

Miroslav Kmec, Ľubomír Beňa, Lukáš Lisoň

## Testovanie ochranných funkcií inteligentného elektronického zariadenia REF 543

Tento článok popisuje testovanie ochranných funkcií inteligentného elektronického zariadenia (IED) REF 543. Cieľom tohto článku je overiť nadprúdovú, podpäťovú ochrannú funkciu IED a ich kombinácie v rôznych testovacích moduloch softvéru Test Universe. Táto práca poukazuje na praktické spôsoby využitia testovacieho zariadenia CMC 156, jeho obslužného softvéru a na potrebu využitia takýchto zariadení pri testovaní súčasných zložitých digitálnych ochranných systémov.

Kľúčové slová: CMC 156, Test Universe, REF 543, ochranné funkcie, testovanie ochrán

### I. ÚVOD

IED v dnešnej dobe plnia rád funkcií vrátane chránenia. Oproti starším ochranám poskytujú viacero výhod. Tieto výhody zahŕňajú lokalizáciu poruchy, zobrazenie rôznych typov udalostí a programovateľnú logiku, ktorá umožňuje zhrnutie viacerých funkcií do jedného zariadenia, a tým šetrí náklady na hardvér a kabeľáž. Hlavnou funkciou IED je chránenie sietí a iných elektrických zariadení. Aby sa zabezpečilo riadne fungovanie chránených elektrických zariadení je nutné použiť vhodný typ IED.

Poruchové stavy, rovnako ako stabilné prevádzkové podmienky chránených objektov, je potrebné počas životnosti IED simulovať, aby zabezpečilo, že systém IED pracuje spoľahlivo ešte pred uvedením do prevádzky. Tieto testy by sa mali opakovať po určitej dobe v dôsledku nečinnosti ochranných prostriedkov za normálnych prevádzkových podmienok. Opakovanie týchto testov v pravidelných intervaloch zaisťuje, že IED funguje správne, v priebehu celej svojej životnosti.

### II. OCHRANÝ TERMINÁL REF 543

Terminál vývodového pola REF 543 (Obr. 1) je určený k chráneniu, ovládaniu, meraniu a k monitorovaniu vývodov v sieťach vysokého napätia. Tieto terminály možno použiť pre rôzne typy rozvodní, ktoré sú vybavené jednoduchou i dvojistou prípojnou.

Ochranné funkcie sú vhodné pre rôzne typy sietí, ako napríklad pre izolované, kompenzované alebo odporovo uzemnené siete. Ochranu REF 543 je možné použiť k chráneniu stredne veľkých trojfázových asynchrónnych motorov alebo k chráneniu a ovládaniu kondenzátorových batérií určených pre kompenzáciu účinníku. Okrem ochranných, meracích a riadiacich/ovládacích funkcií sú terminály vývodových polí vybavené tiež veľkým množstvom PLC funkcií, ktoré umožňujú vytvárať automatizačné, sekvenčné a logické funkcie potrebné pre automatizáciu rozvodní. Tieto funkcie je možné integrovať do jedného terminálu.

Dátové komunikačné vybavenie terminálu umožňuje komunikáciu prostredníctvom nasledujúcich zberníc a protokolov: Zbernica SPA, LON, IEC 60870-5-103, IEC 61850, Profibus-DPV1, DNP 3.0 alebo Modbus, ktoré sú použité pre komunikáciu so zariadením na vyššej úrovni ovládania. Komunikácia LON spolu s funkciami PLC minimalizuje potrebu prepojenia vodičov medzi jednotlivými terminálmi [1].



Obr. 1. Ochranný terminál REF 543

### III. OMICRON CMC 156

Tento tester disponuje riešením pre trojfázové testovanie IED. Je ideálny pre aplikácie vyžadujúce vysoký stupeň presnosti. CMC 156 (Obr. 2) ponúka vynikajúce vlastnosti a absolútnu kvalitu svojich testovacích zariadení. Omicron stanovil nové štandardy pre pokročilé trojfázové testovacie zariadenia, pokiaľ ide o flexibilitu, presnosť, prenosnosť a spoľahlivosť. Pre ovládanie prístroja CMC 156 je nutné mať nainštalovaný softvér Test Universe, ktorý disponuje veľkou množstvom testovacích modulov.

Vzhľadom k svojej širokej škále voliteľných nastavení, CMC156 testovací prístroj úplne eliminuje potrebu ovládacích prvkov na prednom paneli – každá funkcia je riadená softvérom na PC [2].



Obr. 2. Skúšobné zariadenia Omicron CMC 156

#### IV. OVEROVANIE NADPRÚDOVEJ OCHRANNEJ FUNKCIE

Nadprúdová ochranná funkcia je zložená z dvoch charakteristík [3]:

- normálne inverzná ( $I_{>}$ ),
- určitý čas ( $I_{>>}$ ).

Tieto charakteristiky boli testované softvérom Test Universe, konkrétne v nadprúdovom module (*overcurrent*). V module boli zadané totožné hodnoty charakteristík ako v IED. Presné hodnoty sú uvedené v **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov..**

TABUĽKA I  
Hodnoty nadprúdových ochranných charakteristík

Vypínacia charakteristika	$I$ Štart	Čas	Prídržný pomer	Smerovaná
Normálne inverzná	0,90. $I_{ref}$	0,70	0,95	Nie
Určitý čas	8,20. $I_{ref}$	0,15 s	0,95	Nie

Po prepojení IED s CMC 156 a nakonfigurovaní nastavení testovania a ochranných charakteristík sa spustil test. Výsledky merania sú zložené z jednotlivých bodov, ktoré boli testované a vyhodnotené v tabuľkovej (Tab. II) a grafickej (Obr. 3) forme.

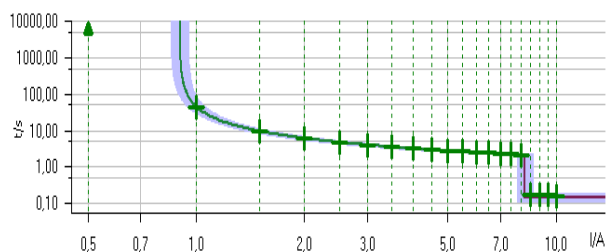
Testovací modul porovnával nami stanovený čas vypnutia ochrany podľa dovolenej prúdovej ( $\pm 50$  mA) a časovej ( $\pm 40$  ms) tolerancie, ktorá mu bola na začiatku testovania zadaná. Túto toleranciu je možné vidieť aj ako sivú oblasť v okolí testovanej krivky na Obr. 3.

TABUĽKA II

Výsledky testu nadprúdovej ochrannej charakteristiky

	Amplitúda	t (nom)	t (min)	t (max)	Výsledok
L1-1	0,50 A	No trip	No trip	No trip	Passed
L1-2	1,00 A	46,46 s	30,15 s	95,11 s	Passed
L1-3	1,50 A	9,54 s	8,27 s	11,14 s	Passed
L1-4	2,00 A	6,09 s	5,45 s	6,83 s	Passed
L1-5	2,50 A	4,75 s	4,30 s	5,25 s	Passed
L1-6	3,00 A	4,02 s	3,67 s	4,41 s	Passed
L1-7	3,50 A	3,56 s	3,26 s	3,89 s	Passed
L1-8	4,00 A	3,24 s	2,98 s	3,52 s	Passed
L1-9	4,50 A	3,00 s	2,76 s	3,25 s	Passed
L1-10	5,00 A	2,81 s	2,59 s	3,04 s	Passed
L1-11	5,50 A	2,66 s	2,46 s	2,87 s	Passed
L1-12	6,00 A	2,53 s	2,35 s	2,74 s	Passed
L1-13	6,50 A	2,43 s	2,25 s	2,62 s	Passed
L1-14	7,00 A	2,34 s	2,17 s	2,52 s	Passed
L1-15	7,50 A	2,26 s	2,10 s	2,44 s	Passed
L1-16	8,00 A	2,19 s	0,11 s	2,36 s	Passed
L1-17	8,50 A	0,15 s	0,11 s	2,29 s	Passed
L1-18	9,00 A	0,15 s	0,11 s	0,19 s	Passed
L1-19	9,50 A	0,15 s	0,11 s	0,19 s	Passed
L1-20	10,00 A	0,15 s	0,11 s	0,19 s	Passed

Jednotlivé testované body boli porovnané s danými toleranciami a následne vyhodnotené. Ak jednotlivé body vyhovelí, tak boli označené v tabuľke slovom *passed* alebo v grafickej forme zeleným krížikom. Všetky nastavenia, tabuľky, grafy a konečné výsledky testu sú vygenerované na konci protokolu, ktorý je vytvorený príslušným testovacím modulom.



Obr. 3. Grafické znázornenie pre typ poruchy L1-E



Obr. 4. Skúšobné zariadenia Omicron CMC 156

Tento terminál spolu s výkonovým vypínačom je spoločne nainštalovaný v rozvádzači, ktorý sa nachádza na katedre elektroenergetiky.

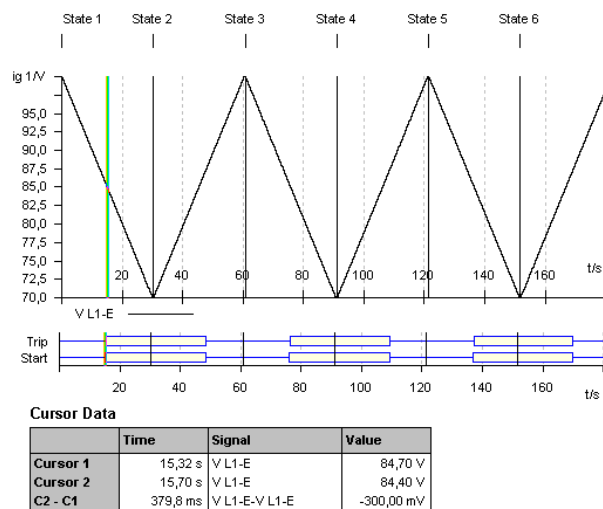
#### V. OVEROVANIE PODPĚŤOVEJ OCHRANNEJ FUNKCIE

Pri tomto teste sa trikrát simuloval pokles napätia pod hranicu  $0,85 U_N$  vo šiestich fázach pomocou krokovacieho modulu (*ramping*). Každý pokles začínal pri hodnote 100 V a končil na 70 V s krokom 100 mV za čas 0,1s (Tab. III). Podpätová funkcia terminálu bola nastavená na 85%  $U_N$  s časom pôsobenia 400 ms. Hlavným cieľom tohto testu bolo sledovanie časov a hodnôt napätia pri nábehu a pôsobení ochrany vzhľadom na nastavené hodnoty.

TABUĽKA III

Simulované stavy nastavené pri skúške podpät'ovej ochrany

	Signál 1 ( $V_{L1-E}$ )					Kroky	Čas
	Z	Do	Delta	Dt	d/dt		
Stage 1	100,0 V	70,00 V	-100 mV	100 ms	-1,0 V/s	301	30,10 s
Stage 2	70,00 V	100,0 V	100 mV	100 ms	1,0 V/s	301	30,10 s
Stage 3	100,0 V	70,00 V	-100 mV	100 ms	-1,0 V/s	301	30,10 s
Stage 4	70,00 V	100,0 V	100 mV	100 ms	1,0 V/s	301	30,10 s
Stage 5	100,0 V	70,00 V	-100 mV	100 ms	-1,0 V/s	301	30,10 s
Stage 6	70,00 V	100,0 V	100 mV	100 ms	1,0 V/s	301	30,10 s



Obr. 4. Namerané výsledky vypínacích časov podpät'ovej ochrany

Ako môžeme vidieť z obrázku Obr.4 ochrana nabehla pri napätí 84,7 V a za čas 379,8 ms vypla simulovanú poruchu. Podobne to bolo aj u nasledujúcich dvoch simulovaných poklesoch napätia, kde čas vypnutia neprekročil 400 ms. Ak by sme brali do úvahy najpresnejšiu hodnotu napätia, pri ktorej by mala ochrana pôsobiť v našom prípade by to bolo 84,9 V. Pri uvedení si tejto myšlienky sa celkový vypínací čas ochrany predĺžil o ďalších 200 ms. Môžeme tvrdiť, že reakcia ochrany sa omeškala za stanovenou hranicou o 200 mV, čo prislúchalo času 200 ms. V praxi sa nepresnosť zaznamenania poruchy ochranou neoveruje. Tieto nepresnosti spôsobuje viacero faktorov, ktorými sa zaoberá len samotný výrobca pred uvedením ochrany do prevádzky. Vzhľadom na to, že CMC 156 nám poskytuje možnosť veľmi presného merania, bolo možné vyskúšať aj takéto overenie [4].

V skutočnosti sa vyhodnocuje len čas medzi zapôsobením a vypnutím ochrany. V našom meraní sa tento čas pohyboval v rozmedzí od 370 ms do 380 ms. Môžeme tvrdiť, že naša ochrana pri všetkých troch testoch pôsobila spoľahlivo a simulovanú poruchu vypla vo vyhovujúcej tolerancii.

## VI. KOMBINÁCIA PREDCHÁDZAJÚCICH CHARAKTERISTÍK

V tomto meraní sa testovala kombinácia podpäťovej a nadprúdovej ochrannej funkcie terminálu REF 543 pomocou stavového modulu (*state sequencer*). Táto kombinácia bola simulovaná pomocou jedenástich stavov a to:

1. pred poruchou ( $t_{1max} = 300$  ms),
2. prechodné podpätie ( $t_{2max} = 300$  ms),
3. normálny stav ( $t_{3max} = 300$  ms),
4. prechodný nadprúd ( $t_{4max} = 150$  ms),
5. normálny stav ( $t_{5max} = 300$  ms),
6. podpätie ( $t_{6max} = 500$  ms),
7. normálny stav ( $t_{7max} = 300$  ms),
8. nadprúd ( $t_{8max} = 500$  ms),
9. normálny stav ( $t_{9max} = 300$  ms),
10. nadprúd + podpätie ( $t_{10max} = 500$  ms),
11. definitívne vypnutie ( $t_{11max} = 200$  ms).

Pri jednotlivých stavoch je uvedená presná doba ich trvania. Podrobnejšie nastavenie je uvedené v Tab. IV.

TABUĽKA IV

Nastavenia jednotlivých stavov v module State Sequencer

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
$V_{L1-E}$	100V	70 V	100V	100 V	100V	70 V
	0,00 °	0,00 °	0,00 °	0,00 °	0,00 °	0,00 °
	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
$I_{L1}$	1A	1A	1 A	8 A	1 A	1A
	0,00 °	0,00 °	0,00 °	0,00 °	0,00 °	0,00 °
	50Hz	50Hz	50Hz	50 Hz	50Hz	50 Hz
Max.Time	300 ms	300 ms	300 ms	150 ms	300 ms	500 ms

	7.	8.	9.	10.	11.
$V_{L1-E}$	100 V	100 V	100 V	70 V	0V
	0,00 °	0,00 °	0,00 °	0,00 °	0,00 °
	50Hz	50Hz	50 Hz	50 Hz	50Hz
$I_{L1}$	1A	8 A	1 A	8 A	0A
	0,00 °	0,00 °	0,00 °	0,00 °	0,00 °
	50Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50Hz
Max.Time	300 ms	500 ms	300 ms	500 ms	200 ms

Nadprúdová a podpäťová ochranná funkcia bola nastavená podľa hodnôt uvedených v Tab. V. Hlavným cieľom tohto testu bolo namerať v závislosti od typu a trvania poruchy čas pôsobenia ochrany [5].

TABUĽKA V

PARAMETRE PODPÄŤOVEJ A NADPRÚDOVEJ CHARAKTERISTIKY

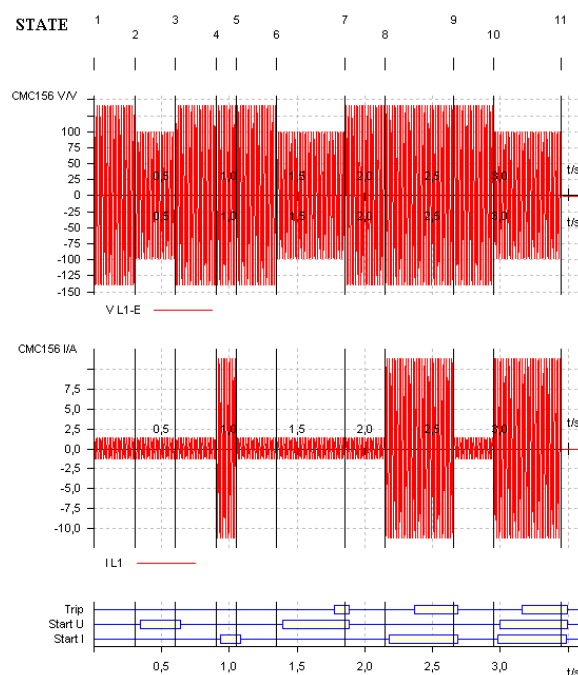
Vypínacie charakteristiky	Hodnota	čas	Smerovaná
Nadprúdová – Určitý čas	6,5. $I_{ref}$	0,20 s	Nie
Podpäťová – Určitý čas	0,85. $U_{ref}$	0,40 s	Nie
$I_{ref} = 1A; U_{ref} = 100V$			

V druhom a štvrtom stave boli nasimulované prechodné poruchy, ktorých nastavený čas bol kratší ako čas vypnutia ochranou. Pri týchto stavoch môžeme vidieť podľa Obr. 5 iba štart ochrany bez jej pôsobenia. V stave šesť a osem sú nasimulované trvalé poruchy, kde čas trvania poruchy je už dlhší ako čas pôsobenia ochrany. V tomto prípade ochrana už zapôsobila v čase podľa typu poruchy. V desiatom stave nastala kombinácia podpätia s nadprúdom, kde môžeme vidieť, spoločný štart obidvoch stupňov a konečné vypnutie iba nadprúdovým stupňom vzhľadom na jeho kratší čas pôsobenia.

Pri podrobnejšej analýze bolo zistené, že ochrana zaznamenala skôr vznik nadprúdu (30 ms oneskorenie) ako vznik podpätia (40 – 50 ms oneskorenie) pri súčasnom vzniku obidvoch porúch. Od doby zaznamenania, čiže štartu ochrany, vypínacie časy jednotlivých funkcií boli v rozmedzí

- podpäťová (370 – 380 ms),
- nadprúdová (180 – 190 ms).

Ani v jednom z prípadov nebol prekročený čas vypnutia ochrany. Ochranný terminál spoľahlivo pôsobil pri jednotlivých prechodných a trvalých poruchách ale aj ich kombinácii. Môžeme tvrdiť, že náš terminál pri všetkých stavoch pôsobil spoľahlivo a simulovanú poruchu vypol vo vyhovujúcej tolerancii.



Obr. 5. Výsledky testu – časy štartu a vypnutia jednotlivých charakteristík

## VII. ZÁVER

Tento článok poukazuje na mnohoúčelové použitie testovacieho prístroja CMC 156 a jeho obslužného softvéru Test Universe. Cieľom tohto článku je popísať praktické spôsoby využitia vyššie spomínaného skúšobného zariadenia. Získané výsledky ukazujú na spoľahlivosť a na potrebu využitia takýchto zariadení pri testovaní súčasných zložitých digitálnych ochranných systémov.

## POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0388/13.

## LITERATÚRA

- [1] ABB, Product guide, Protection and control, Feeder terminal REF 543.[Online].< <http://www.abb.com/product/db0003db004281/c12573e700330419c2256e6300300dd6.aspx?productLanguage=us&country=00>>
- [2] Test and Measurement HireLtd, OMICRON CMC 156 [Online].< <http://www.instruments4hire.co.uk/test-equipment/product-71-OMICRON/OMICRON-CMC-156--12-5A-/>>
- [3] CHLADNÝ, Vladimír: Ochrany v elektrizačných sústavách, návody na cvičenia. Košice. 1992. ISBN 80-7099-133-X

- [4] JANÍČEK, František – CHLADNÝ, Vladimír – BELÁŇ, Anton – ELESCHOVÁ, Žaneta: Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave. Bratislava. 2004. ISBN 80-227-2135-2
- [5] CHLADNÝ, Vladimír: Digitálne ochrany v ES. Košice. 2007. ISBN 978-80-8073-798-6

## ADRESY AUTOROV

Ing. Miroslav Kmec, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Másiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika,

[Miroslav.Kmec@tuke.sk](mailto:Miroslav.Kmec@tuke.sk)

doc. Ing. Ľubomír Beňa, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Másiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika,

[Lubomir.Bena@tuke.sk](mailto:Lubomir.Bena@tuke.sk)

Ing. Lukáš Lisoň, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Másiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika,

[Lukas.Lison@tuke.sk](mailto:Lukas.Lison@tuke.sk)