,08	0,130		
	10	0,08	0,130		
	1	0,08	0,130		
0,100	400	0,07	0,038	A	Siemens
	300	0,07	0,038		
	200	0,07	0,037		
	100	0,07	0,038		
	50	0,07	0,038		
	20	0,07	0,038		
	10	0,07	0,038		
	1	0,07	0,038		

0,300	150	0,24	0,205	B	ABB
	100	0,24	0,204		
	50	0,24	0,184		
	25	0,24	0,184		
	10	0,24	0,184		
	1	0,24	0,184		
0,300	150	0,210	0,290	A	Schneider
	100	0,210	0,291		
	50	0,210	0,280		
	25	0,210	0,280		
	10	0,210	0,290		
	1	0,210	0,290		
0,300	150	0,210	0,271	A (selektivan)	Siemens
	100	0,210	0,261		
	50	0,210	0,261		
	25	0,210	0,261		
	10	0,210	0,253		
	1	0,210	0,252		

6. ZAKLJUČAK

RCD uređaji su neizostavna zaštitna mjera u niskonaponskim električnim instalacijama. Odabir određenog tipa RCD – a vrši se prema njegovoj zaštitnoj namjeni i mogućem obliku struje kvara.

Iz mjerenja pri različitim frekvencijama diferencijalne na B tipu RCD – a, uočava se da se osjetljivost RCD – a povećava s porastom frekvencije. Za usporedbu, ista mjerenja su provedena na A tipu RCD – a koja su očekivano pokazala kako iznad određene frekvencije osjetljivost uređaja pada i to ih čini neprikladnim za primjenu u krugovima gdje se mogu pojaviti struje kvara čije su frekvencije više od nazivnih.

Mjerenja kojima se željela utvrditi ispravnost RCD – a pri različitim impedancijama petlje kvara ($U_L = 50 \text{ V}$), provedena na uređajima tri proizvođača, pokazuju kako se struja i vrijeme isklopa tek neznatno mijenjaju ako je iznos impedancije u dozvoljenim granicama. Ta činjenica ukazuje na to da su ispitani uređaji visoke kvalitete te njihova ugradnja, kao i pravilan odabir bitno povećavaju sigurnost električne instalacije.

LITERATURA

- [1] M. Koprivšek, „Kako primijeniti zaštitnu sklopku u slučaju diferencijalne struje“, EGE, Energetika marketing d.o.o., svibanj 2014., 88-90.
- [2] HRN EN 61008-1 Strujne zaštitne sklopke bez združene nadstrujne zaštite za kućanstvo i slične uporabe (RCCB-i) – 1. dio: Opća pravila, 2007.
- [3] HRN EN 62423 Strujne zaštitne sklopke tip F i tip B sa i bez združene nadstrujne zaštite za kućanstvo i slične primjene, 2012.
- [4] Siemens, „Residual Current Protective Devices“, Siemens AG, 2016.
- [5] Ž. Novinc, „Ispitivanje sigurnosti električnih instalacija“, Elektrotehničko društvo Zagreb, 2017.
- [6] HRN HD 60364-4-41 Niskonaponske električne instalacije – Dio 4-41: Sigurnosna zaštita – Zaštita od električnog udara, 2017.