EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ ZEMNÍCH SPOJENÍ V KOMPENZOVANÉ SOUSTAVĚ UBR/SLM

Shrnující zpráva z experimentálního měření

Číslo projektu: TK04020230

Název projektu: Vývoj systému pro autonomní analýzu poruchových záznamů v distribučních soustavách

Brno **prosinec 2024**

Obsah

1 Úvod 1

2 Popis experimentu 1

2.1 Měřené veličiny 3

2.2 Souhrnná tabulka experimentů 4

3 Popis systému FRA 6

3.1 Základní blokové komunikační schéma 6

3.2 Vyhodnocení funkce systému FRA 9

ZÁVĚR 12

1 Úvod

Cílem realizovaného experimentálního měření provedeného dne 22. a 23.10.2024 bylo ověření poloprovozu systému Vdip2 a FRA instalovaného v lokalitě napájecích rozvoden Uherský Brod a Slavičín na vývodu VN75 a VN26.

2 Popis experimentu

Experimentální měření zemního spojení (ZS) bylo realizováno v distribuční soustavě 22 kV napájené z transformovny TR 110/22kV Uherský Brod a Slavičín (variantně). Pro měření ZS byl vyčleněn vývod VN75, na kterém bylo možné provádět během ZS rekonfiguraci jak při napájení ze Slavičína, tak i z Uherského Brodu.

Obr. 2-1 Místo zemního spojení v místě DTS Vlčí 400953

Vlastní porucha byla realizována propojením vybrané fáze L_3 se zemnící soustavou přes pomocný dálkově ovládaný jednopólový odpínač (viz Obr. 2-1) a to buď přímo (kovové zemní spojení), nebo přes elektrolytický odpor (odporové ZS) či poškozený kabel

(obloukové ZS) v závislosti na typu simulované poruchy. Zemní odpor zemnící soustavy s připojenou fází byl cca 30 Ω (měřeno při rezistivitě půdy 50 Ωm). Testy probíhaly po celou dobu bez přerušení dodávky elektrické energie za pomoci čety PPN.

Během testů byly realizovány dvě série měření lišící se napájecí rozvodnou UBR a SLM a zapojením postiženého vývodu, který byl vždy uvažován ve dvou modifikacích UBR1/SLM1 a UBR2/SLM2. Seznam všech testů a jejich parametrů je uveden níže.

Tab. 2-1: Konfigurace testované sítě během experimentálních měření napájených z UBR

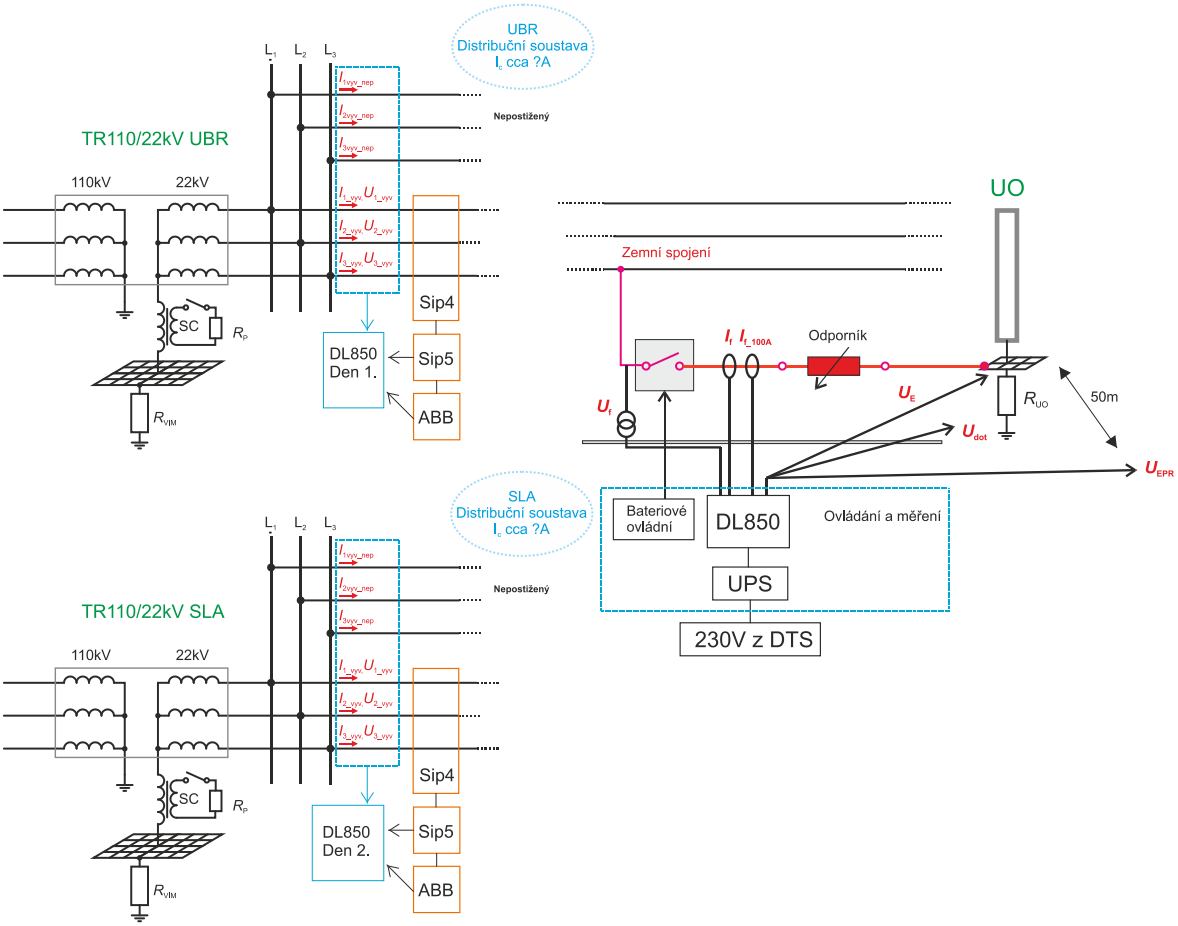
Test číslo	***Čas 22.10.2024***	***Zapojení***	***Typ ZS***	***Naladění***
1a	09:47:58.202	UBR 1	kovové	vyladěno
1b	10:04:44.747	UBR 1	kovové	vyladěno
1c	10:19:35.701	UBR 1	kovové	vyladěno
2	10:51:06.661	UBR 1	kovové	podladěno -7,2A
3	11:03:06.925	UBR 1	kovové	podladěno -10A
4	11:24:22.122	UBR 1	kovové	přeladěno +5A
5	11:33:44.237	UBR 1	kovové	přeladěno +12A
6	11:44:03.805	UBR 2	kovové	vyladěno
7	12:14:58.781	UBR 2	obloukové	vyladěno
8a	12:33:23.391	UBR 2	obloukové	podladěno -5A
8b	12:46:43.731	UBR 2	obloukové	podladěno -5A
9	12:56:03.765	UBR 1	obloukové	Vyladěno
10	13:28:38.765	UBR 1	odporové 1200 Ω	vyladěno
11	13:43:03.911	UBR 2	odporové 1200 Ω	vyladěno
12	14:15:01.854	UBR 2	odporové 400 Ω	vyladěno
13	14:27:38.621	UBR 1	odporové 400 Ω	vyladěno
14	14:47:45.972	UBR 1	odporové 200 Ω	vyladěno
15	14:56:21.395	UBR 2	odporové 200 Ω	vyladěno
16	15:13:09.621	UBR 2	odporové 100 Ω	vyladěno
17	15:23:02.321	UBR 1	odporové 100 Ω	vyladěno

Tab. 2-2: Konfigurace testované sítě během experimentálních měření napájených ze SLM

Test číslo	***Čas 23.10.2024***	***Zapojení***	***Typ ZS***	***Naladění***
1	10:23:39.203	SLM 1	kovové	vyladěno
2	10:36:10.674	SLM 1	kovové	podladěno -5A
3a	10:42	SLM 1	kovové	podladěno -12A
3b	11:05:25.472	SLM 1	kovové	podladěno -12A
4	11:13:39.310	SLM 1	kovové	přeladěno +5A
5	11:24:21.790	SLM 1	kovové	přeladěno +12A
6	11:33:15.033	SLM 2	kovové	vyladěno
7	12:13:07.662	SLM 2	obloukové	vyladěno
8	12:20:45.904	SLM 2	obloukové	podladěno -10A
9	12:28:48.580	SLM 1	obloukové	Vyladěno
10a	12:58	SLM 1	odporové 1400 Ω	vyladěno
10b		SLM 1	odporové 1400 Ω	podladěno -10A
10c	13:14	SLM 1	odporové 1400 Ω	podladěno -10A
11	13:24	SLM 2	odporové 1400 Ω	podladěno -5A
12	13:44:36.492	SLM 2	odporové 400 Ω	vyladěno
13	13:51:43.533	SLM 1	odporové 400 Ω	vyladěno
14	14:07:46.010	SLM 1	odporové 200 Ω	vyladěno
15	14:14:52.213	SLM 2	odporové 200 Ω	vyladěno
16	14:26:23.084	SLM 2	odporové 100 Ω	vyladěno
17	14:32:34.933	SLM 1	odporové 100 Ω	vyladěno

2.1 Měřené veličiny

Zjednodušené schéma experimentálního měření a zaznamenávaných veličin je znázorněno na Obr. 2-2.



Obr. 2-2 Zjednodušené schéma konfigurace soustavy a měřených veličin během experimentálního měření zemního spojení

Pro účel záznamu všech uvedených veličin byly využity celkem dva poruchové zapisovače umístěné v napájecí rozvodně VN a v místě poruchy.

První ze zapisovačů Yokogawa DL850 instalovaný v napájecí rozvodně monitoroval napěťové a proudové poměry na postiženém vývodu VN75 a na nepostiženém vývodu. Druhý záznamník Yokogawa DL850 byl instalovaný v místě poruchy, kde monitoroval poruchový proud (dva rozsahy poruchového proudu), úbytek napětí na odporu poruchy, napětí postižené fáze, dotyková napětí (zatížená desková elektroda a nezatížená tyč) a napětí navýšení potenciálu postižené zemnící soustavy.

2.2 Souhrnná tabulka experimentů

Pro srovnání jednotlivých úrovní monitorovaných signálů napříč všemi testy jsou v tabulkách níže uvedeny souhrnně všechny monitorované parametry a to pro stav zemního spojení bez připnutého pomocného odporníku a po připnutí pomocného odporníku.

Pozn.: Testy 1a, 8a, 10b a 14 nebyly během testů zaznamenány nebo nejsou kompletní. VE většině případů došlo k opakování těchto testů.

Tab. 2-3 Souhrnná tabulka charakteristických hodnot všech experimentů

Stav			ZS			ZS + R			R_{ZS}
Zapojení	**Test**	**Typ (rozladění)**	I_f	$3xI_{0_po}$	U_0	I_f	$3xI_{0_po}$	U_0	
			[A]	[A]	[kV]	[A]	[A]	[kV]	[Ω]
UBR 1	1a	kovové	n/a	35,5	12,2	n/a	41,7	11,8	
UBR 1	1b	kovové	2,9	35,7	12,3	11,3	41,9	11,9	
UBR 1	1c	kovové	2,8	35,6	12,3	19,0	41,8	11,9	n/a
UBR 1	2	kovové (-7,2A)	8,5	27,9	11,9	23,9	35,7	11,7	n/a
UBR 1	3	kovové (-10A)	8,9	27,5	12,0	24,0	35,5	11,8	n/a
UBR 1	4	kovové (+5A)	4,2	38,3	11,7	23,0	43,7	11,5	n/a
UBR 1	5	kovové (+12A)	7,9	42,5	11,6	23,9	47,1	11,5	n/a
UBR 2	6	kovové	3,0	34,4	11,7	22,5	40,4	11,5	n/a
UBR 2	7	obloukové	4,7	32,4	10,9	22,5	40,3	11,3	n/a
UBR 2	8a	obloukové (-5A)	n/a	30,8	11,7	n/a	37,0	11,4	n/a
UBR 2	8b	obloukové (-5A)	8,0	29,6	11,7	22,3	35,5	11,2	n/a
UBR 1	9	obloukové	4,0	33,8	11,5	22,3	39,8	11,3	n/a
UBR 1	10	odporové 1200 Ω	2,3	27,8	9,5	7,1	13,3	3,6	1185,5
UBR 2	11	odporové 1200 Ω	2,1	28,1	9,5	7,2	13,6	3,6	1124,1
UBR 2	12	odporové 400 Ω	2,4	31,4	10,7	11,5	21,0	5,7	505,6
UBR 1	13	odporové 400 Ω	2,5	31,6	10,8	11,9	21,5	5,9	481,8
UBR 1	14	odporové 200 Ω	2,6	33,4	11,4	16,2	29,2	8,3	208,4
UBR 2	15	odporové 200 Ω	3,1	32,2	11,4	16,2	28,6	8,4	201,8
UBR 2	16	odporové 100 Ω	2,7	34,3	11,6	19,0	34,3	9,7	97,1
UBR 1	17	odporové 100 Ω	2,9	33,9	11,8	19,1	34,1	9,9	94,8
SLM 1	1	kovové	6,9	42,2	12,0	44,4	58,8	10,3	60,6
SLM 1	2	kovové (-5A)	5,1	38,2	12,0	43,2	55,9	10,4	48,3
SLM 1	3a	kovové (-12A)	7,4	32,5	12,2	42,7	52,6	10,6	79,7
SLM 1	3b	kovové (-12A)	7,6	32,6	12,3	43,6	53,3	10,6	45,1
SLM 1	4	kovové (+5A)	11,1	47,3	12,0	43,5	60,5	10,4	44,1
SLM 1	5	kovové (+12A)	15,1	51,4	11,9	44,4	63,2	10,4	42,6
SLM 2	6	kovové	8,5	44,3	12,3	44,1	59,6	10,7	41,2
SLM 2	7	obloukové	6,4	42,3	12,0	44,7	59,3	10,5	39,2
SLM 2	8	obloukové (-10A)	6,4	33,5	12,3	43,4	53,5	10,6	39,9
SLM 1	9	obloukové	7,1	42,8	11,9	42,3	57,5	10,3	39,7
SLM 1	10a	odporové 1400 Ω	1,9	28,1	9,0	6,7	8,3	1,5	1551,3
SLM 1	10b	odporové 1400 Ω (-10A)	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
SLM 1	10c	odporové 1400 Ω (-10A)	5,9	18,5	7,8	8,3	9,7	1,9	1189,9
SLM 2	11	odporové 1400 Ω (-5A)	3,6	27,0	9,7	9,6	11,6	2,2	1001,0
SLM 2	12	odporové 400 Ω	3,6	37,7	11,3	19,2	24,4	4,4	363,3
SLM 1	13	odporové 400 Ω	4,4	38,2	11,1	20,0	25,9	4,6	326,1
SLM 1	14	odporové 200 Ω	n/a	40,4	11,7	n/a	38,4	6,9	n/a
SLM 2	15	odporové 200 Ω	6,0	42,4	11,9	30,6	39,9	7,2	122,5
SLM 2	16	odporové 100 Ω	6,1	42,9	12,1	36,1	47,3	8,6	101,4
SLM 1	17	odporové 100 Ω	6,3	42,7	12,0	35,1	46,8	8,5	99,6

Tab. 2-4 Souhrnná tabulka dotykových napětí a navýšení potenciálů zemnících soustav

Stav			ZS				ZS+R			
Zapojení	*Test*	*Typ (rozladění)*	U_{E_UO}	U_{E_DTS}	U_{d_load}	U_{d_rod}	U_{E_UO}	U_{E_DTS}	U_{d_load}	U_{d_rod}
			[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]
UBR 1	1a	kovové	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
UBR 1	1b	kovové	90,7	1,1	72,1	81,9	480,4	3,7	243,2	246,6
UBR 1	1c	kovové	89,2	1,6	71,3	80,9	480,8	2,7	379,7	431,7
UBR 1	2	kovové (-7,2A)	265,8	0,7	211,4	240,0	489,4	3,0	385,8	438,5
UBR 1	3	kovové (-10A)	278,7	0,9	221,4	251,5	490,3	3,0	386,2	439,1
UBR 1	4	kovové (+5A)	133,1	0,9	105,8	120,1	477,9	3,2	376,9	428,3
UBR 1	5	kovové (+12A)	250,3	1,0	198,8	225,7	481,1	3,4	378,9	430,7
UBR 2	6	kovové	94,5	0,9	75,1	85,2	480,5	3,0	378,9	430,6
UBR 2	7	obloukové	125,8	1,2	99,8	113,4	468,9	2,9	370,3	420,8
UBR 2	8a	obloukové (-5A)	209,6	1,3	166,3	188,9	466,7	3,3	368,3	418,5
UBR 2	8b	obloukové (-5A)	n/a	1,0	200,8	228,6	n/a	1,4	516,5	587,0
UBR 1	9	obloukové	n/a	0,7	102,3	116,2	n/a	1,9	437,4	537,7
UBR 1	10	odporové 1200 Ω	73,9	1,7	n/a	67,2	223,8	1,8	n/a	202,5
UBR 2	11	odporové 1200 Ω	66,8	n/a	53,4	60,5	227,4	n/a	181,2	205,5
UBR 2	12	odporové 400 Ω	75,7	n/a	60,7	69,0	353,3	n/a	282,1	321,1
UBR 1	13	odporové 400 Ω	78,4	n/a	63,0	71,6	363,1	n/a	290,1	330,2
UBR 1	14	odporové 200 Ω	82,8	n/a	66,6	75,7	444,4	n/a	354,3	403,4
UBR 2	15	odporové 200 Ω	100,4	n/a	80,4	91,4	446,2	n/a	355,4	404,6
UBR 2	16	odporové 100 Ω	87,7	n/a	70,5	79,9	474,3	n/a	378,4	430,1
UBR 1	17	odporové 100 Ω	93,0	n/a	74,8	84,9	475,6	n/a	475,6	431,0

3 Popis systému FRA

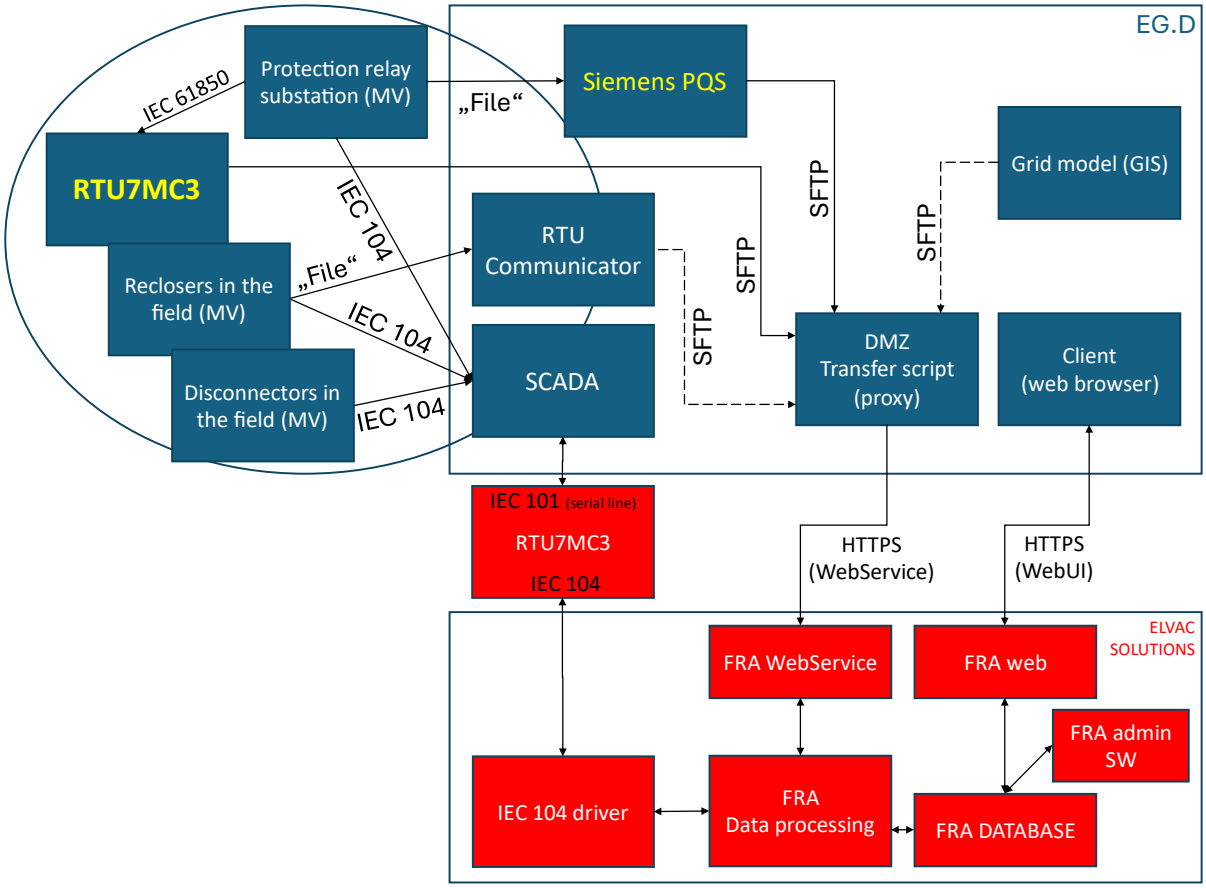
Ke spuštění algoritmů pro analýzu poruchových záznamů a případnou lokalizaci poruchy systémem FRA je nutno zajistit potřebnou množinu vstupních dat v relativně krátkém čase po vzniku poruchové události. Vstupní data jsou několika typů:

- Poruchové události (signály s časovou značkou)
- Poruchové záznamy z vývodových ochran (COMTRADE)
- Topologie dotčené oblasti sítě v okamžiku vzniku poruchy (kombinace statických dat z GIS a aktuálních stavů rozpínacích prvků)

Úkolem navržené infrastruktury je zajištění všech potřebných dat v reálném čase. Pro potřeby poloprovozu v rámci výzkumného projektu bylo nutno zohlednit dostupnost existujících zařízení a komunikačních kanálů v síti provozovatele distribuční soustavy (EG.D) a zajistit jejich prostřednictvím přenos potřebných dat na vývojový server umístěný v datové síti společnosti ELVAC. Nezbytným aspektem návrhu řešení bylo dodržení zásad kybernetické bezpečnosti a provoz systému FRA bez negativního ovlivnění chodu provozovatele distribuční sítě.

3.1 Základní blokové komunikační schéma

Schéma je barevně rozčleněno na dvě skupiny zařízení, systémů či funkčních bloků podle jejich vlastníka – modře vyznačené prvky jsou začleněny do datové sítě provozovatele distribuční soustavy (EG.D), prvky vyznačené červeně pak příslušejí k datové síti společnosti ELVAC.



Popis jednotlivých bloků ve schématu a jejich vazeb:

Bloky v síti EG.D (modré)

1. Protection relay substation (MV) … digitální ochrana VVN/VN vývodu na rozvodně – zdroj informací o poruše a poruchových záznamů

2. Reclosers in the field (MV) … reclosery rozmístěné v síti VN – zdroj informací o stavu spínacího prvku s možností využití doplňkového poruchového záznamu

3. Disconnectors in the field (MV) … úsekové odpínače v síti VN – zdroj informací o stavu spínacího prvku

4. RTU7MC3 … komunikační jednotka pro stahování záznamů z ochran protokolem IEC 61850 a jejich předávání k dalšímu zpracování protokolem SFTP (nebo IEC 60870-5-104)

5. Siemens PQS … nástroj výrobce ochran zajišťující stažení poruchových záznamů a jejich uložení na disk

6. RTU Communicator … komunikační koncentrátor zajišťující stažení poruchových záznamů z řídicích jednotek recloserů

7. SCADA … dispečerský řídicí systém provozovatele distribuční soustavy, pro účely FRA koncentruje a předává poruchové signály a stavové informace z rozpínacích prvků v síti VVN/VN

8. Grid Model (GIS) … data popisující fyzické parametry sítě VVN/VN (délky jednotlivých úseků vedení, průřezy a typy vodičů, parametry transformátorů apod.)

9. DMZ Transfer Script (proxy) … na serveru umístěném v „demilitarizované zóně“ v rámci infrastruktury EG.D jsou v pravidelných intervalech spouštěny skripty zajišťující zabezpečený přenos dat ze zdrojů uvnitř EG.D směrem na server FRA provozovaný v infrastruktuře společnosti ELVAC, použití internetového připojení

10. Client (web browser) … výsledky analýzy poruchových záznamů včetně lokalizace poruch a doplňkových i statistických informací jsou uživatelům v EG.D dostupné přes běžný webový prohlížeč (zabezpečení přístupu jménem a heslem), použití internetového připojení

Bloky v síti ELVAC (červené)

1. RTU7MC3 (IEC 101 serial line) … komunikační jednotka pro přenos signálů ze SCADA systému EG.D, připojena do datové sítě ELVACu (přes mobilní datové připojení), spojení se SCADA přes sériovou linku (oddělení síťové komunikace z důvodu kybernetické bezpečnosti)

2. IEC 104 driver … komunikační ovladač integrovaný do SW balíku FRA

3. FRA WebService … webová služba určená pro příjem dat poskytovaných přes „Transfer skript“, zejména tedy poruchových záznamů z ochran na vývodech z rozvodny VVN/VN

4. FRA Data Processing … algoritmy pro analýzu poruchových záznamů a lokalizaci poruch

5. FRA Database … datové úložiště obsahující jak veškerá konfigurační, topologická a poruchová data vstupující do výpočtů, tak výsledky analýzy těchto dat včetně výsledků lokalizace

6. FRA Web … webové rozhraní sloužící pro vizualizaci a třídění zpracovaných záznamů či výsledků lokalizace včetně statistických a analytických dat

7. FRA Admin SW … konfigurační a diagnostický nástroj pro nastavení systému, import podkladových dat, kontrolu interních záznamů a údržbu datových struktur

Hlavní datové toky

Stavy odpínačů v síti, recloserů i vypínačů na vývodech jsou přenášeny standardním způsobem do SCADA systému, odtud přes sériovou linku protokolem IEC101 do RTU7MC3 a dále přes mobilní datové připojení (SIM ELVAC) protokolem IEC104 na FRA server. Stejnou datovou cestu v opačném směru lze využít pro přenos výsledků lokalizace či dalších analytických výstupů dostupných na straně serveru.

COMTRADE záznamy z ochran na vývodech v rozvodně VVN/VN jsou stahovány přes RTU7MC3 umístěné na rozvodně a dále přenášeny přes „DMZ Transfer script“ (komunikace přes internet) na FRA server. Skripty na stanici v DMZ ve spojení s webovou službou na straně FRA serveru lze využít také k přenosu záznamů stažených přes „Siemens PQS“ případně „RTU Communicator“. Stejný způsob přenosu je k dispozici také pro přenos dat ze systému GIS, tato možnost však není v průběhu poloprovozu využívána.

K zobrazení výsledků analýzy záznamů a lokalizace poruch pomocí webového prohlížeče na straně provozovatele distribuční soustavy slouží „FRA web“ na serveru Vdip2 odkud probíhá přenos protokolem HTTPS s využitím internetového připojení.

Poznámka: Pro přenos záznamů ve formátu COMTRADE a dalších datových soborů se využívá komprese (ZIP) za účelem snížení objemu přenášených dat.

3.2 Vyhodnocení funkce systému FRA

Během provedených testů zemních spojení bylo prokázáno, že vytvořená infrastruktura systému FRA popsaná v kapitole 3.1 byla plně funkční. Během uměle vytvářených poruch došlo pouze k jedné chybě, kdy nedošlo k přenosu signalizace působení vývodové ochrany, tato chyba však nastala z příčiny restartování zdroje dat na úrovni PDS. Jelikož zbylé komponenty systému FRA byly již průběžně testovány, vyhodnocení bude dále zaměřeno na posouzení přesnosti estimace zemního proudu během zemních spojení, k jehož vyhodnocení nebylo dostatek vstupních dat.

Odchylka výsledku estimovaného zemního proudu systémem FRA od skutečné hodnoty měřené v místě poruchy je uvedena v tabulce Tab. 3-1 pro první den testů napájených z rozvodny UBR a Tab. 3-2 pro druhý den testů napájených z rozvodny SLM. Tyto tabulky obsahují základní informace o jednotlivých testech, vyhodnocení odchylky zbytkového proudu, kde:

a) I_f est (A) – je systémem FRA estimovaný zemní proud
b) I_f max (A) – je systémem FRA estimovaná maximální hodnota zemního proudu (odpovídá kovovému zemnímu spojení)
c) I_f meas (A) – je zemní proud měřený v místě poruchy během testů zemních spojení

d) ΔI_f (A) – odchylka estimované a skutečné hodnoty zemního proudu (zbytkového proudu)
e) ΔI_f max (A) – odchylka maximální hodnoty zemního proudu (zbytkového proudu) od měřeného proudu během kovového zemního spojení

Dále pak informaci o připnutém pomocném odporníku v momentě estimace zbytkového (zemního proudu) *ano* (pomocný odporník připnut) *ne* (pomocný odporník nepřipnut).

Jak je patrné z tabulek Tab. 3-1 a Tab. 3-2, tak odchylky estimovaného a skutečného poruchového zemního proudu se pohybují od 10A do – 8,7A (estimovaná hodnota je menší než skutečná). Uvedené odchylky jsou způsobeny jak vlivem nabíjecích kapacit na postiženém vývodu, tak i nejistotou měření, jelikož zbytkový proud je v uvedeném případě extrémně nízký – tvoří cca 1A rozdíl ve fázovém proudu jehož jmenovitý proud je 300A (tj. cca 0,33%) , což je výrazně pod úrovní nejistoty přístrojových transformátorů proudu. Estimace zbytkového proudu umožňuje získat představu o úrovni zbytkového proudu a to i přes uvedené průměrné odchylky estimovaného proudu 3,2 A.

Tab. 3-1 Estimace zemního proudu systémem FRA soustavy napájené z rozvodny UBR

Test číslo	***Čas 22.10.2024***	***Zapojení***	***Typ ZS***	***Naladění***	***I_f est (A)***	***I_f max (A)***	***I_f meas (A)***	***Δif (A)***	***Δif max (A)***	***Odporník pro If***
15	14:56:21.395	UBR 2	odporové 200 Ω	vyladěno	13,0	20,6	16,2	-3,2	-1,9	ano
9	12:56:03.765	UBR 1	obloukové	Vyladěno	19,7	22,9	22,1	-2,5		ano
6	11:44:03.805	UBR 2	kovové	vyladěno	21,0	24,2	22,5	-1,5		ano
4	11:24:22.122	UBR 1	kovové	přeladěno +5A	25,9	29,8	23,0	2,9		ano
2	10:51:06.661	UBR 1	kovové	podladěno -7,2A	33,1	37,8	23,9	9,2		ano
8a	12:33:23.391	UBR 2	obloukové	podladěno -5A	22,7	26,4	x	x		ano
8b	12:46:43.731	UBR 2	obloukové	podladěno -5A	3,0	3,3	6,6	-3,5		ne
3	11:03:06.925	UBR 1	kovové	podladěno -10A	5,8	6,1	8,8	-3,1		ne
13	14:27:38.621	UBR 1	odporové 400 Ω	vyladěno	0,8	0,9	2,3	-1,5	-2,5	ne
14	14:47:45.972	UBR 1	odporové 200 Ω	vyladěno	1,1	1,2	2,4	-1,3	-2,7	ne
16	15:13:09.621	UBR 2	odporové 100 Ω	vyladěno	2,3	2,6	2,4	-0,1	-7,7	ne
1c	10:19:35.701	UBR 1	kovové	vyladěno	3,1	3,4	2,6	0,5		ne
1b	10:04:44.747	UBR 1	kovové	vyladěno	3,7	3,9	2,8	0,9		ne
5	11:33:44.237	UBR 1	kovové	přeladěno +12A	9,1	10,3	7,8	1,2		ne
12	14:15:01.854	UBR 2	odporové 400 Ω	vyladěno	3,5	4,1	2,2	1,3	0,3	ne
17	15:23:02.321	UBR 1	odporové 100 Ω	vyladěno	4,2	4,8	2,7	1,5	0,9	ne
7	12:14:58.781	UBR 2	obloukové	vyladěno	10,2	13,0	6,0	4,1		ne
11	13:43:03.911	UBR 2	odporové 1200 Ω	vyladěno	9,9	12,8	2,0	7,9	10,0	ne
1a	09:47:58.202	UBR 1	kovové	vyladěno	3,1	3,3		x		ne
10	13:28:38.765	UBR 1	odporové 1200 Ω	vyladěno			2,3	x		

Tab. 3-2 Estimace zemního proudu systémem FRA soustavy napájené z rozvodny SLM

Test číslo	***Čas 22.10.2024***	***Zapojení***	***Typ ZS***	***Naladění***	***I_f est (A)***	***I_f max (A)***	***I_f meas (A)***	***Δif (A)***	***Δif max (A)***	***Odporník pro If***
6	11:33:15.033	SLM 2	kovové	vyladěno	35,2	43,4	43,9	-8,7		ano
8	12:20:45.904	SLM 2	obloukové	podladěno -10A	38,2	47,7	43,4	-5,2		ano
2	10:36:10.674	SLM 1	kovové	podladěno -5A	38,8	49,3	43,3	-4,6		ano
7	12:13:07.662	SLM 2	obloukové	vyladěno	41,1	51,9	44,5	-3,5		ano
16	14:26:23.084	SLM 2	odporové 100 Ω	vyladěno	34,9	53,6	36,1	-1,2	9,8	ano
3b	11:05:25.472	SLM 1	kovové	podladěno -12A	5,1	5,4	7,7	-2,6		ne
4	11:13:39.310	SLM 1	kovové	přeladěno +5A	10,3	11,4	11,3	-1,0		ne
1	10:23:39.203	SLM 1	kovové	vyladěno	7,2	7,9	7,1	0,1		ne
5	11:24:21.790	SLM 1	kovové	přeladěno +12A	18,2	20,4	15,1	3,1		ne
15	14:14:52.213	SLM 2	odporové 200 Ω	vyladěno	9,7	10,7	6,2	3,5	3,6	ne
9	12:28:48.580	SLM 1	obloukové	Vyladěno	10,3	11,4	6,6	3,7		ne
17	14:32:34.933	SLM 1	odporové 100 Ω	vyladěno	12,1	13,4	6,4	5,7	6,3	ne
13	13:51:43.533	SLM 1	odporové 400 Ω	vyladěno	10,3	12,1	4,6	5,8	5,0	ne
12	13:44:36.492	SLM 2	odporové 400 Ω	vyladěno	10,8	12,6	3,8	7,0	5,5	ne
14	14:07:46.010	SLM 1	odporové 200 Ω	vyladěno	14,7	16,6	x	x		ne

ZÁVĚR

Zhodnocení systému FRA

Testy ZS prokázaly plnou funkčnost nasazeného systému FRA (centralizace poruchových záznamů, komunikační infrastruktury, funkce SW modulů a jejich integrace na serveru FRA). Odchylky estimovaného a skutečného poruchového zemního proudu se pohybují od 10 A do – 8,7 A, kdy estimovaná hodnota je menší než skutečná. Uvedené odchylky jsou způsobeny jak vlivem nabíjecích kapacit na postiženém vývodu, tak i nejistotou měření, jelikož zbytkový proud je v uvedeném případě extrémně nízký tj. cca 0,33% jmenovitého proudu, což je výrazně pod úrovní nejistoty měření přístrojových transformátorů proudu. Estimace zbytkového proudu umožňuje získat představu o úrovni zbytkového proudu, a to i přes uvedené průměrné odchylky estimovaného proudu 3,2 A. V případě vyšších zbytkových proudů, jež mají i vyšší vliv na zhodnocení nebezpečnosti poruchy, lze čekat výrazněji nižší odchylky estimovaných hodnot.