

Parametrizácia a testovanie dištančnej ochrany SIPROTEC 7SA611

Špes Michal · Elektrotechnika

09.05.2016



Tento príspevok popisuje možnosti testovania digitálnych ochrán a terminálov. Následne je bližšie charakterizovaná dištančná ochrana SIEMENS SIPROTEC 7SA611, jej ochranné funkcie a možnosti použitia pre chránenie vedení. V závere článku je opísané testovanie tejto dištančnej ochrany spolu s viacerými variáciami testovania v module

Advance distance.

Úvod

Elektrizačná sústava ako časť energetickej sústavy je tvorená generátormi, ktoré premieňajú energiu rotujúcich más na elektrickú, zariadeniami slúžiacimi na transformáciu a prenos elektrickej energie až po spotrebu [1]. Elektrizačná sústava sa vyznačuje:

- Rozsiahlosťou - Elektrizačná sústava je rozložená na určitom priestore
- Komplexnosťou - Medzi jednotlivými prvkami sústavy pôsobia spätné väzby
- Náhodným charakterom zaťaženia - nie je vopred známa veľkosť záťaže

Vzhľadom k rýchlemu priebehu prechodných dejov nezávisí prevádzková spoľahlivosť a bezpečnosť elektrizačnej sústavy len od najmodernejších technológií a poznatkov ale aj od vhodnej voľby ochranných zariadení [2]. Pred uvedením ochranných zariadení a terminálov je nutné vykonať funkčne a systémové testovanie korektnej činnosti týchto zariadení ešte pred nasadením do skutočnej prevádzky a ich ochranných funkcií. Záverom takého testovania býva protokol o skúške, pričom obsahuje výsledky z overenia činnosti jednotlivých ochranných funkcií, ktoré chránia dané zariadenie voči poruchovým stavom, ku ktorým môže dôjsť po nasadení do prevádzky [2] [4].

1. Metódy overenia činnosti ochranných zariadení

Pre samotné overenie činnosti ochranných zariadení poznáme dve metódy testovania:

- Priama metóda
- Nepriama metóda

Pripojenie ochranných zariadení je realizované cez prístrojové transformátory. Z pohľadu konštrukcie, rôznych napäťových hladín a rôznej prúdovej zaťažiteľnosti nie je

vhodné dimenzovať jednotlivé zariadenia pre každý chránený objekt. Z uvedených dôvodov sa pristupuje k pripojeniu ochranných zariadení a terminálov cez prístrojové transformátory. V závislosti od zvolenej meranej veličiny používame prístrojové transformátory prúdu (napájanie nadprúdových ochrán), prístrojové transformátory napätia (napájanie nadpäťových / podpäťových ochrán) alebo ich vzájomné kombinácie (napájanie pre dištančné ochrany) [3].

Z pohľadu voľby prístrojových transformátorov prúdu je pre nás smerodajné umiestnenie ochrany od miesta pripojenia v rozvodni. V prípade dlhých prívodov je nutné rešpektovať straty, ktoré vznikajú pri napájaní ochrán s dlhými prívodmi. Preto je nutné zvoliť prístrojový transformátor prúdu so sekundárnou hodnotou prúdu 1 A [3]. V prípade, že nemôže dôjsť ku poklesu prenášaného sekundárneho prúdu volíme prístrojový transformátor prúdu so sekundárnou hodnotou prúdu 5 A. U prístrojových transformátorov napätia má sekundárna strana 100 V.

Z týchto skutočností je odvodená nepriama testovacia metóda. Testovacím zariadením je sekundárne injektované napätie resp. prúd až do reakcie ochrany. Priama testovacia metóda je voči nepriamej metóde zložitejšia. V prvom rade patrí medzi najdôležitejšie skúšky kedy overujeme funkčnosť celého objektu pre chránenie - ochranný terminál, rozvádzač a iné. Zásadný rozdiel oproti nepriamej metóde je aj v spôsobe testovania. Testovacie veličiny sú injektované na primárnej strane prístrojových transformátorov z čoho vyplýva, že napätia a prúdy musia zodpovedať prevádzkovému stavu [3].

2. Dištančná ochrana SIPROTEC 7SA611

Digitálna dištančná ochrana SIPROTEC 7SA6 od firmy Siemens je selektívne a rýchle ochranné zariadenie pre vonkajšie vedenia a káblové vedenia napájané z jednej alebo z viacerých strán v radiálnych, kruhových alebo ľubovoľných mrežových sieťach akýchkoľvek napäťových hladín [5]. Digitálna ochrana je vybavená funkciami, ktoré sa obvykle používajú pre chránenie odbočiek vedení a je preto univerzálne použiteľná. Rovnako tak je možné prístroj použiť ako časovo odstupňovanú záložnú ochranu ku všetkým druhom ochranných zariadení pracujúcich na princípe porovnávania pre vedenia, transformátory, generátory, motory a prípojnice všetkých napäťových hladín [5]. Typické znaky ochrany SIPROTEC 7SA6:

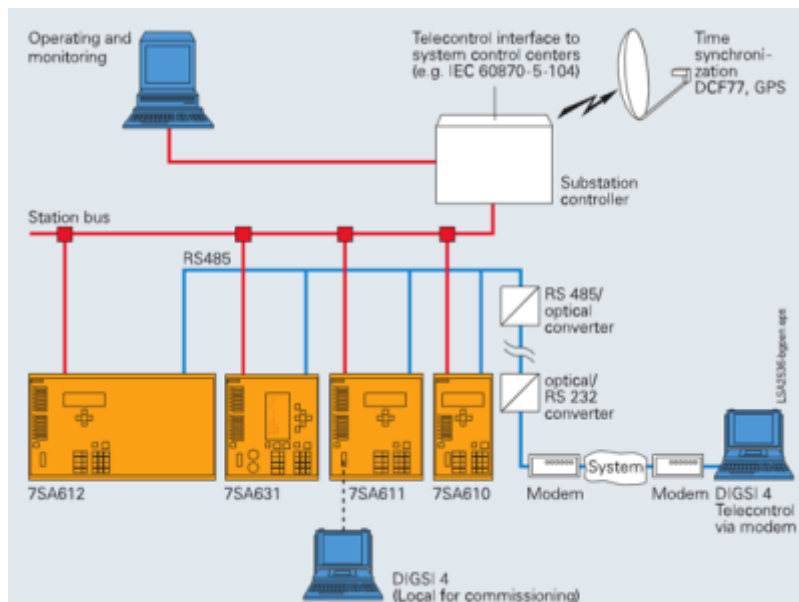
- Rýchly čas pôsobenia
- Impedančný rozsah nastavenia umožňuje veľmi krátke nastavenia pre ochranu so stručným textom
- Detektor nasýtenia prúdového transformátora zabezpečuje neselektívne vypnutie dištančnou ochranou v prípade nasýtenia prúdového transformátora.
- Fázovo oddelená ochrana pre zlepšenú selektivitu a dostupnosť.
- Digitálna komunikácia prostredníctvom integrovaného sériového dátového rozhrania ochranného terminálu [5].



Obr. 1 Dištančná ochrana SIPROTEC 7SA611 [5]

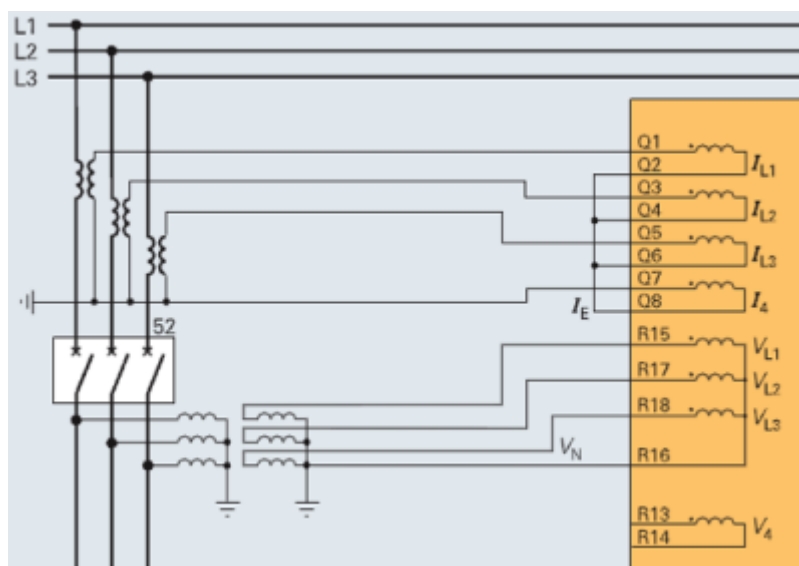
2.1 Komunikácia dištančnej ochrany SIPROTEC 7SA611 a externých systémov

Pre komunikáciu s externými ovládacími, riadiacimi a pamäťovými systémami sú k dispozícii viaceré sériové rozhrania. Prostredníctvom ovládacieho softwaru SIPROTEC - DIGSI 4 môžu byť cez tieto ovládacie rozhrania vykonávané všetky ovládacie a vyhodnocovacie úkony, napr. nastavenie a zmena projektovaných a nastavovacích parametrov, konfigurácia užívateľsky špecifikovateľných logických funkcií, načítanie prevádzkových a poruchových hlásení ako i meraných hodnôt, načítanie a zobrazovanie záznamov o hodnotách poruchových veličín, dotaz na stavy prístrojov a meraných veličín, vydávanie riadiacich príkazov [5]. Ďalšie rozhranie sa nachádza (podľa objednanej varianty) na zadnej strane prístroja. Takto môže byť naviazaná rozsiahla komunikácia s ostatnými digitálnymi, ovládacími, riadiacimi a pamäťovými zariadeniami (Obr. 2).

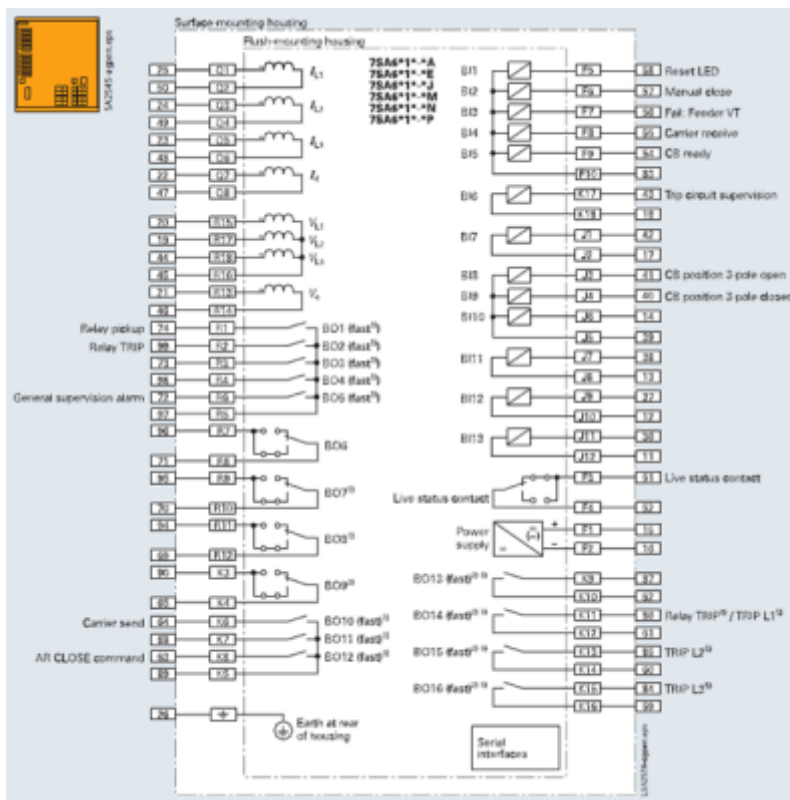


Obr. 2 Komunikačná hierarchia ochranného terminálu [5]

Digitálna dištančná ochrana SIPROTEC 7SA6 patrí medzi digitálne ochranné terminály zahrňujúca všetky prídavné funkcie pre chránenie vzdušných vedení a káblov pre všetky napäťové hladiny od 5 do 765 kV [5]. Všetky spôsoby pripojenia neutrálneho bodu (rezonančné uzemnenie, izolované, pevné alebo nízkorezonančné uzemnenie) sú spoľahlivo riešené. Táto jednotka môže plniť jednopólové alebo trojpólové vypínacie príkazy rovnako ako príkazy uzavretia. Preto je možné jednopólové, trojpólové aj mnohonásobné automatické opätovné znovu zapnutie. Funkcie tejto ochrany, rovnako ako ochrana pri zemných spojeniach a detekcia pri zemných spojeniach sú taktiež zahrnuté v ochrane [5].



Obr. 3 Príklad pripojenia prúdového a napäťového transformátora k ochrane [5]



Obr. 4 Vnútrotná schéma zapojenia dištančnej ochrany [5]

Kde: F1, F2 – napájanie; Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6 – prúdové vstupy
 R15, R17, R18, R16 – napäťové vstupy; Výkonové vypínače: fáza L1 – K9, K10; fáza L2 – K11, K12; fáza L3 – K13, K14

3. Popis funkcií dištančnej ochrany SIPROTEC 7SA611

Dištančná ochrana 7SA6 zahŕňa funkcie pre ochranu vonkajších vedení a káblových vedení na všetkých napäťových hladinách od 5 do 765 kV.

- Jednotka môže vydať jedno alebo trojpólové TRIP príkazy, ako aj CLOSE príkazy.
- Je možná jednopólová, trojpólová a viac pólová automatika opätovného zapínania.
- Prístroj pracuje spoľahlivo a selektívne aj za najviac obťažných podmienok siete.

Táto dištančná ochrana je vybavená nasledujúcimi ochrannými funkciami:

1. Ochranné funkcie pre chránenie pri zemnom spojení (ANSI 50N/ ANSI 51N/ ANSI 67N): Ochrana pôsobí v závislosti od stupňa nastavenia bez časového oneskorenia (ANSI 50) s časovým oneskorením (ANSI 51) prekročí nastavenú hodnotu prúdu alebo v prípade keď skratový prúd prekročí rozbehovú hodnotu a tečie preddefinovaným smerom (ANSI 67) pri zemnom spojení.
2. Dištančná ochrana (ANSI 21/ ANSI 21N): Ochrana pôsobí za predpokladu zmeny impedancie slučky nameranou ochranou nad preddefinovanú hodnotu
3. Nadprúdové ochranné funkcie s časovým oneskorením, okamžité pôsobiace ochranné funkcie a nadprúdové ochranné funkcie so smerovaním (ANSI 50/ ANSI 51/ ANSI 67): Ochrana pôsobí v závislosti od stupňa nastavenia bez časového oneskorenia (ANSI 50) s časovým oneskorením (ANSI 51) ak prúd prekročí nastavenú hodnotu prúdu alebo v prípade keď skratový prúd prekročí rozbehovú hodnotu a tečie preddefinovaným smerom (ANSI 67).

4. Nadpätová a podpätová ochranná funkcia (ANSI 59/ ANSI 27): Ochranná funkcia pôsobí v prípade ak vstupné napätie prekročí alebo klesne pod nastavenú hodnotu napätia
5. Nadfrekvenčná a podfrekvenčná ochranná funkcia (ANSI 81O/ ANSI 81U): Ochranná funkcia pôsobí pri zmene frekvencie nad alebo pod nastavenú hodnotu frekvencie
6. Automatika opätovného zapínania (ANSI 79): Automatika opätovného zapínania dovoľuje až 8 pokusov pre opakované zapnutie.
7. Kontrola synchronizácie (ANSI 25): Kontrola synchronizácie skúša pri pripojení odbočky na prípojnicu, či je zapnutie prípustné bez rizík pre stabilitu siete.
8. Ochrana pri zlyhaní výkonového vypínača (ANSI 50BF): Slúži k rýchlemu náhradnému vypnutiu, ak v prípade príkazu k vypnutiu od ochranného relé dôjde k zlyhaniu lokálneho výkonového spínača.
9. Tepelná ochrana (ANSI 49): Zabráňuje tepelnému namáhaniu chráneného objektu, zvlášť u transformátorov, rotačných strojov, výkonových tlmiviek a káblov. U otvorených vedení nie je obecné ochrana proti tepelnému preťaženiu potrebná, pretože výpočet nadmernej teploty nemá zmysel kvôli silne kolísavým podmienkam okolia (teplota, vietor) [5].

Okrem ochranných funkcií má tento digitálny ochranný terminál aj kontrolne riadiace a monitorovacie funkcie.

Kontrolné funkcie

Prístroj disponuje rozsiahlymi kontrolnými funkciami, ako prístrojovým hardvérom, tak aj softvérovom. Merané veličiny sú kontinuálne kontrolované..

Riadenie funkcií

Riadenie funkcií je vykonávané riadiacou centrálou prístroja. Koordinuje priebeh ochranných a doplnkových funkcií, spracováva ich rozhodnutie a informácie, ktoré prichádzajú od zariadenia. K tomu predovšetkým patrí:

- rozpoznanie zapnutia,
- rozpoznanie stavu polohy výkonového vypínača,
- logika detekcie poruchy,
- logika vypínania [5].

Doplnkové funkcie

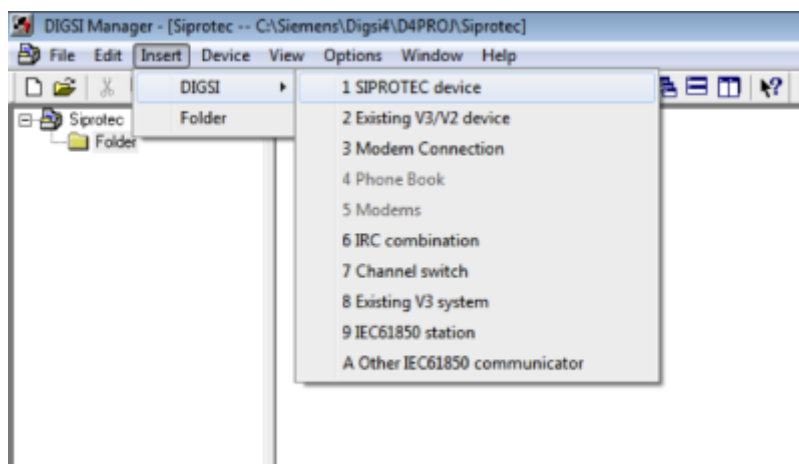
K doplnkovým funkciách dištančnej ochrany 7SA6 patrí:

- spracovanie hlásenia.
- ukladanie údajov o skratoch pre registráciu hodnôt poruchových veličín [5].

4. Parametrizácia dištančnej ochrany SIPROTEC 7SA611 v softvérovom prostredí DIGSI

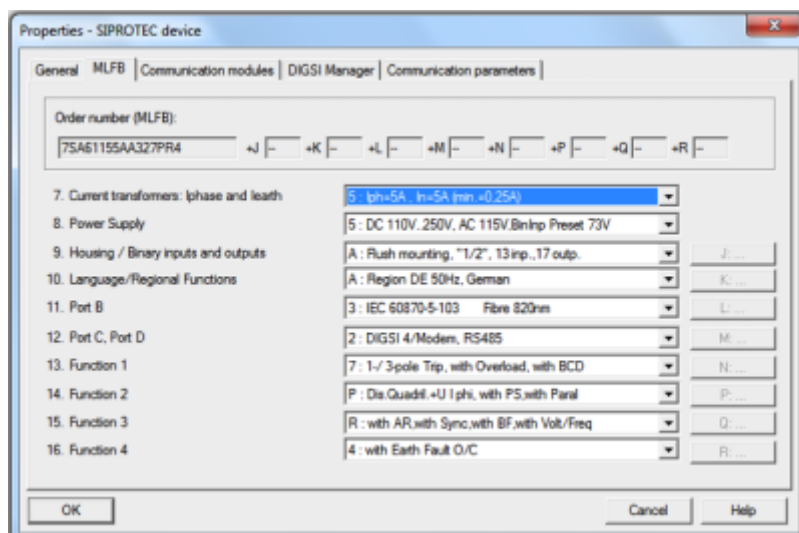
Pre parametrizáciu a nastavenie dištančnej ochrany SIEMENS SIPROTEC 7SA611 je vhodné použiť konfiguračný program DIGSI 4. Ako prvé je nutné vytvoriť nový projekt, ktorý kvôli prehľadnosti nazveme "SIPROTEC". Pre správnu konfiguráciu je nutné pridať digitálny terminál. V projekte SIPROTEC zvolíme priečinok Folder a cez hlavnú

lištu cestou Insert>DIGSI>SIPROTEC device pridáme náš ochranný terminál.



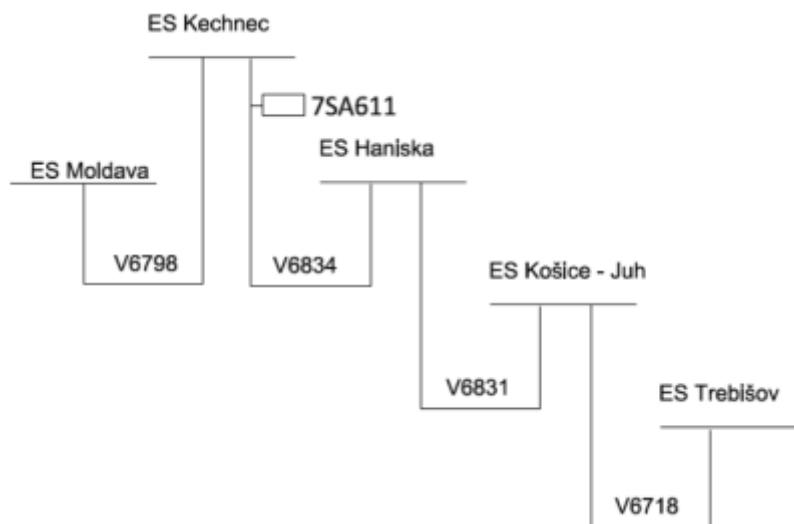
Obr. 5 Pridanie digitálneho ochranného terminálu v softvérovom prostredí

Následne je nutné po otvorení knižnice pre digitálny ochranný terminál špecifikujeme parametre ochrany, ktorú používame podľa štítkového údaj.



Obr. 6 Nastavenie základných parametrov ochrany podľa štítkových údajov

Po tomto kroku môžeme pristúpiť k parametrizácii diaľančnej ochrany a nastaveniu ochranných funkcií. Našou úlohou z pohľadu chránenia je nastaviť parametre pre digitálnu ochranu vedenia V6834 (110kV) v elektrickej stanici Kechnec.



Obr. 7 Topológia chránenej siete

Ako prvé je nutné zdefinovať prevody jednotlivých prístrojových. Keďže volíme parametre nastavenia pre 110 kV vedenie je nutné vybrať prístrojový transformátor prúdu s primárnou hodnotou napätia 110 000 V. V prípade prístrojových transformátorov prúdu je pre nás smerodajná hodnota prúdu na sekundárnej strane a to $I_{2N} = 5A$. Volíme tieto prístrojové transformátory s nasledujúcim prevodom:

- Prevod prístrojového transformátora napätia $k_U = 110\ 000V / 100V$
- Prevod prístrojového transformátora prúdu $k_I = 400A / 5A$

Pred nastavením jednotlivých zón je nutné najprv definovať chránené vedenia a oblasti:

- Zóna 1: Táto zóna je impedančne nastavená na 85% impedancie vedenia V6834.
- Zóna 2: Táto zóna je impedančne nastavená na 100% impedancie vedenia V6834 a 60% impedancie vedenia V6831.
- Zóna 3: Táto zóna je impedančne nastavená na 100% impedancie vedenia V6834, 100% impedancie vedenia V6831 a 40% impedancie vedenia V6718.
- Zóna 4: Táto zóna je spätnou zónou a je impedančne nastavená na 30% impedancie vedenia V6718.
- Zóna 5: Táto zóna je nastavená na 100% impedancie vedenia V6834, 100% impedancie vedenia V6831 a 100% impedancie vedenia V6718.
- Zóna 6: Táto zóna nebude aktivovaná.

Samotné nastavenie jednotlivých zón je nasledovné:

Tab. 1 Nastavenie zóny č. 1 a zóny č. 2

Zóna	Z1	Zóna	Z2
Stav	Aktívna	Stav	Aktívna
Smerovanie	Dopredu	Smerovanie	Dopredu
Charakteristika	Polygón	Charakteristika	Polygón
Hodnoty	Sekundárne	Hodnoty	Sekundárne
X_1	0,196 Ω	X_2	0,420 Ω

R_1, PG	0,181 Ω	R_2, PG	0,405 Ω
R_1, PP	0,060 Ω	R_2, PP	0,135 Ω
α_1	70°	α_2	70°
t_1	0s	t_2	0,5s

Tab. 2 Nastavenie zóny č. 3 a zóny č. 4

Zóna	Z3	Zóna	Z4
Stav	Aktívna	Stav	Aktívna
Smerovanie	Dopredu	Smerovanie	Dozadu
Charakteristika	Polygón	Charakteristika	Polygón
Hodnoty	Sekundárne	Hodnoty	Sekundárne
X_3	0,896 Ω	X_4	0,152 Ω
R_3, PG	0,935 Ω	R_4, PG	0,141 Ω
R_3, PP	0,311 Ω	R_4, PP	0,047 Ω
α_3	70°	α_4	70°
t_3	1s	t_4	0,5s

Tab. 3 Nastavenie zóny č. 5 a zóny č. 6

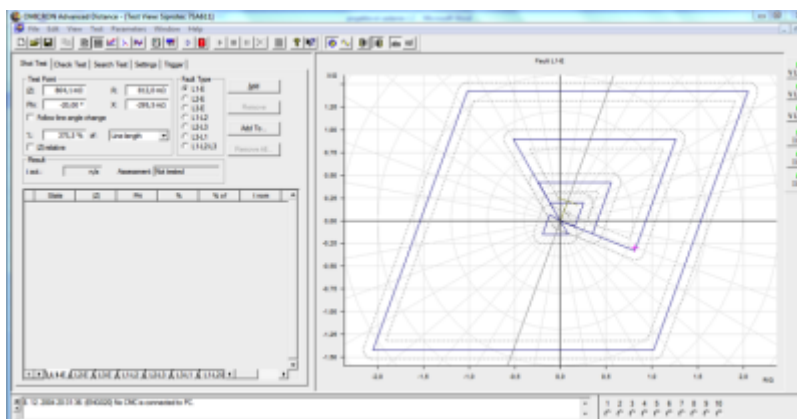
Zóna	Z5	Zóna	Z6
Stav	Aktívna	Stav	Neaktívna
Smerovanie	Nesmerovaná	Smerovanie	-
Charakteristika	Polygón	Charakteristika	-
Hodnoty	Sekundárne	Hodnoty	-
X_5	1,420 Ω	X_6	-
R_5, PG	1,537 Ω	R_6, PG	-
R_5, PP	0,512 Ω	R_6, PP	-
α_5	70°	α_6	-
t_5	5s	t_6	-

5. Overenie činnosti digitálnej ochrany SIEMENS SIPROTEC 7SA611

Po nastavení a uložení parametrov v ochrane sme pristúpili k overeniu činnosti ochrany prostredníctvom zariadenia CMC 156. Na overenie činnosti ochrany SIPROTEC 7SA611 sme použili modul „Advance distance“. Aby sme mohli ochranu otestovať potrebujeme nastaviť ochranné zóny aj v module „Advance distance“. To je možné dvoma spôsobmi. Prvý spôsob je manuálne nastavenie zón. Vyplníme všetky potrebné údaje na základe nastavených hodnôt v ochrane. Jednotlivé zóny vytvoríme za pomoci bodov a následne zónam priradíme vypínacie časy.

Prvý spôsob je značne zdĺhavý. Preto je možné jednotlivé ochranné zóny vytvoriť tak, že z nastavenia ochranných zón v programe DIGSI si vyexportujeme súbor s príponou .rio, tento súbor nahráme v „test objects parameters“ v module „Advance distance“.

Po nastavení všetkých potrebných parametrov a zón môžeme pristúpiť k voľbe poruchy, ktorá sa má testovať, môžeme zvoliť body v ktorých sa má vykonať testovanie, alebo tzv. hľadanie zón.



Obr. 8 Testovanie v advance distance

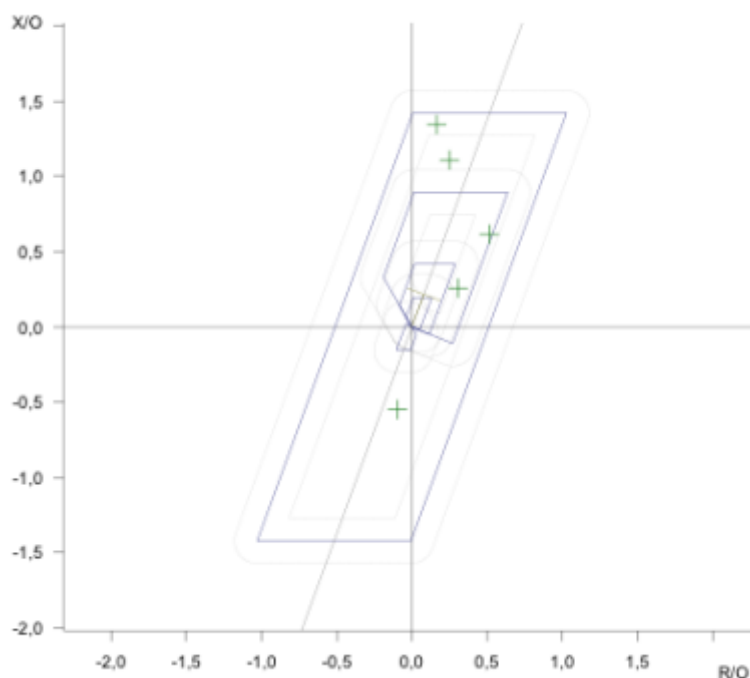
Testovanie digitálneho ochranného terminálu sme realizovali pre medzifázový skrat L1-L2.

5.1. Overenie činnosti digitálnej ochrany SIEMENS SIPROTEC 7SA611 pre jednotlivé testovacie body

Samotná činnosť testovacieho zariadenia ochrán CMC 156 spočíva v injektovaní napätí a prúdov do ochranného terminálu, pričom testovacie zariadenie sleduje reakciu terminálu a vyhodnocuje samotnú skúšku. V program Test Universe je možné zvoliť niekoľko spôsobov testovania. Je možné zvoliť manuálne vkladanie jednotlivých bodov v zónach pôsobenia ochrán a následné sledovať čas vybavenia ochranného terminálu pre danú poruchu v zóne chránenia. Testovacie body, ktoré sme zadali je možné vidieť na nasledujúcom obrázku (Obr. 9). Výsledky z testovania sú v nasledujúcej tabuľke (Tab. 4).

Tab. 4 Výsledky testovania pre zvolené body

Z	Phi	%	t nom	t act.	Dev.	I Test	Result
1,352 Ω	83,07 °	n/a	5,000 s	5,034 s	0,676 %	10,00 A	Passed
1,137 Ω	77,31 °	n/a	5,000 s	5,039 s	0,788 %	10,00 A	Passed
800,0 mΩ	50,00 °	n/a	1,000 s	1,034 s	3,41 %	10,00 A	Passed
400,0 mΩ	40,00 °	n/a	1,000 s	1,034 s	3,41 %	10,00 A	Passed
558,2 mΩ	-100,00 °	n/a	5,000 s	5,034 s	0,678 %	10,00 A	Passed



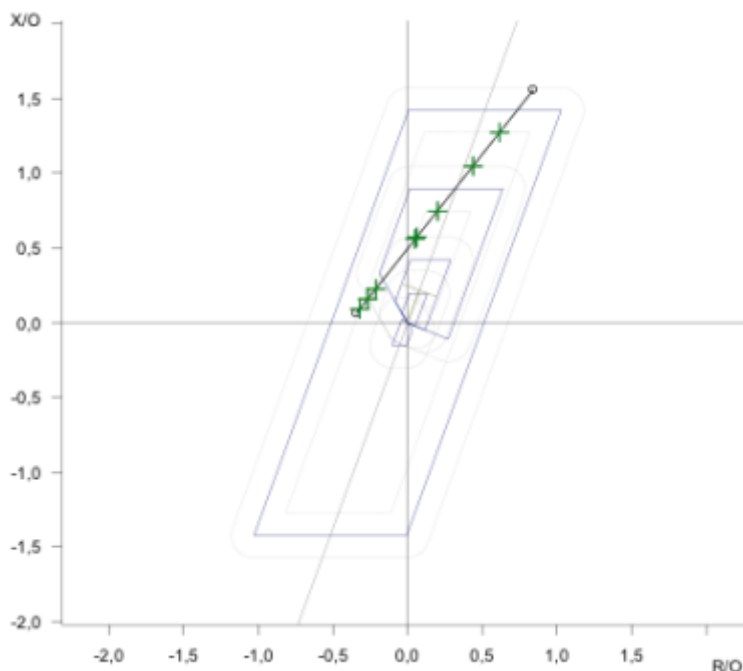
Obr. 9 Body pre testovanie dištančnej ochrany

5.2. Overenie činnosti digitálnej ochrany SIEMENS SIPROTEC 7SA611 pre úsečku testovania

Druhá varianta testovania je časovo jednoduchšia. Oproti prvému testovaniu nevolíme jednotlivé body testovania ale nastavíme "úsečku" bodov, t.j. prvý až koncový bod testovania. Testovacie body sa nezadávali jednotlivo ale zostrojená úsečka pretínala všetky impedančné zóny. Testovacie body na línii úsečky boli vygenerované modulom automaticky. Výsledky z testovania sú uvedené v nasledujúcej tabuľke (Tab. 5) a úsečka s testovanými bodmi je na nasledujúcom obrázku (Obr. 10).

Tab. 5 Výsledky testovania pre zvolenú úsečku

$ Z $	Phi	t nom	t act.	Dev.	I Test	Result
332,0 mΩ	164,32 °	5,000 s	5,054 s	1,08 %	10,00 A	Passed
308,9 mΩ	149,12 °	5,000 s	5,054 s	1,082 %	10,00 A	Passed
309,2 mΩ	133,56 °	5,000 s	5,059 s	1,17 %	10,00 A	Passed
560,2 mΩ	84,72 °	1,000 s	1,034 s	3,43 %	10,00 A	Passed
573,3 mΩ	83,87 °	1,000 s	1,034 s	3,43 %	10,00 A	Passed
772,5 mΩ	74,94 °	1,000 s	1,034 s	3,42 %	10,00 A	Passed
1,134 Ω	67,25 °	5,000 s	5,034 s	0,688 %	10,00 A	Passed
1,412 Ω	64,11 °	5,000 s	5,034 s	0,678 %	10,00 A	Passed



Obr. 10 Testovacie body úsečky pre testovanie dištančnej ochrany

6. Záver

Problematika testovania ochranných terminálov je vcelku zložitá, pričom už pred nasadením samotného terminálu do prevádzky je nutné funkčné a systémové testovanie týchto zariadení. Cieľom tohto príspevku je popísať metódy testovania a opis digitálneho ochranného terminálu SIEMENS SIPROTEC 7SA611. Táto ochrana patrí medzi dištančné ochrany vonkajších a káblových vedení. Vzhľadom k tomu, že sa jedná o digitálny terminál, toto zariadenie má viacero ochranných funkcií, ktoré boli popísané v úvode práce. Pre testovanie tohto digitálneho ochranného terminálu bola cielene zvolená jedná ochranná funkcia, a to „ANSI 21 - Dištančná ochrana“. Celkovo boli vykonané dve testovania v rôznych častiach ochranných zón. Ako vyplýva z priložených tabuliek, skutočný vypínací čas sa v jednotlivých bodoch testovania odlišoval od prednastaveného času minimálne a teda ochranný terminál vyhovuje.

Zoznam použitej literatúry

1. M. Kolcun, V. Griger, L. Beňa, J. Rusnák, "Prevádzka elektrizačnej sústavy," Košice, 2007. ISBN 978-80-8073-837-2
2. LUMNITZER, Ervin - DRAHOŠ, Richard - LIPTAI, Pavol: Elektromagnetické polia v životnom a pracovnom prostredí Objektivizácia a hodnotenie faktorov prostredia, 1. vyd - Košice, Technická univerzita, 2014, 96 s. ISBN 978-80-553-1910-0.
3. V. Chladný, F. Janíček, A. Belaň, "Digitálne ochrany v elektrizačných sústavách," Košice, 2003. ISBN 80-89061-73-7
4. LIPTAI, Pavol - MORAVEC, Marek - LUMNITZER, Ervin - LUKÁČOVÁ, Katarína: Impact analysis of the electromagnetic fields of transformer stations close to residential buildings. In: SGEM 2014, volume 1, p. 17-26, 2014, STEF92 Technology, p. 355-360. ISBN 978-619-7105-17-9.
5. Siemens, Siprotec Distance Protection 7SA611, Manual, 6.2013.

Spoluautormi článku sú doc. Ing. Lubomír BEŇA, PhD., Ing. Miroslav MIKITA, Ing. Martin VOJTEK, Katedra elektroenergetiky, FEI TUKE, Slovenská republika, Bc. Michal MÁRTON, Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Ing. Ivana SULÍROVÁ, Katedra priemyselného inžinierstva Sjf UNIZA, Slovenská republika
