



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta Elektrotechnická
Katedra Elektroenergetiky**

**Provoz kompenzovaných sítí s automatikou připínání
pomocného odporníku**

**Compensated grids operation with automatic auxiliary
resistor switch-on**

Bakalářská práce
Bachelor's thesis

Šimon Szczotka

Studijní program:	Elektrotechnika, energetika a management
Study programme:	Electrical engineering, power engineering and management
Studijní obor:	Aplikovaná elektrotechnika
Field of study:	Applied electrical engineering
Vedoucí práce/ Tutor:	Ing. Jan Švec, Ph.D.

Abstrakt

Tato práce se zabývá provozováním kompenzovaných sítí se zaměřením se na funkci pomocného odporníku v těchto sítích. V práci budou detailně popsány poruchy, které vznikají v sítích vysokého napětí - zejména zemní spojení.. Dále bude blíže popsána funkce pomocného odporníku a to, jak tento odporník pomáhá vylepšovat poruchové stavy na síti vysokého napětí. V závěru této práce bude na detailním reálném příkladu ukázáno, jak se takový odporník zkouší a připravuje do provozu. Bude popsáno, jaké pracovní postupy a bezpečnostní opatření předcházejí těmto zkouškám, jejich vlastní popis a následné vyhodnocení.

Klíčová slova

zemní spojení, pomocný odporník, transformátor, uzemněná síť, izolovaná síť, síť nepřímo uzemněná přes tlumivku, síť nepřímo uzemněná přes činný odpor

Abstract

This work deals with the operation of compensated grids, focusing the function of the auxiliary resistor in these grids. In this work, the faults originating from the medium voltage grids, especially ground faults, will be described in detail. The auxiliary resistor work will be closer presented and the way how this resistor can improve faulty conditions in the medium voltage grids. In conclusion of this work the resistor testing and resistor service preparation will be demonstrated. Furthermore, the working methods and safety provisions preceding these tests with their description and subsequent evaluation will be described.

Keywords

ground fault, auxiliary resistor, transformer, grounded grid, isolated grid, grid grounded through an arc-suppression coil, grid grounded through a resistor

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně za použití zdrojů literatury uvedených v seznamu v závěrečné části této práce.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon)

V Praze dne 22.5.2014

.....

Šimon Szczotka

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucím mé práce, panu Jiřímu Čajanovi z ČEZu a panu ing. Janu Švecovi Ph.D. za ochotu a věnovaný čas. Dále bych chtěl poděkovat pánům z firmy EGE a ČEZ, kteří se zúčastnili měření na rozvodně Tuchlovice, za cenné připomínky a poskytnutá data. V neposlední řadě bych také chtěl poděkovat panu ing. Martinu Čerňanovi za pomoc při sestavování matematického modelu.

Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Cíle práce.....	1
2	Druhy sítí používaných v energetice.....	2
2.1	Sítě nízkého napětí.....	2
2.1.1	Dělení sítí nízkého napětí z hlediska topologie.....	2
2.1.1.1	Sítě paprskové.....	2
2.1.1.2	Sítě okružní.....	2
2.1.1.3	Zjednodušená mřížová síť.....	3
2.1.1.4	Klasická mřížová síť.....	4
2.1.2	Dělení sítí nízkého napětí z hlediska zapojení uzlu transformátoru.....	5
2.1.2.1	Síť TN-C-S.....	5
2.1.2.2	Síť IT.....	6
2.1.2.3	Síť TT.....	6
2.2	Sítě vysokého napětí.....	7
2.2.1	Dělení sítí vysokého napětí z hlediska topologie.....	7
2.2.2	Dělení sítí vysokého napětí z hlediska zapojení uzlu transformátoru.....	8
2.2.2.1	Sítě s izolovaným uzlem.....	8
2.2.2.2	Sítě uzemněné přes zhášecí tlumivku.....	14
2.2.2.3	Sítě uzemněné přes odporník.....	18
2.3	Sítě velmi vysokého napětí.....	19
2.3.1	Dělení sítí velmi vysokého napětí z hlediska topologie.....	20
2.3.2	Dělení sítí velmi vysokého napětí z hlediska zapojení uzlu transformátoru.....	20
3	Funkce pomocného odporníku v sítích vysokého napětí.....	21
3.1	Popis funkce pomocného odporníku.....	21
3.2	Model sítě vn se zemním spojením s připínáním pomocného odporníku.....	30
4	Zkoušení a příprava pomocného odporníku do provozu.....	35
4.1	Popis rozvodny.....	36
4.2	Popis funkčních zkoušek.....	44
4.3	Popis měřených zařízení.....	46
4.4	Výsledky funkčních zkoušek.....	49

5	Závěr.....	53
5.1	Srovnání cílů práce s výsledky.....	53
6	Literatura.....	54
7	Přílohy.....	55

Seznam použitých symbolů

j	imaginární číslo
ω	úhlová frekvence [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$]
C_{a0}, C_{b0}, C_{c0}	kapacity fázových vodičů proti zemi [F]
R_p	Odpor poruchy [Ω]
$\hat{U}_{fa}, \hat{U}_{fb}, \hat{U}_{fc}$	Fázory napětí zdrojů v trojfázové soustavě [V]
\hat{U}_0	Fázor uzlového napětí [V]
$\hat{U}_a, \hat{U}_b, \hat{U}_c$	Fázory napětí trojfázové soustavy [V]
\hat{I}_p	Fázor poruchového proudu [A]
L	Indukčnost zhašecí tlumivky [H]
\hat{I}_L	Fázor proudu zhašecí tlumivky [A]
\hat{S}	Zdánlivý výkon tlumivky [VA]
u_1, u_2, u_3	Efektivní honoty fázových napětí zdrojů v trojfázové soustavě [V]
f	Frekvence sítě [Hz]
L_{rez}	Indukčnost zhašecí tlumivky [H]
R_{pom}	Odpor pomocného odporníku (přepočítaný) [Ω]
l_1, l_2	Délka simulovaného vedení [km]
G	Svod vedení na 1km délky [$\text{S}\cdot\text{km}^{-1}$]
L_{ved}	Indukčnost vedení na 1km délky [$\text{H}\cdot\text{km}^{-1}$]
R_{ved}	Odpor vedení na 1km délky [$\Omega\cdot\text{km}^{-1}$]
$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$	Kapacity jednotlivých vedení vůči zemi [F]
$G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6$	Svody jednotlivých vedení [S]
R_{v1}, R_{v2}	Odpory jednotlivých vedení [Ω]
L_{v1}, L_{v2}	Indukčnosti jednotlivých vedení [H]
R_p	Odpor poruchy [Ω]
\hat{a}, \hat{a}^2	Matematické operátory [-]

Seznam obrázků

2.1	Paprsková síť nn.....	2
2.2	Okružní síť nn.....	3
2.3	Zjednodušená mřížová síť nn.....	4
2.4	Klasická mřížová síť nn.....	5
2.5	Síť TN-C-S.....	5
2.6	Síť IT.....	6
2.7	Síť TT.....	6
2.8	Průběžná síť.....	7
2.9	Dvojpaprsková síť.....	7
2.10	Síť vn s izolovaným uzlem.....	8
2.11	Fázorový diagram napětí při odporovém zemním spojení.....	10
2.12	Měření netočivé složky proudu a napětí v rozvodně vn.....	10
2.13	Fázorový diagram napěťových a proudových poměrů na nepostiženém a postiženém vývodu během kovového zemního spojení.....	11
2.14	Schéma izolované soustavy při vzniku zemního spojení.....	12
2.15	Síť uzemněná přes zhášecí tlumivku.....	13
2.16	Rezonanční křivka pro venkovní a kabelové vedení.....	14
2.17	Fázorový diagram napěťových a proudových poměrů na nepostiženém a postiženém vývodu během kovového zemního spojení v síti s uzlem uzemněným přes zhášecí tlumivku.....	15
2.18	Schéma sítě uzemněné přes zhášecí tlumivku při zemním spojení.....	16
2.19	Síť uzemněná přes uzlový odporník.....	17
2.20	Fázorový diagram proudů a napětí při kovovém zemním spojení v síti ITr.....	18
2.21	Vedení zvn a vvn na části území ČR.....	19
3.1	Schéma zhášecí tlumivky s automatikou připínání pomocného odporníku.....	21
3.2	Schéma soustavy vn s připojeným pomocným odporníkem při zemním spojení.....	22
3.3	Fázorový diagram poměrů při zemním spojení v komp. soustavě z obr. 3.2 bez připojeného pomocného odporníku.....	22
3.4	Fázorový diagram poměrů při zemním spojení v komp. soustavě z obr. 3.2 s připojeným pomocným odporníkem.....	23
3.5	Kompenzovaná síť s připínáním pomocného odporníku a shuntu.....	24
3.6	Průběh efektivní hodnoty poruchového proudu I_f a proudu místem přizemnění postižené fáze I_{SH} během obloukového zemního spojení v kompenzované síti.....	24

3.7	Průběh okamžitých hodnot na hladině 22kV U_{L1}, U_{L2}, U_{L3} , proudu poruchou I_f , proudu shuntem I_{SH} , odběrového proudu na vývodu I_{L1} a odběrového proudu I_{sL3} na straně postižené DTS (kovové zemní spojení).....	25
3.8	Průběh okamžitých hodnot na hladině 22kV $U_{pL1}, U_{pL2}, U_{pL3}$, napětí na tlumivce (uzlového napětí) U_0 , proudu poruchou I_f , netočivé složky proudu $3xI_0$ a proudu tlumivkou I_L (kovové zemní spojení).....	25
3.9	Průběh okamžitých hodnot napětí na hladině 22 kV U_{L1}, U_{L2}, U_{L3} , napětí na tlumivce U_0 , proudu poruchou I_f , netočivé složky proudu I_0 a proudu tlumivkou I_L v okamžiku připnutí odporníku (2,19 s) (kovové zemní spojení).....	26
3.10	Průběh napětí při zemním odporovém spojení s připínáním pomocného odporníku.....	27
3.11	Průběh proudů při zemním odporovém spojení s připínáním pomocného odporníku.....	27
3.12	Průběh napětí při zemním obloukovém spojení s připínáním pomocného odporníku.....	28
3.13	Průběh proudů při zemním obloukovém spojení s připínáním pomocného odporníku.....	28
3.14	Modelovaný obvod.....	30
3.15	Průběhy fázových napětí.....	31
3.16	Průběh netočivého napětí.....	31
3.17	Průběh fázových proudů v postiženém vývodu.....	32
3.18	Průběh netočivé složky proudu v postiženém a nepostiženém vývodu.....	33
4.1	Připínání pomocného odporníku a jeho vliv na uzlové napětí U_0	34
4.2	Měřený distribuční transformátor 110/22/6,3 kV YNyn0/(d).....	35
4.3	Venkovní rozvodna 110 kV Tuchlovice.....	36
4.4	Schéma rozvodny 110 kV.....	37
4.5	Distanční ochrana SIEMENS SIPROTEC pro vývod 110 kV.....	38
4.6	Schéma zapojení tlumivek a transformátorů.....	38
4.7	Zhášecí tlumivka.....	39
4.8	Pomocné odporníky a odpojovače k zhášecím tlumivkám.....	39
4.9	Ovládací panel pro odbočku Lališ v prvním patře rozvodny 22 kV.....	40
4.10	Přípojnice ve druhém patře rozvodny 22 kV.....	41
4.11	Velín rozvodny Tuchlovice.....	41
4.12	Schéma rozvodny 22 kV.....	42
4.13	Schéma soustavy.....	43
4.14	Venkovní pracoviště.....	44
4.15	Instalace zemnicího vodiče na venkovní vedení.....	44
4.16	Vnitřní pracoviště.....	45
4.17	Štítek zhášecí tlumivky v rozvodně Buchlovice.....	46
4.18	Odporník SRA 2250/0,5/KB 6s.....	46
4.19	Štítek pomocného odporníku.....	47

4.20	Ochrana Siemens, použitá na vývodech 22 kV v rozvodně Tuchlovice.....	47
4.21	Průběh fázových napětí při odporovém zemním spojení.....	49
4.22	Průběh uzlového (netočivého) napětí při odporovém zemním spojení.....	49
4.23	Proudy jednotlivými fázemi při odporovém zemním spojení.....	50
4.24	Netočivá složka proudu při odporovém zemním spojení.....	50
4.25	Průběh fázových napětí při obloukovém zemním spojení.....	51
4.26	Průběh uzlového (netočivého) napětí při obloukovém zemním spojení.....	52
4.27	Proudy jednotlivými fázemi při odporovém zemním spojení.....	52
4.28	Netočivá složka proudu při odporovém zemním spojení.....	53

Seznam příloh

1	Program funkčních zkoušek 1.....	55
2	Program funkčních zkoušek 2.....	57

1 Úvod

Na území České republiky se nachází více druhů energetických soustav. Tyto soustavy se od sebe z technického hlediska liší jmenovitým napětím, uspořádáním a způsobem provozu uzlu napájecího transformátoru, který může být účinně uzemněn, neúčinně uzemněn a nebo izolován od země. Hlavním tématem této práce bude popsat funkci pomocného odporníku který se používá v sítích vn s uzlem neúčinně uzemněným přes zhášecí tlumivku. Při zemním spojení díky této tlumivce dochází k vykompenzování kapacitních proudů což snižuje negativní dopady zemního spojení. Pomocný odporník, který se během poruchy připojuje k sekundárnímu pomocnému vinutí výše uvedené tlumivky má značný význam pro identifikaci postiženého vývodu a správnou funkci ochran.

1.1 Cíle práce

1) Teoretický popis soustav používaných v elektroenergetice na území České republiky

Obsahuje podrobný popis sítí od nízkého až po velmi vysoké napětí. Soustavami zvláště vysokého napětí se tato práce nezabývá. Vysvětlení pojmu kompenzovaná síť. Popis druhů kompenzací pro jednotlivé typy sítí. Popis rozdílů mezi kabelovým a venkovním vedením vysokého napětí.

V této části budou také podrobně vyšetřeny jednotlivé druhy poruch vznikající v sítích vysokého napětí. Budou probrány způsoby eliminace těchto poruch pomocí technických prostředků. Budou znázorněny průběhy veličin během poruchy a to jak při kompenzované síti, tak při nekompenzované síti.

2) Popis funkce pomocného odporníku

Tato část se zaměřuje na teoretický popis funkce pomocného odporníku. Bude zde vysvětleno, jak se tento odporník má chovat. Na závěr této pasáže bude pomocí grafů a výpočtů zhodnocena činnost tohoto odporníku. Bude porovnáno chování sítě s pomocným odporníkem a bez něj.

3) Metody a postupy řešení při uvádění odporníku do provozu

Zde bude a konkrétním reálném příkladu ukázáno, jak se odporník zkouší a připravuje do provozu. Bude zde popsáno, jaké pracovní postupy a bezpečnostní opatření předcházejí těmto zkouškám. Bude zde popis vlastních zkoušek a následné vyhodnocení – výpočtové a grafické toho, jakým způsobem odporník ovlivňuje eliminaci poruch v síti. Na závěr bude popsáno, že tyto zkoušky mají i další účel (např. kvůli směrování ochran), což jsou věci také velmi důležité pro správný a bezpečný chod sítě vn.

2 Druhy sítí používaných v energetice

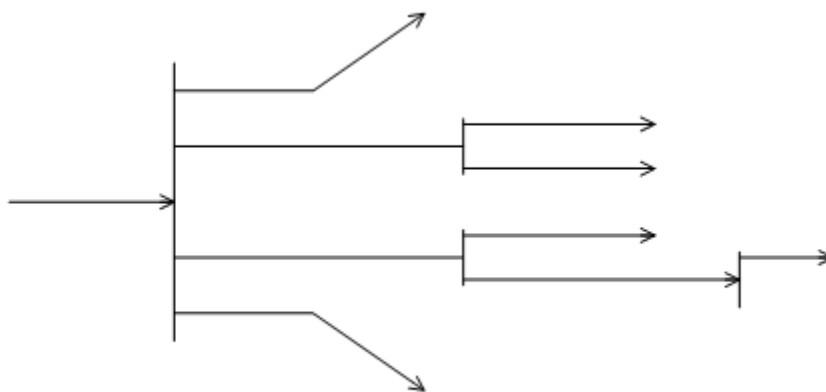
2.1 Síť nízkého napětí

Sítě nízkého napětí jsou navrhovány s ohledem na charakter napájeného objektu nebo oblasti, které se vyznačují odlišnou velikostí požadovaných výkonů a stupněm důležitosti zajištění dodávky elektrické energie. Uvedená kritéria pak rozhodují nejen o dimenzování jednotlivých částí sítě, ale také o jejich konfiguraci a způsobu připojení odběrů.[1]

2.1.1 Dělení sítí nízkého napětí z hlediska topologie

2.1.1.1 Síť paprskové

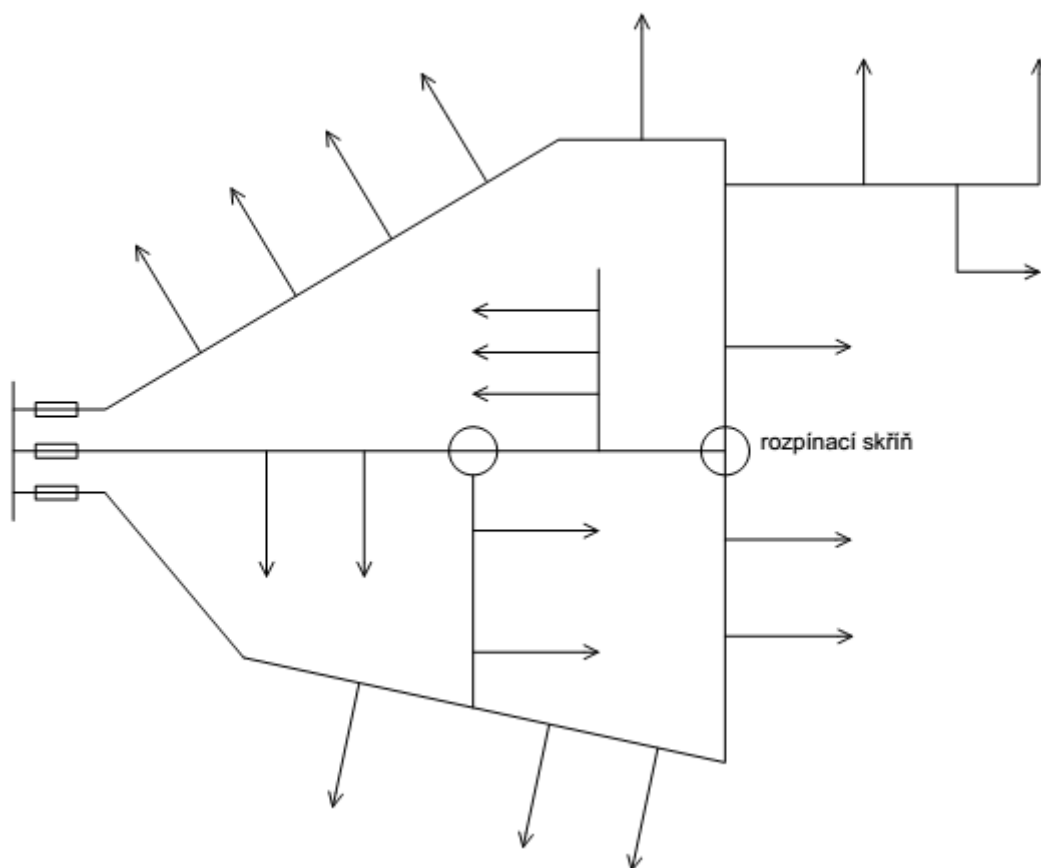
V paprskových sítích, jejichž topologie odpovídá obr. 2.1, vedení vycházejí z napájecího místa (transformovny nebo spínací stanice) a zásobují jednotlivé odběry. Každý vývod (paprsek) je samostatný a nelze je vzájemně spojovat. Tento způsob rozvodu je obvykle nejlevnější, avšak jistota zásobování je nejmenší. Přerušení dodávky může být několik hodin. Paprsková síť se obvykle používá v obcích, v malých městech i v průmyslu.[1]



Obr. 2.1 – Paprsková síť nn [1]

2.1.1.2 Síť okružní

Síť okružní je možno provozovat rozepnutou nebo sepnutou. Jednotlivé paprsky nebo polosmyčky jsou vedeny tak, aby se daly sepnout do uzavřených smyček (Obr. 2.2). V obvyklých provozních stavech se tedy jedná o síť paprskové. Při poruše vedení lze však snadno postižený obvod přepnout na vývod sousední a to buď ručně, nebo automaticky. Síť okružní jsou dražší než paprskové, protože pro vzájemné spojení je třeba větších délek vedení.[1]

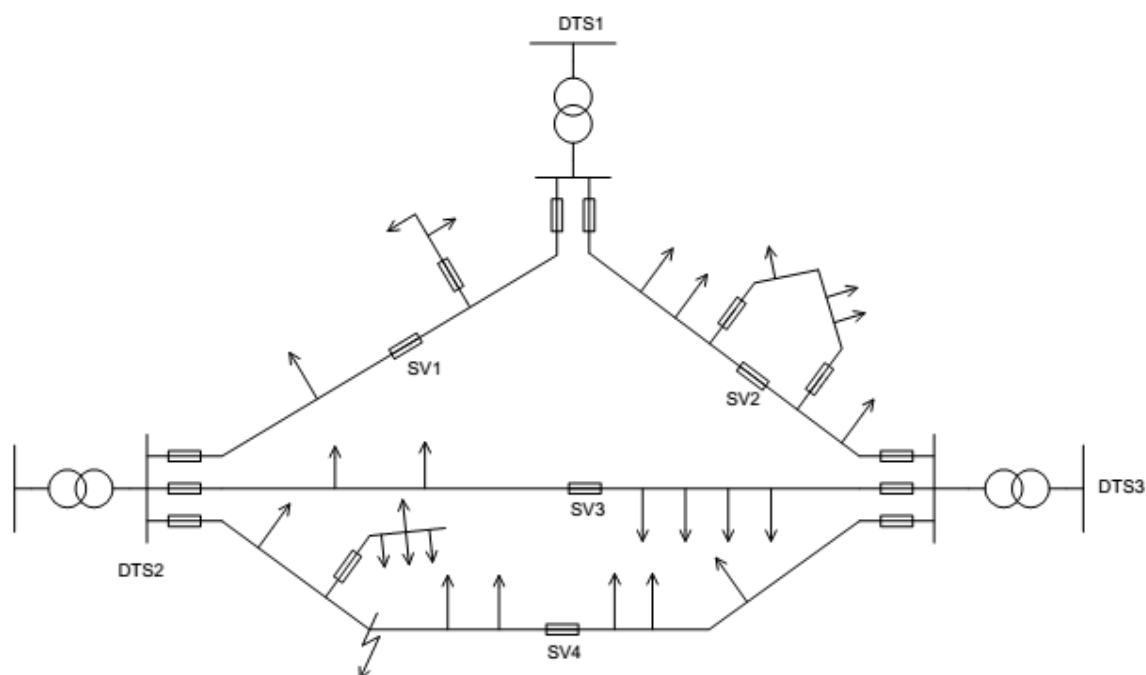


Obr. 2.2 – Okružní síť nn [1]

2.1.1.3 Zjednodušená mřížová síť

Zjednodušenou mřížovou síťnn (Obr. 2.3) lze vytvořit tehdy, pracují-li do společné sítě alespoň dva transformátory vn/nn. Mezi těmito transformátory je spojení hlavními vedeními obvykle s většími průřezy, jištěnými výkonovými (hlavními) pojistkami na vývodech z DTS. Ve vhodných místech těchto hlavních vedení jsou slabší pojistky zvané pojistky slabé vazby (SV). Podle zkušeností i zkoušek v provozu má být poměr jmenovitých proudů pojistek hlavních k pojiskám slabé vazby 2 : 1. [1]

Vyskytne-li se zkrat např. v označeném místě sítě, reaguje nejprve pojistka slabé vazby SV 4 a teprve v dalším zlomku vteřiny hlavní pojistka v DTS 2. Ostatní síť zůstává v provozu. Zjednodušená mřížová síť reaguje na poruchy na straně nn, nikoliv na straně vn. Distribuční transformovny DTS 1, DTS 2 a DTS 3 jsou většinou napájeny jedním vedením vn, obvykle venkovním.[1]

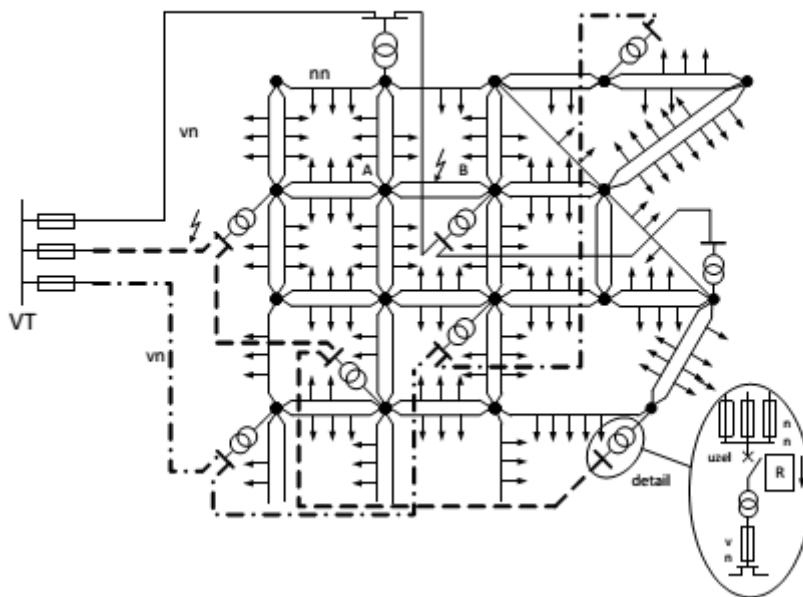


Obr. 2.3 – Zjednodušená mřížová síť nn [1]

2.1.1.4 Klasická mřížová síť

Klasické mřížové sítě nn (Obr. 2.4) se zpravidla používají ve větších městech s měrnou hustotou 1 MW/km a více, kde je několik transformoven napájených nejméně dvěma, lépe třemi až pěti napáječi vn. Kabelové vedení nn se spojí na křižovatkách ulic do uzlu. Jsou to skříně s pojistkami za zděné na vhodných místech v domovních zdech nebo umístěné do samostatných pilířů. Pojistky nn mají mít pomalou charakteristiku a ve všech skříních stejnou jmenovitou hodnotu.[1]

V klasické mřížové síti je vyšší spolehlivost zásobování odběratelů při poruše některého napáječe vn než v ostatních typech sítí. Nastane-li porucha na napáječi vn (např. prostřední vývod, Obr. 2.4), teče zkratový proud do místa zkratu nejen z místa napájení VT, ale i ze strany sítě nn. Pro tento případ jsou na straně nn každého transformátoru spínače ovládané směrovými relé, která dají popud k vypnutí vadného napáječe v případě toku výkonu z nn do vn. Téměř současně vypne spínač ve stanici VT, takže napáječ č. 2 zůstane bez napětí, ale zásobování mřížové sítě zůstane neporušeno[1]

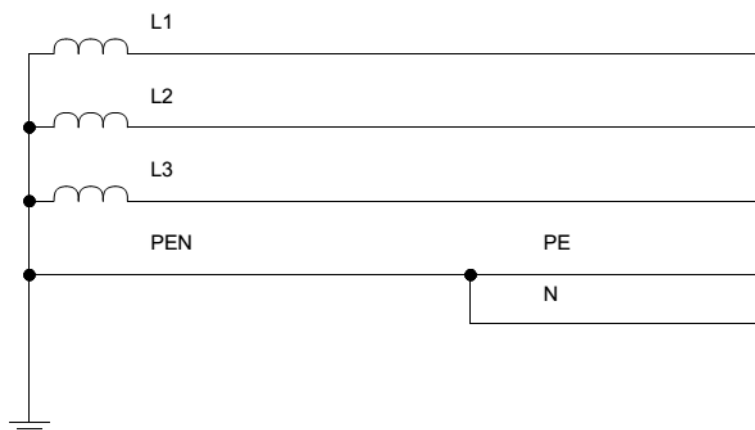


Obr. 2.4 – Klasická mřížová síť [1]

2.1.2 Dělení sítí nízkého napětí z hlediska zapojení uzlu transformátoru

2.1.2.1 Síť TN-C-S

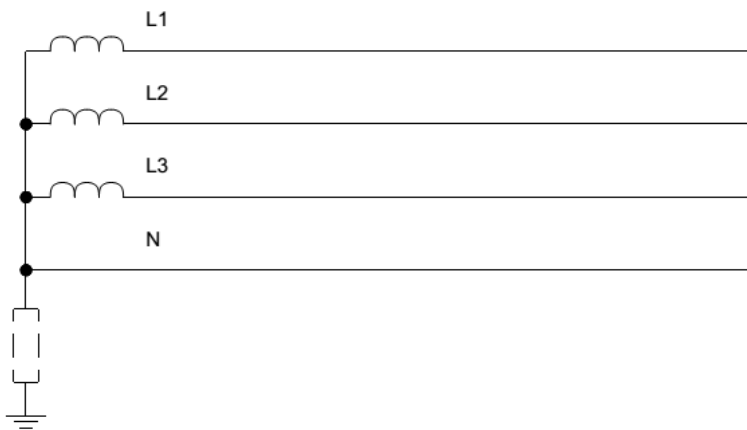
V dnešní době nejčastěji používaná síť nn na území ČR. Transformátor 22/0,4 kV bývá zapojen jako Yzn nebo častěji jako Dy. Uzel transformátoru (na straně nn) je v tomto případě přímo spojen se zemí a je z něj vyveden další vodič PEN. K rozdělení vodiče PEN na PE a N dochází až u konečných odběratelů v podružných rozvaděčích. Protože je uzel transformátoru účinně uzemněn, dochází při jednofázovém zkratu k okamžitému odpojení postiženého úseku. Chránění se provádí pojistkami nebo jističi vhodně odstupňovanými tak, aby byla zajištěna selektivita, u konečných odběratelů je používána také doplňková ochrana proudovým chráničem. Schéma sítě TN-C-S je na Obr.2.5.



Obr.2.5 – Síť TN-C-S

2.1.2.2 Síť IT

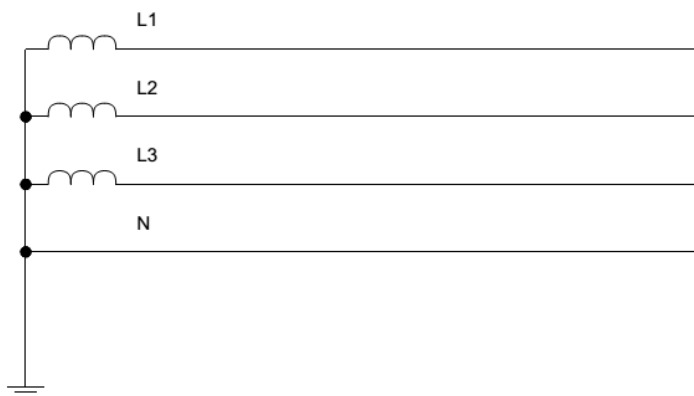
U této sítě je uzel transformátoru izolován od země, případně je uzemněn přes velkou impedanci nebo průrazku. Při jednofázovém spojení fázového vodiče se zemí prochází obvodem vlivem velké impedance mezi uzlem transformátoru a zemí pouze velmi malý proud. Ochranné prvky v tomto případě nevybaví. Síť IT je tedy používána především tam, kde je požadováno nepřetržité napájení i přes výskyt jedné poruchy (např. v nemocnicích). K zapůsobení ochrany dochází až při vícenásobných poruchách, např. při dvojitém zemním spojení (dvoufázovém zkratu). Schéma sítě IT je na obr. 2.6



Obr. 2.6 – Síť IT

2.1.2.3 Síť TT

Tato síť má uzel transformátoru přímo spojen se zemí, při jednofázovém zkratu tedy dochází k automatickému odpojení postiženého vývodu. Použití této sítě v oblasti nn je na území ČR velmi sporadické, a proto se jí nebudeme více zabývat. Schéma sítě TT je na obr.2.7



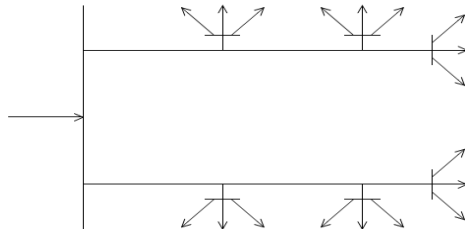
Obr.2.7 – Síť TT

2.2 Síť vysokého napětí

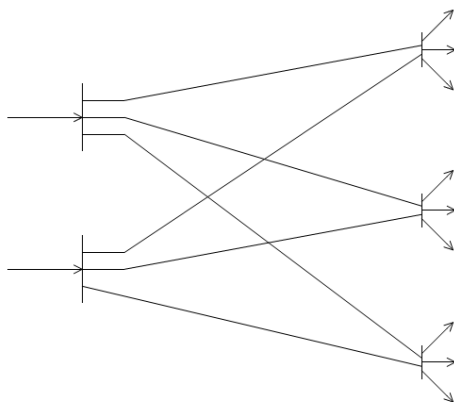
Vysokonapěťové soustavy v ČR je možné s ohledem na charakter provozu rozdělit na soustavy distribuční s napětovými hladinami 10, 22 a 35 kV a dále na soustavy elektrárenských, průmyslových a důlních provozů s napětovou hladinou převážně 6 a 10 kV. Základní parametry a možnosti provozu distribučních soustav vn jsou určeny zejména systémem uzemnění transformátoru vvn/vn, tedy způsobem spojení nulového bodu vn vinutí napájecího transformátoru se zemnicí soustavou. Volba systému uzemnění nám definuje možnosti provozu soustavy z hlediska bezpečnosti, chránění, dimenzování či nepřetržitosti dodávky elektrické energie. Díky velké rozloze a členitosti jsou distribuční soustavy vn, které hustě protínají převážnou část našeho území, vystaveny mnoha nepříznivým vlivům. Tyto vlivy, jako jsou například atmosférické podmínky, způsobují v případě venkovního vedení velké množství přechodných zemních spojení, která sama v krátkém čase odezní bez potřeby přerušení dodávky elektrické energie. Z tohoto důvodu jsou přednostně naše distribuční soustavy vysokého napětí provozovány jako neúčinně uzemněné. [1]

2.2.1 Dělení sítí nízkého napětí z hlediska topologie

Sítě vysokého napětí se v drtivé většině provozují jako paprskové. Schéma paprskové sítě vysokého napětí je stejné jako u sítí nízkého napětí (obr. 2.1). Někdy se používá i sítí průběžných (obr. 2.8), nebo dvoupaprskových (obr. 2.9).



Obr. 2.8 – Průběžná síť [1]



Obr. 2.9 – Dvoupaprsková síť [1]

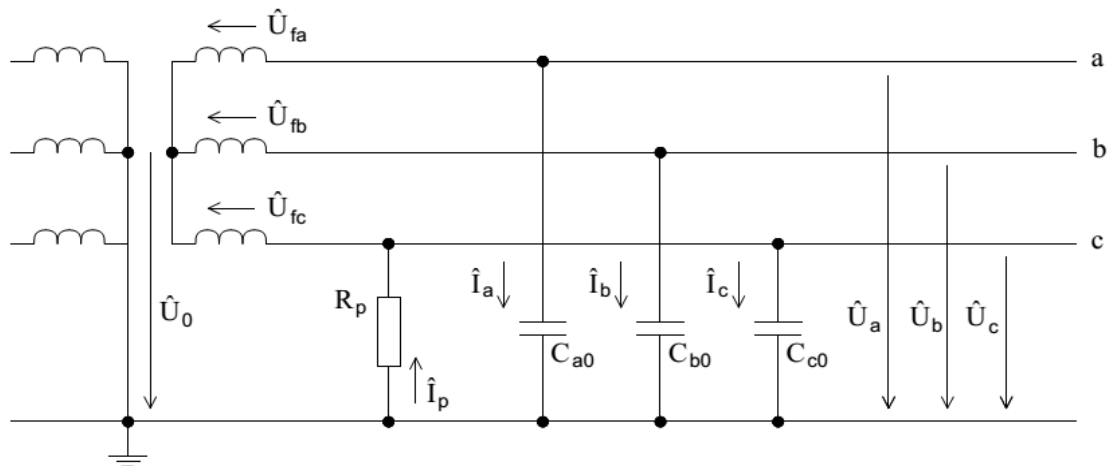
2.2.2 Dělení sítí vysokého napětí z hlediska zapojení uzlu transformátoru

V současné době jsou vysokonapěťové soustavy provozovány s ohledem na způsob uzemnění jako soustavy izolované (IT), nepřímo uzemněné přes uzlový odporník (ITr) a nepřímo uzemněné přes zhášecí tlumivku (IT).

2.2.2.1 Síť s izolovaným uzlem

Tyto sítě se vyskytují například u důlních sítí nebo u sítí vlastní spotřeby bloku elektrárny. V případě provozu sítí izolovaných není nulový bod transformátoru spojen se zemnicí soustavou, je od ní izolován (Obr. 2.10). Tento systém uzemnění je nejčastěji provozován zejména u malých sítí, kde hodnota celkového kapacitního proudu nepřesahuje hodnotu 20 A. Tento kapacitní zemní proud je dán fázorovým součtem kapacitních proudů převážně nepostižených fází celé sítě, uzavírajících se přes místo zemního spojení, a je úměrný velikosti takto provozované sítě. [1]

Pokud nebude uvedeno jinak, budeme při určování poměrů při zemním spojení v jednotlivých sítích používat následující zjednodušení: napětí zdroje je symetrické, jsou uvažovány jenom kapacity k zemi, síť je ve stavu naprázdno, jsou zanedbány podélné impedance a svodové admittance.



Obr. 2.10 – Síť vn s izolovaným uzlem

Dá se odvodit, že

$$\hat{U}_0 = -\frac{C_{a0} + \hat{a}^2 C_{b0} + \hat{a} C_{c0} + R_p^{-1}}{C_{a0} + C_{b0} + C_{c0} + R_p^{-1}} U_{fc} \quad (2.1)$$

Z obrázku a ze vztahu (1) můžeme vyvodit následující:

- V bezporuchovém stavu ($R_p = \infty$) je napětí uzlu transformátoru proti zemi nulové (při kapacitní symetrii)
- Při dokonalém (kovovém) zemním spojení ($R_p = 0$) je napětí uzlu transformátoru proti zemi rovno fázovému napětí, zdravé fáze mají vůči zemi hodnotu sdruženého napětí

Dále při dokonalém zemním spojení platí

$$\hat{U}_c = 0 \quad (2.2)$$

$$\hat{U}_0 = -\hat{U}_{fc} \quad (2.3)$$

$$\hat{U}_a = \hat{U}_{fa} + \hat{U}_0 = \hat{U}_{fa} - \hat{U}_{fc} = \hat{a}^2 \hat{U}_{fc} - \hat{U}_{fc} = \hat{U}_{fc}(\hat{a}^2 - 1) \quad (2.4)$$

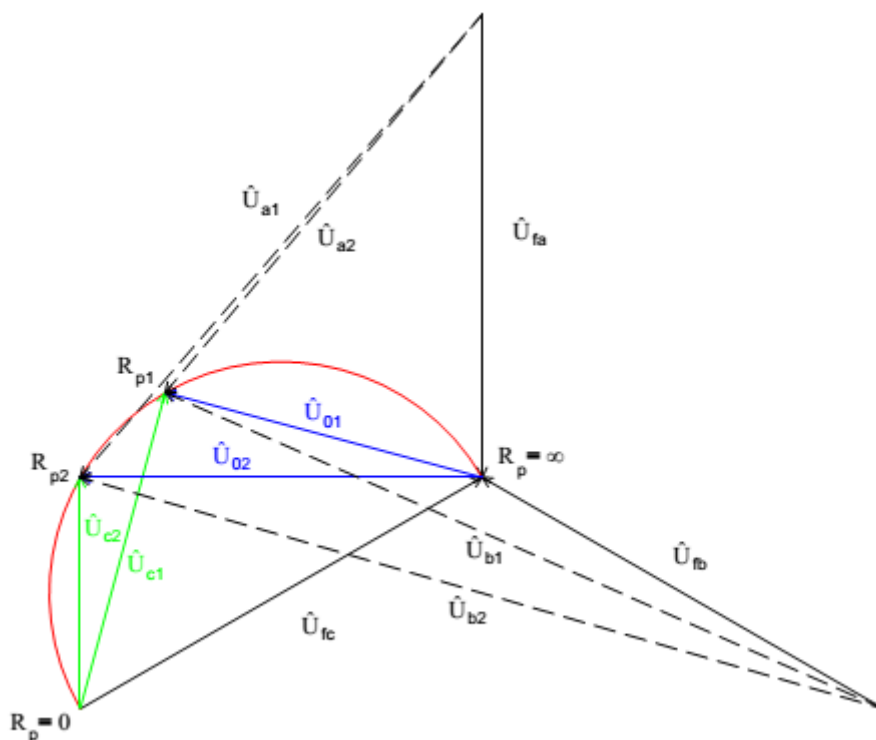
$$\hat{U}_b = \hat{U}_{fb} + \hat{U}_0 = \hat{U}_{fb} - \hat{U}_{fc} = \hat{a} \hat{U}_{fc} - \hat{U}_{fc} = \hat{U}_{fc}(\hat{a} - 1) \quad (2.5)$$

$$\hat{I}_p = \hat{I}_a + \hat{I}_b = j\omega C_0(\hat{U}_a + \hat{U}_b) = j\omega C_0((\hat{a}^2 - 1) + (\hat{a} - 1)) \hat{U}_{fc} = -3j\omega C_0 \hat{U}_{fc} = 3j\omega C_0 \hat{U}_0 \quad (2.6)$$

Protože poruchový proud má kapacitní charakter, je jeho zhášení obtížné a provázené znovu-zápaly. Takto vzniklé přechodné děje vyvolávají v síti přepětí. Z uvedených důvodů je používání izolovaného uzlu omezeno na malé sítě. Rovněž hledisko bezpečnosti spojené s výskytem velkých krokových napětí, která vznikají při průchodu proudů zemí, je nutné brát v úvahu. V normách pro provoz vn sítí se připouští mezní rozsah kapacitního proudu 20 A, přičemž od hodnoty 10 A se již doporučuje kompenzace zemních proudů. [1]

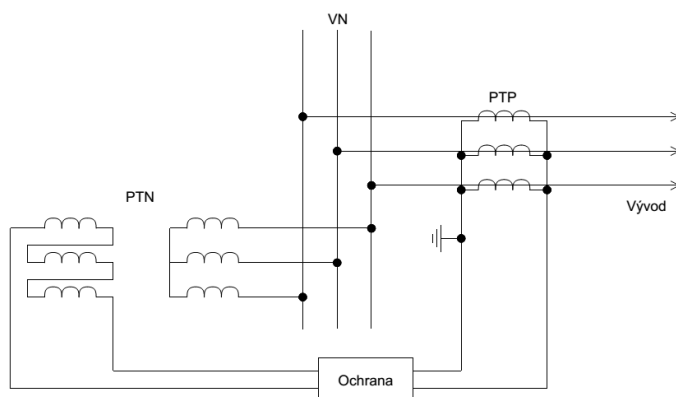
Výskyt kovového zemního spojení je z hlediska četnosti ojedinělým případem. Převážná většina jednopólových poruch má charakter odporového zemního spojení s časovou změnou odporu poruchy; jedná se o oblouková zemní spojení. Velikost hodnoty odporu poruchy má výrazný vliv na charakter přechodných dějů analyzovaných veličin. Jde především o přepětí, strmost změny napětí a rázovou složku proudu (vybíjecí proud) místem zemního spojení. Výrazně však ovlivňuje také ustálenou hodnotu napětí a proud místem zemního spojení. [1]

Na vztah 2.1 se lze dívat jako na rovnici kružnice v Gaussově rovině. V okamžiku kovového zemního spojení pro $R_p = 0 \Omega$ je fázor napětí v uzlu systému roven fázovému napětí. Trajektorie pohybu fázoru napětí v uzlu systému opisuje Thaletovu kružnici (obr. 2.10) s průsečíky v nulovém bodě systému a koncovém bodu fázoru napětí fáze bez poruchy. Z Obr. 2.11 je zřejmé „vysunutí“ nulového bodu systému při změně odporu poruchy zemního spojení.



Obr. 2.11 – Fázorový diagram napětí při odporovém zemním spojení ($R_{p1} > R_{p2}$)

Metody detekce zemních poruch jsou typicky založené na měření netočivých složek napětí a proudů. Tyto složky jsou měřeny v napájecích rozvodnách, kde na každém vývodu je měřena netočivá složka proudu a netočivá složka napětí na přípojnicích napájecí rozvodny. Netočivá složka proudu je nejčastěji měřena s využitím součtového zapojení tří přístrojových transformátorů proudu PTP, díky čemuž je ve skutečnosti měřen trojnásobek netočivé složky proudu $3xI_0$, jak ukazuje obrázek 2.12. Netočivá složka napětí je nejčastěji měřena podobně, a to s využitím tří měřících (přístrojových) napěťových transformátorů PTN, přičemž je rovněž měřen trojnásobek netočivé složky napětí $3xU_0$. [1]

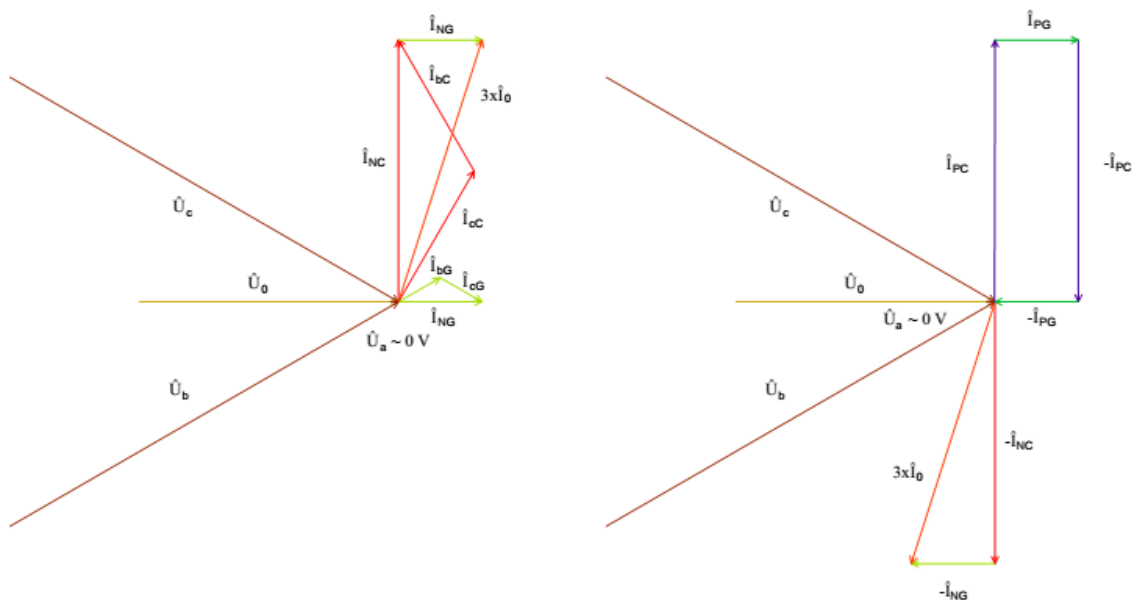


Obr. 2.12 – Měření netočivé složky proudu a napětí v rozvodně VN

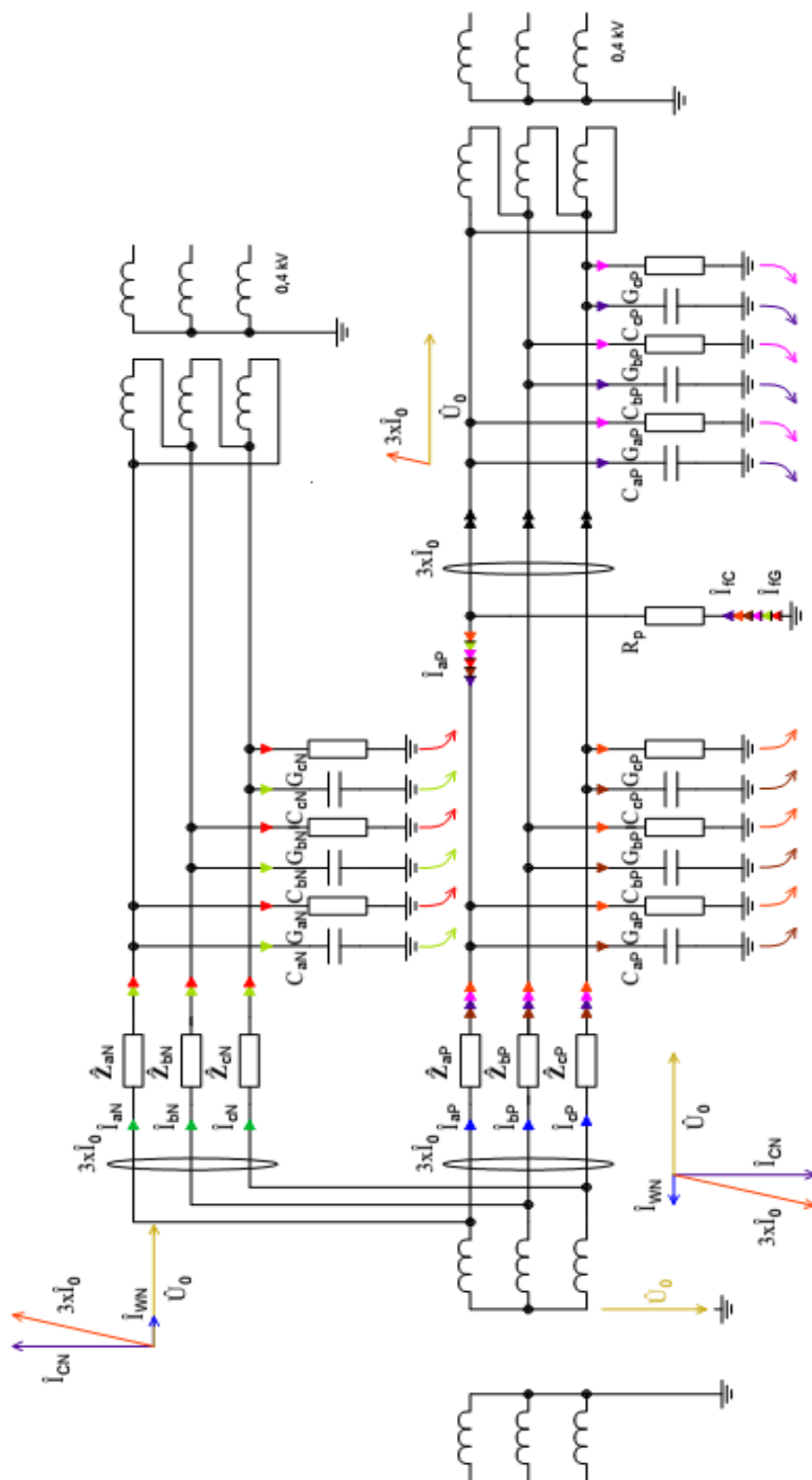
Úroveň a fázové natočení těchto složek jsou klíčové pro detekci poruchou postiženého vývodu a jsou pro každý typ provozu sítě odlišné. Pro pochopení metod lokalizace poruchy v izolovaných soustavách je nutné se nejprve zorientovat v chování jednotlivých složek netočivého proudu a napětí na postiženém a nepostiženém vývodu během trvajících zemního spojení.

Nepostižený, nezatížený vývod je zatížen pouze kapacitními (I_{bc}, I_{cC}) a svodovými (I_{bG}, I_{cG}) proudy uzavírajícími se v nepostižených fázích. Složka $3xI_0$ je dána fáz. součtem kap. a svodového proudu, které jsou odebírány tímto vývodem. V případě měření za místem poruchy je hodnota $3xI_0$ dána fáz. součtem proudu kapacitního a svodového, která je odebírána částí vedení za místem měření. Fázorový diagram pro nepostižený vývod je na obr. 2.13.

Napěťové a proudové poměry postiženého vývodu pro stejný případ jsou zobrazeny na Obr. 2.13. Podobně jako u nepostiženého vývodu je i z vývodu postiženého odebírán svodový I_{PG} a kapacitní I_{PC} proud, který však nemá žádný vliv na úroveň netočivé složky proudu, jelikož součtový transformátor na tomto vývodu měří fázorový součet proudů I_{PG} , I_{PC} a proudu poruchového, který má opačný směr a je dán součtem všech konduktančních proudů postižených i nepostižených vývodů (proudy I_{PG} , I_{PC} se odečtou). Netočivá složka poruchového proudu $3xI_0$ je proto na postiženém vývodu dána kapacitním a svodovým proudem všech nepostižených vývodů v soustavě měřených v opačném směru (záporné znaménko), jak naznačuje obr. 2.14.



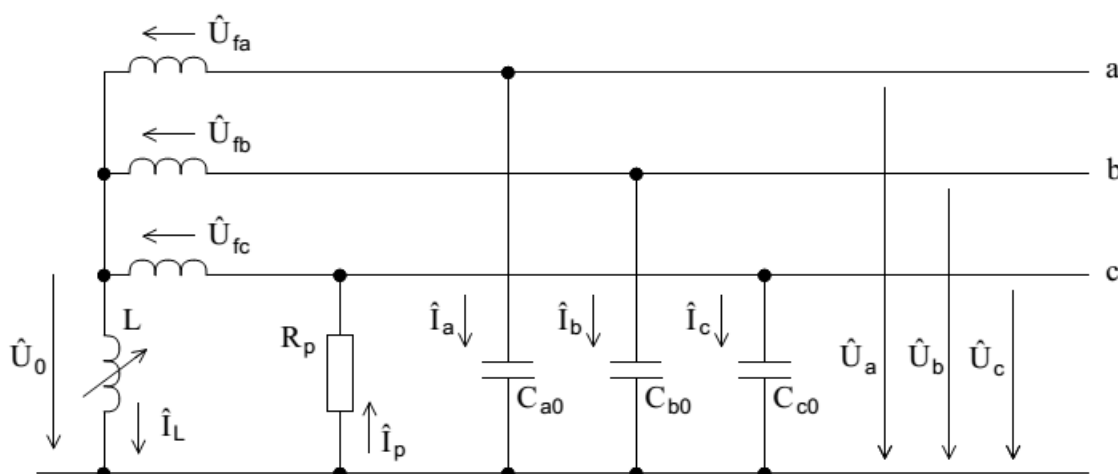
Obr. 2.13 – Fázorový diagram napěťových a proudových poměrů na nepostiženém (vlevo) a postiženém vývodu (vpravo) během kovového zemního spojení [1]



Obr. 2.14 – Schéma izolované soustavy při vzniku zemního spojení [1]

2.2.2.2 Síť uzemněné přes zhášecí tlumivku

Jak již bylo řečeno, sítě uzemněné přes zhášecí tlumivku jsou v České republice nejrozšířenější. Sítě kompenzované mají spojený nulový bod transformátoru se zemnicí soustavou přes zhášecí tlumivku (Obr. 2.15). Tato zhášecí tlumivka umožňuje kompenzovat kapacitní proud zemního spojení tak, aby místem poruchy procházel pouze zbytkový (reziduální) proud mnohem nižší úrovně. Tento zbytkový proud tvoří obvykle 3 % – 10 % celkového kapacitního proudu a je převážně činného charakteru. Během provozu jsou tyto tlumivky laděny automatikou, která nastavuje zhášecí tlumivku do paralelní rezonance s celkovou kapacitou provozované sítě tak, aby místem poruchy procházel pouze malý zbytkový reziduální proud. Velkou výhodou sítí kompenzovaných je podobně jako u sítí izolovaných možnost provozu soustavy se zemním spojením po dobu potřebnou pro odstranění jeho příčiny bez přerušení dodávky elektrické energie[1]



Obr. 2.15 – Síť uzemněná přes zhášecí tlumivku

Princip zhášecí tlumivky spočívá v tom, že při zemním spojení prochází touto tlumivkou proud, který se v uzlu fázorově sečte s poruchovým proudem. Protože je tento proud tlumivky v protifázi s kapacitním poruchovým proudem, proudy se odčítají a výsledný proud poruchy je minimální.

Při dokonalém zemním spojení platí

$$\hat{U}_0 = -\hat{U}_{fc} \quad (2.7)$$

proud tlumivkou

$$\hat{I}_L = -j \frac{\hat{U}_0}{\omega L} \quad (2.8)$$

při úplné kompenzaci platí

$$\hat{I}_L = -\hat{I}_p \quad (2.9)$$

$$-j \frac{\hat{U}_0}{\omega L} = -3j\omega C_0 \hat{U}_0 \quad (2.10)$$

indukčnost tlumivky potom můžeme určit jako

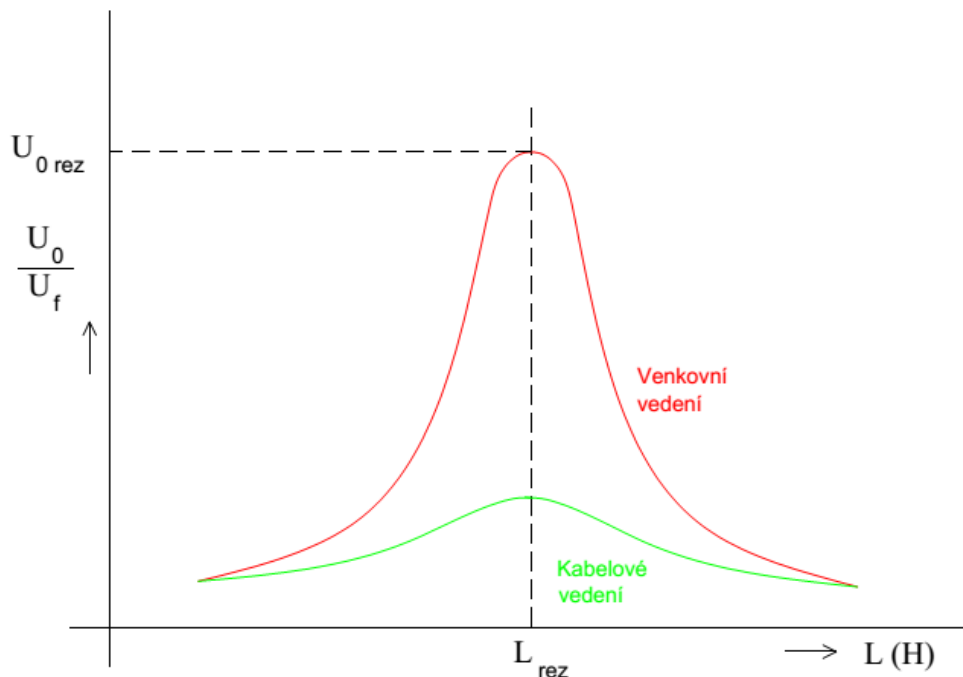
$$L = \frac{1}{3\omega^2 C_0} \quad (2.11)$$

její zdánlivý výkon (u ideální tlumivky současně i jalový) je potom

$$\hat{S} = \hat{U}_0 \hat{I}_L = j\omega C_0 U_f^2 \quad (2.12)$$

Při ideální kompenzaci je výsledný proud místem poruchy nulový. V praxi však toto neplatí, protože zhášecí tlumivka má vždy i činný odpor. Také nekompensuje činný svodový proud a ani vyšší harmonické které se vyskytují u poruchového proudu, hlavně 3,5 a 7. Navíc, jak bude uvedeno dále, v praxi ani úplná kompenzace není žádoucí.

Výpočet indukčnosti slouží pro dimenzování tlumivky. Ladění zhášecí tlumivky se provádí v bezporuchovém stavu z rezonanční závislosti $\frac{U_0}{U_f} = f(L)$ (obr. 2.16). Postupným laděním tlumivky a průběžným odečítáním hodnot U_0 a L se zjišťuje maximum křivky. V bodě maxima je soustava v rezonanci a tlumivka je naladěná.



Obr. 2.16 – Rezonanční křivka pro venkovní a pro kabelové vedení

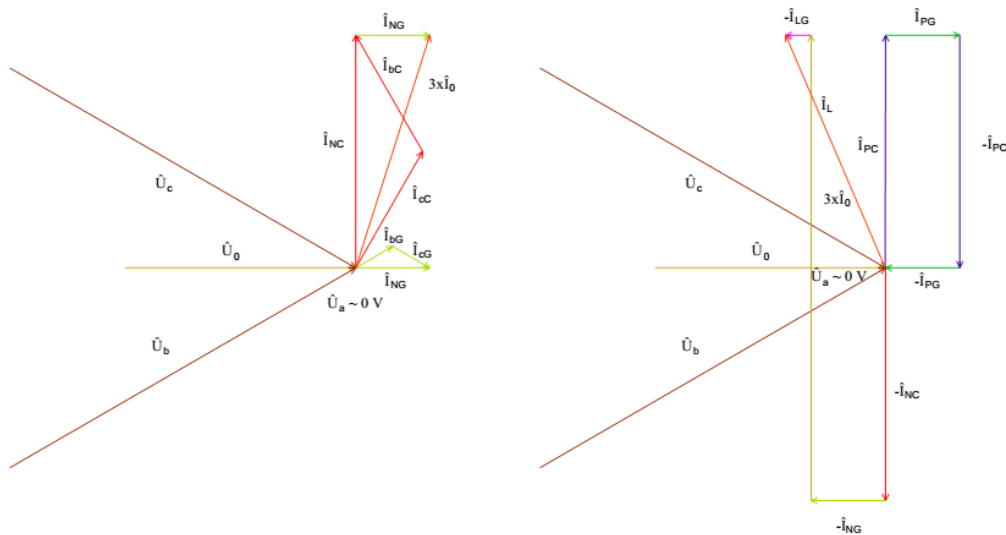
Jak je vidět na obr. 2.16, při rezonanci je tlumivka namáhána poměrně vysokým napětím. Z tohoto důvodu tlumivku schválně mírně rozladíme a tím díky velké strmosti křivky napětí značně poklesne. Dále můžeme vidět, že u kabelových vedení je rezonanční křivka vlivem dobré kapacitní symetrie velmi plochá. U

kabelových sítí je tedy zhášecí tlumivku velmi obtížné naladit, což je jeden z důvodů, proč se kabelové sítě většinou provozují uzemněné přes uzlový odporník.

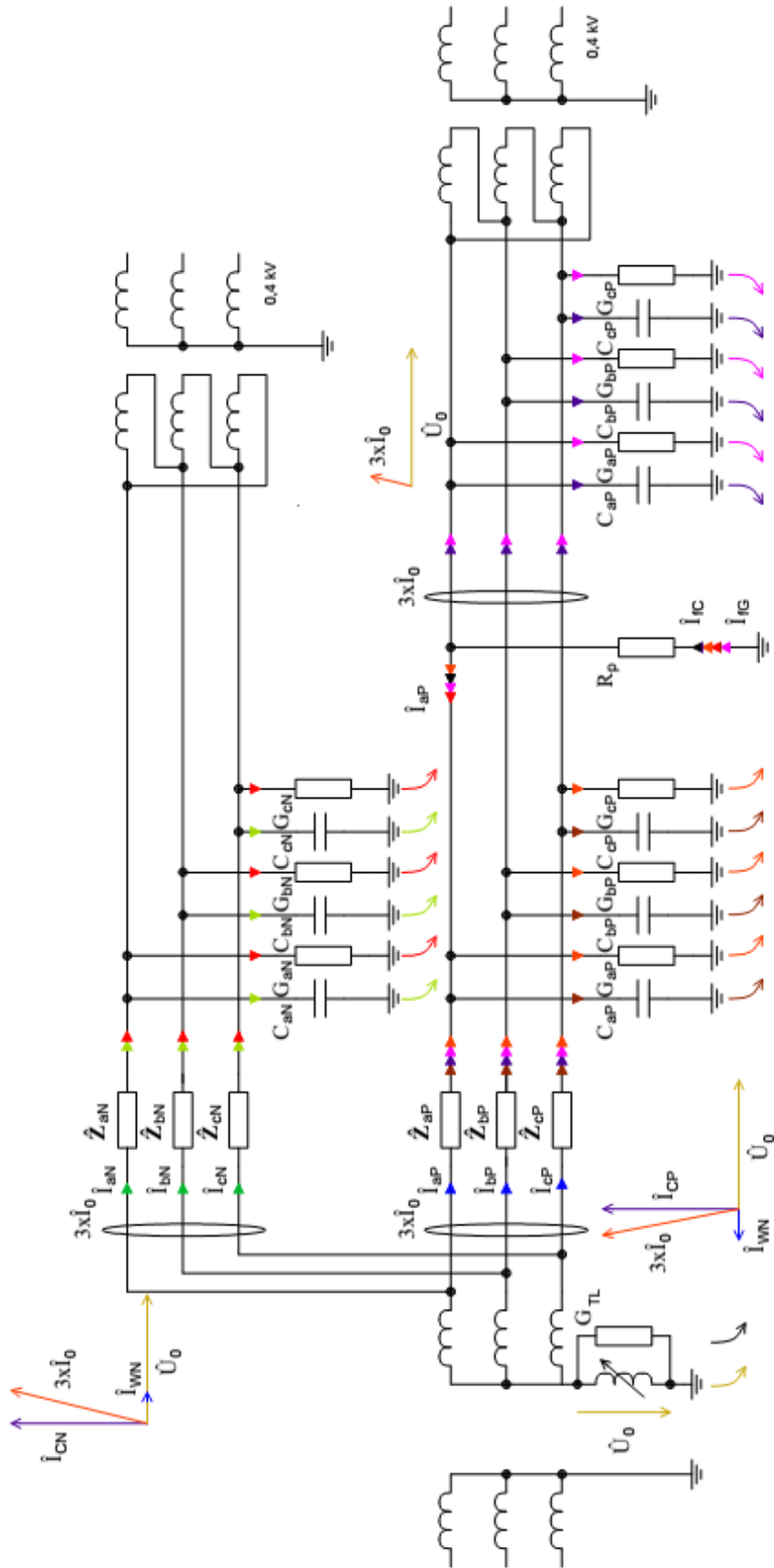
Pro popis netočivých složek napětí a proudů v kompenzované soustavě je využito stejné části distribuční soustavy jako na Obr. 2.14 s tím rozdílem, že mezi uzel soustavy a zemnicí soustavu je vložena zhášecí tlumivka, reprezentovaná svou indukčností a vodivostí G_{TL} respektující její činné ztráty.[1]

V případě nepostiženého vývodu, nebo v místě měření za místem poruchy ze strany od napáječe, je fázový posun zaznamenaných fázorů netočivé složky proudu a napětí menší než 90° (I. kvadrant). Tento posun závisí na poměru svodového a kapacitního proudu linky (obr. 17), zatímco u postiženého vývodu je fázový posun mezi netočivou složkou napětí a proudu větší než 90° (II. kvadrant) a závisí na poměru kapacitního proudu nepostižených linek a proudu procházejícího svody linek a vodivostí tlumivky G_{TL} , jak vyplývá z fázorových diagramů na obr. 2.17 [1]

Poměry na nepostiženém vývodu nebo na úseku za poruchou se tedy neliší od sítí izolovaných. Zásadní rozdíl je u napěťových a proudových poměrů postiženého vývodu. Podobně jako u nepostiženého vývodu je i z vývodu postiženého odebírán svodový I_{PG} a kapacitní proud I_{PC} , jelikož dochází ke kompenzaci celkového kapacitního proudu proudem kompenzačním I_L je netočivá složka proudu $3xI_0$ dána kapacitním proudem postiženého vývodu I_{PC} , svodovým proudem vývodů nepostižených I_{NG} a ztrátovým (činným) proudem tlumivky I_{LG} měřených v opačném směru (obr. 2.17). [1]



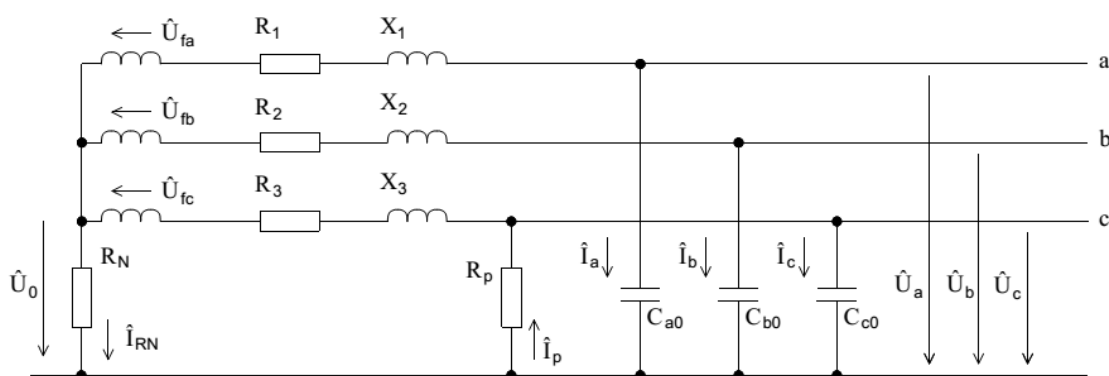
Obr. 2.17 – Fázorový diagram nap. a proudových poměrů na nepostiženém (vlevo) a postiženém vývodu (vpravo) při kovovém zemním spojení v síti s uzlem uzemněným přes zhášecí tlumivku [1]



Obr.2.18 – Schéma sítě uzemněné přes zhášecí tlumivku při zemním spojení [1]

2.2.2.3 Síť uzemněné přes odporník

U kabelových sítí vn se výhody kompenzace zemních kapacitních proudů neprojevují tak jednoznačně jako u sítí venkovních. Většina poruch je trvalá a zmenšení poruchového proudu se projeví ve „samozhášení“ jako při obloukových poruchách u venkovního vedení. Zhášecí tlumivka sice omezuje přepětí při vzniku zemního spojení, ale provoz sítě při zemním spojení namáhá izolaci zdravých fází sdruženým napětím a přináší riziko vzniku vícenásobných poruch. Zařazení činného odporu do uzlu způsobí omezení proudu zemních spojení s ohledem na dimenzování uzemnění, zajistí dostatečné tlumení přepětí při vzniku zemního spojení a umožní použití jednoduchých číslicových ochran vyhodnocujících zemní poruchy. Spolu s rychlým vypínáním všech zemních poruch se toto projevuje tak příznivým ovlivněním vlastností, že se u tohoto typu sítí téměř nevyskytují vícenásobné poruchy. Schéma sítě uzemněné přes odporník je na obr. 2.19. [1]

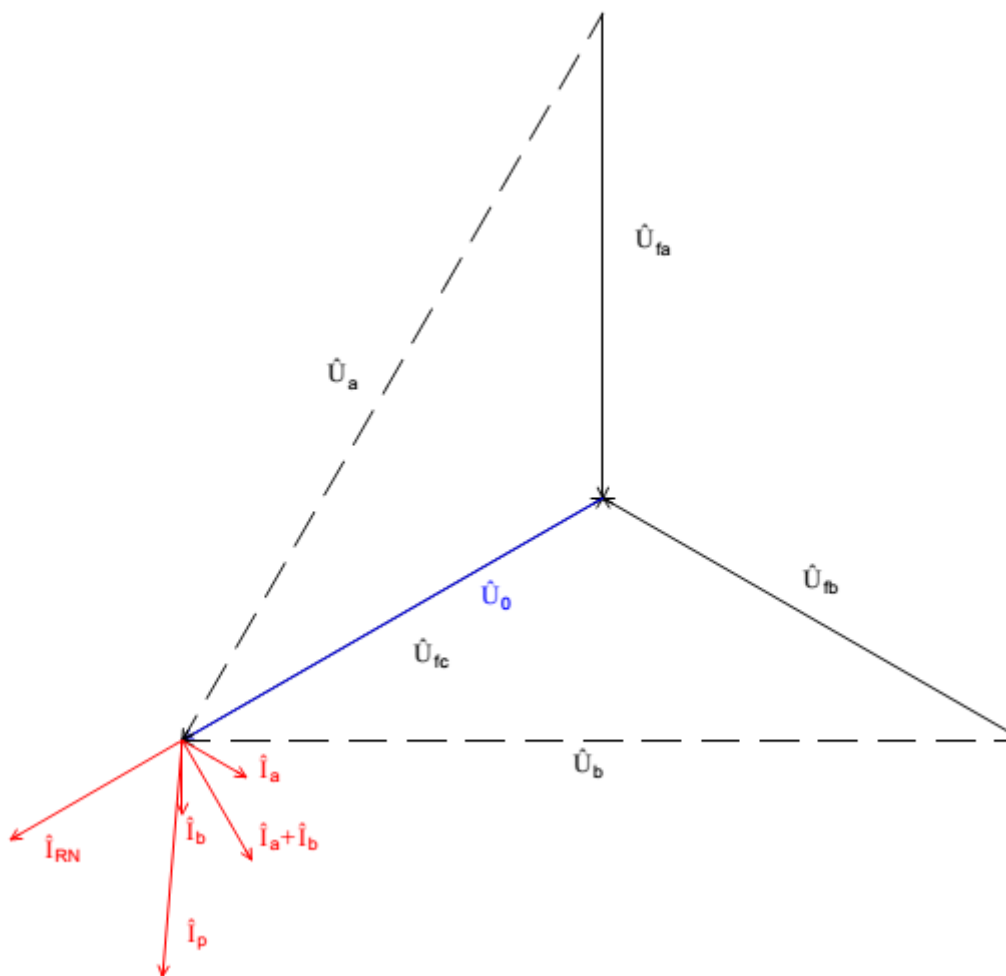


Obr. 2.19 – Síť uzemněná přes uzlový odporník

Dojde-li v soustavě s uzlem transformátoru spojeným se zemí přes odporník k poruše izolace na jedné z fází systému vysokého napětí a tím k vodivému spojení této fáze se zemí, nemůže být celý systém, resp. postižený úsek vedení, dále provozován. K vypnutí postiženého vývodu dochází působením ochran v „krátkém čase“, tj. za 0,5 – 0,8 s. Místem izolační poruchy pak prochází poměrně velký poruchový proud I_p , který je dán vektorovým součtem plného kapacitního proudu systému a proudu uzlovým odporníkem. [2]

Se vzrůstající vzdáleností místa poruchy od napájecí transformovny klesá vlivem rostoucí impedance vedení i velikost poruchového proudu zkratové smyčky, zatímco kapacitní proud systému vn je prakticky stálý. [2]

Vlastní uzlový odporník je proudově dimenzován tak, aby vydržel průchod jmenovitého proudu po dobu do 6 s. Překročením této doby by došlo k jeho tepelné destrukci a vlastní síť vn by pak přešla z odporníkové sítě ITr na síť nekompenzovanou IT. To je ale stav nepřijatelný, neboť bez kontroly vlastního odporníku lze při dálkovém ovládní znovu zapnout výkonový transformátor a ohrozit zařízení a osoby v blízkosti poruchy [2]



Obr. 2.20 – Fázorový diagram proudů a napětí při kovovém zemním spojení v síti ITr [1]

2.3 Síť velmi vysokého napětí

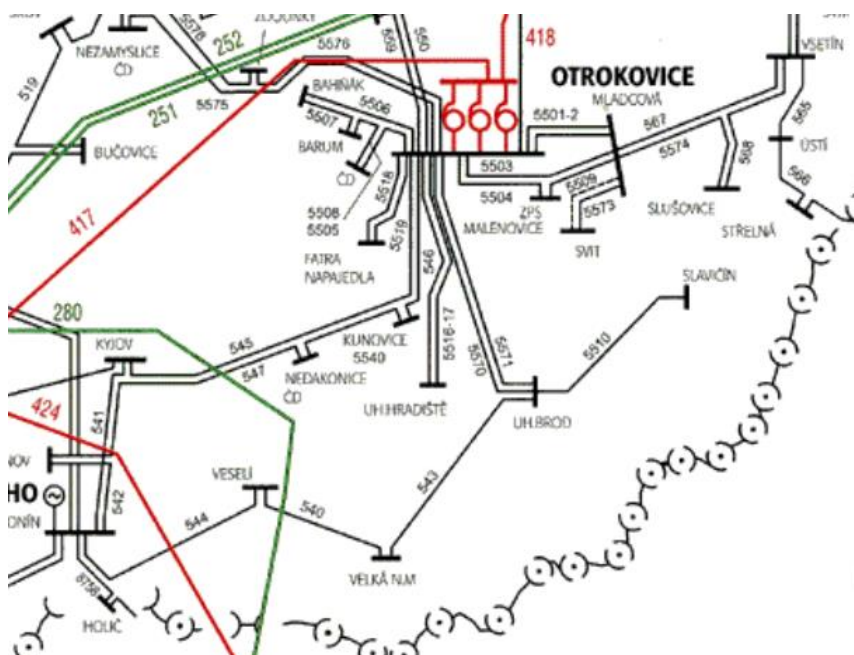
Do oblasti velmi vysokého napětí spadají na území ČR přenosové sítě 220 kV a 110 kV a distribuční sítě 110 kV. V této části se zaměříme pouze na poslední z této trojice, tedy distribuční sítě 110 kV.

Distribuční sítě vvn jsou provozovány standardně v oddělených systémech příslušných jednotlivým transformátorům 400/110 kV event. 220/110 kV s maximálně možným zkruhováním jednotlivých síťových celků. Rozpojovací místa jsou volena tak, že z hlediska ztrát se způsob provozu sítě 110 kV blíží paralelnímu chodu. [1]

Distribuční soustava 110 kV tvoří základní pilíř distribuční soustavy. Síť zajišťují tranzit elektriny z uzlových transformoven zvn/vvn a vvn/vvn do transformoven 110/vn kV. Do těchto sítí je vyveden výkon řady elektráren o výkonech desítek MW. Síť se vyznačují spolu s vedeními zvn a vvn přenosové soustavy vysokou spolehlivostí, velice nízkou četností poruch a díky způsobu provozu a zálohování většina poruch při správném působení ochranných systémů nezpůsobí přerušení dodávky elektriny odběratelům. Vedení jsou nejčastěji konstruována jako dvojítá (dvě vedení na jednom stožáru), nicméně v ČR se vyskytují i vedení jednoduchá, trojitá a čtyřnásobná.[1]

2.3.1 Dělení distribučních sítí velmi vysokého napětí z hlediska topologie

Z hlediska topologie se tyto sítě provozují buď jako okružní, nebo paprskové, jak je vidět na obrázku č. 2.21, kde je zobrazeno vedení zvn a vvn na části území ČR. Schéma těchto sítí je podobné jako u sítí nn



Obr. 2.21 – Vedení zvn a vvn na části území ČR (červená – 400 kV, zelená – 220 kV, černá – 110 kV) [www.mr-kutil.euweb.cz/vn.html]

2.3.2 Dělení distribučních sítí velmi vysokého napětí z hlediska spojení uzlu transformátoru

Distribuční sítě vvn se provozují vždy s uzlem transformátoru účinně uzemněným, tedy jako sítě TT. Schéma sítě stejné jako na obr. 2.6, s tím rozdílem, že není vyveden střední vodič.

Pro chránění vedení v distribučních sítích vvn se využívají zejména distanční ochrany, které bývají zpravidla vybaveny lokátorem poruchy. Po vzniku poruchy dojde k odpojení postiženého úseku vedení ve velmi krátkém čase (v prvním stupni ochrany cca 0,1s, ve druhém stupni cca 0,3-0,5s). Lokátor v ochraně současně informuje dispečera o vzdálenosti poruchy od příslušné rozvodny. Výpočet vzdálenosti vychází ze zjištěné hodnoty impedance a jeho přesnost tedy velmi závisí na znalosti aktuálních parametrů vedení. Zde často nelze zanedbat vliv paralelních vedení, vliv prostřídání fází paralelního vedení, vliv počasí, apod.[1]

V případě potřeby se systém chránění doplňuje o rozdílovou (srovnávací) ochranu, případně záložní distanční ochranu. Systém chránění vedení 110kV je standardně vybaven automatikou opětného zapínání OZ (nejčastěji jednopólového). [1]

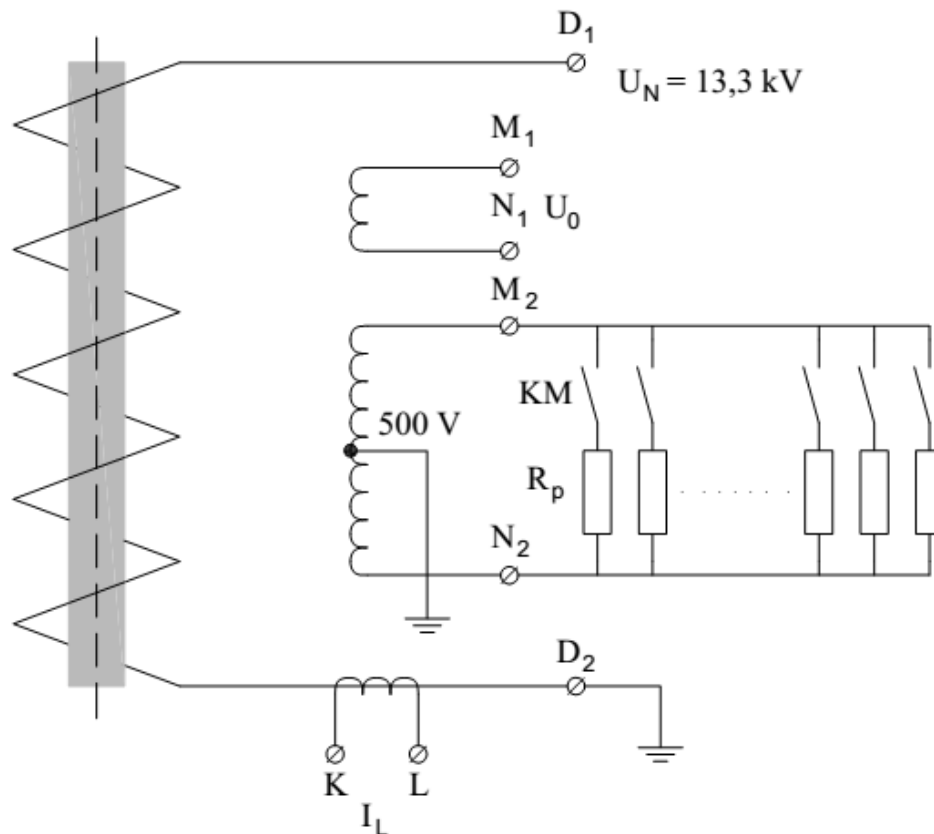
3 Funkce pomocného odporníku v sítích vysokého napětí

Jak již bylo řečeno, pomocný odporník se používá v sítích vysokého napětí s uzlem uzemněným přes zhášecí tlumivku. Tento odporník se připojuje k zhášecí tlumivce buď paralelně a nebo je častěji připojen na pomocné výkonové vinutí tlumivky. Úkolem tohoto odporníku je navyšovat složku činného proudu v postižené fázi, což umožňuje následně indikovat postižený vývod a nebo lokalizovat místo poruchy.

3.1 Popis funkce pomocného odporníku

Při ideální kompenzaci protéká místem poruchy pouze zbytkový proud, který je dán fázorovým součtem svodových proudů jednotlivých fází a činného proudu tlumivky. Díky jeho malé úrovni je pro ochrany obtížné detekovat poruchu na postiženém vývodu a proto se aktivuje automatika pro připnutí pomocného odporníku, která tak zvýší činnou složku poruchového proudu. Tato automatika je spouštěna v přednastaveném čase po indikaci vzniku zemního spojení, nejčastěji po překročení prahové hodnoty netočivé složky napětí a to pouze na nezbytný čas potřebný k vyhodnocení poruchy zemními ochranami (obvykle kolem 1 s). Pokud nedojde k samočinnému uhasnutí zemního spojení, dochází po úspěšné detekci postiženého vývodu k vyhledávání poruchy. [1]

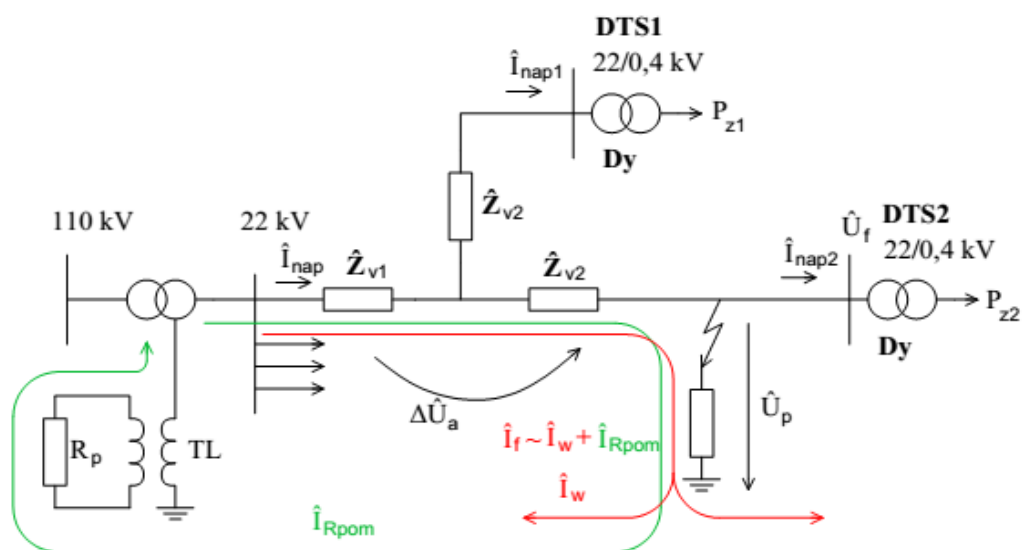
Odporník se připojuje ve většině případů k pomocnému výkonovému sekundárnímu vinutí zhášecí tlumivky, jak je vidět na obr. 3.1. K tomuto vinutí se podle potřeby připojují během zemního spojení různé stupně odporu, a to tak, aby došlo k spolehlivému zapůsobení zemních ochran. Připojování těchto stupňů zajišťuje automatika, která řídí spínání stykačů. Automatika vyhodnocuje netočivou složku napětí a proudu.



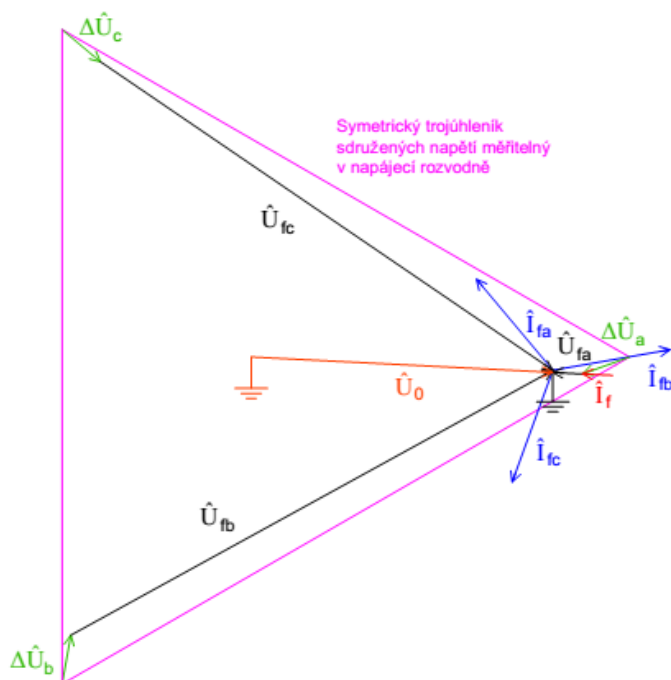
Obr. 3.1 – Schéma zhášecí tlumivky s automatikou připínání pomocného odporníku

Po připnutí pomocného odporníku jsou napěťové a proudové poměry podobné jako v případě na obr. 2.17. Zásadní rozdíl je však v úrovni jednotlivých proudů, kde díky připnutí pomocného odporníku dojde k radikálnímu navýšení činné složky poruchového proudu. Tento stav lze reprezentovat zvýšením konduktance G_{TL} (paralelní připnutí odporníku na Obr. 2.18) a tím pádem i příslušného poruchového proudu, který několiknásobně převyšuje původní reziduální proud soustavy. Zásadní změna u netočivé složky proudu a napětí je patrná na vývodu postiženém, kde se zvýší činná složka netočivého proudu, který je v protifázi s netočivou složkou napětí. Právě toto navýšení činné složky netočivého proudu (činného netočivého výkonu) je klíčové pro vyhodnocení poruchy zemními ochranami.[1]

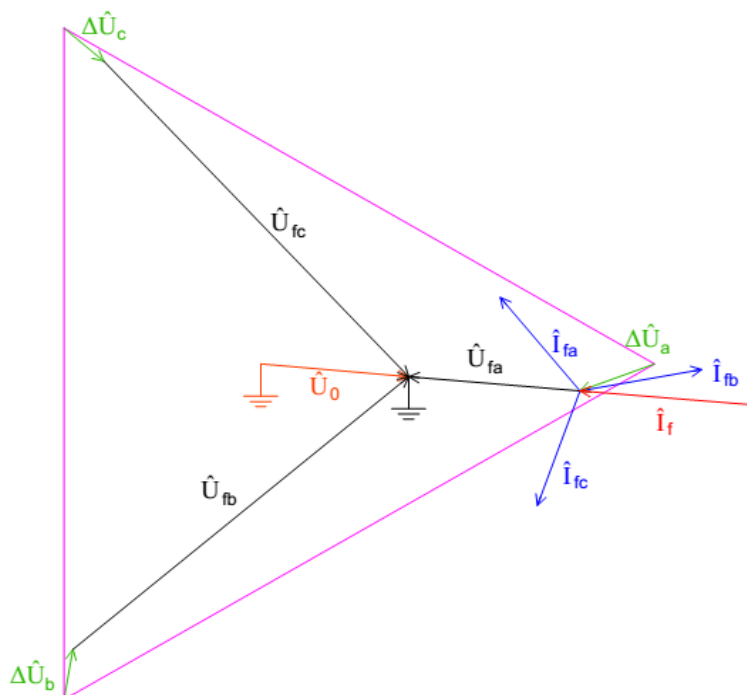
Na obr. 3.2 je schéma soustavy vn i s respektováním podélných impedancí. Jsou zde uvažovány i transformátory vn/nn, které jsou zatíženy symetrickou zátěží P_{Z1} respektive P_{Z2} . Je zde znázorněno přerozdělení proudů při připnutí pomocného odporníku. Dále na obr. 3.3,3.4 je fázorový diagram k tomuto schématu. Jak je vidět, připnutí pomocného odporníku má zásadní vliv na velikost proudu procházejícího postiženou fází. Tento zvýšený proud zapříčiňuje zvýšený úbytek napětí na podélné impedanci postižené fáze ale hlavně zvýšený úbytek napětí na odporu poruchy. To má dále za následek snížení uzlového napětí U_0 a také snížení fázových napětí zdravých fází. V menší míře se mění i sdružená napětí, čehož se dá využít při lokalizaci zemního spojení.



Obr. 3.2 – Schéma soustavy vn s pomocným odporníkem při zemním spojení [4]



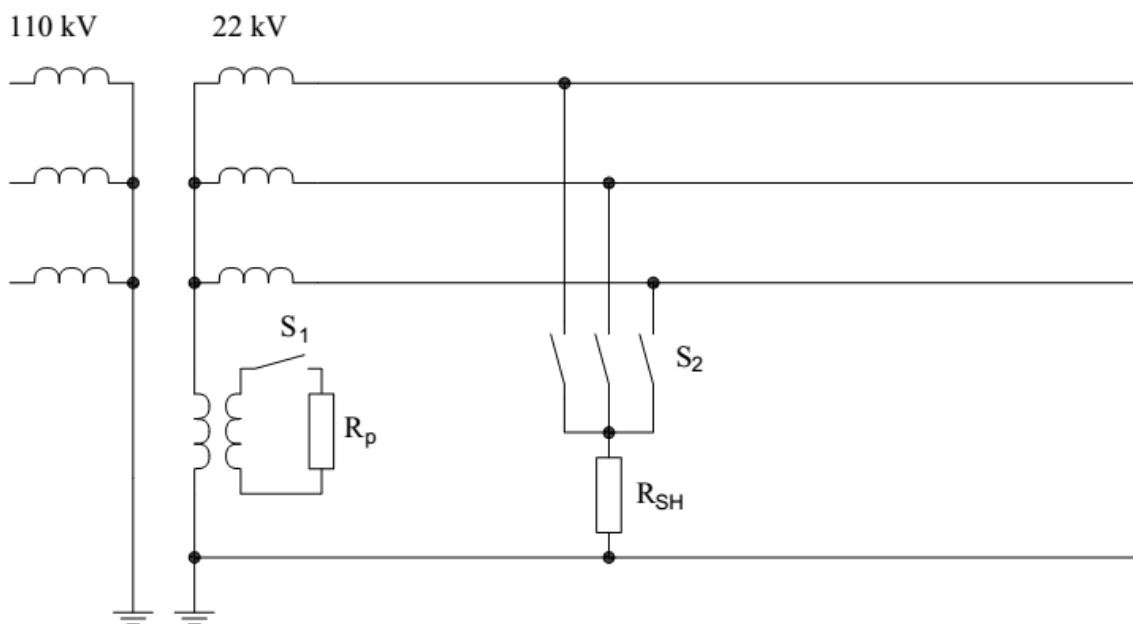
Obr. 3.3 – Fázorový diagram poměrů při zemním spojení v komp. soustavě z obr. 3.2 bez připojeného pomocného odporníku [4]



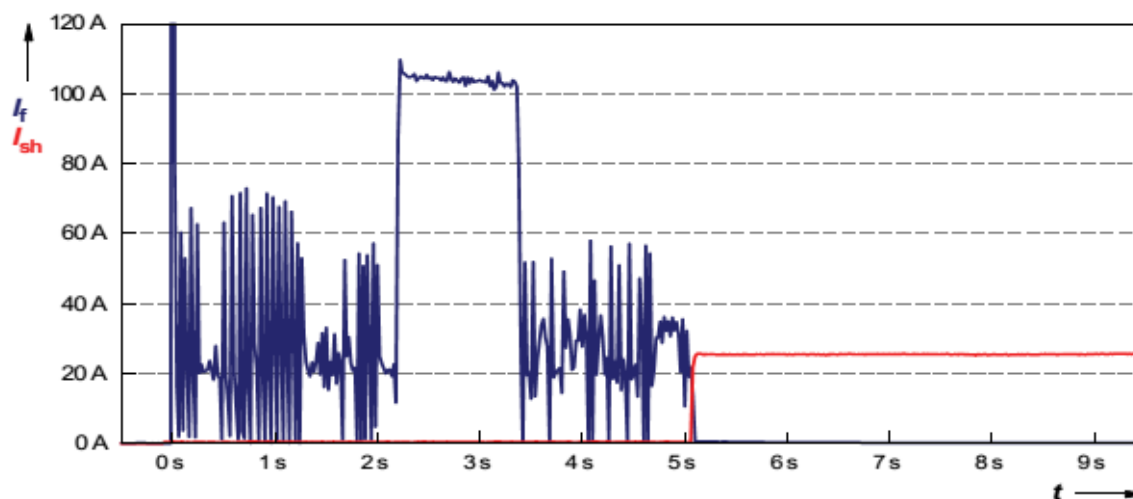
Obr. 3.4 – Fázorový diagram poměrů při zemním spojení v komp. soustavě z obr. 3.2 s připojeným pomocným odporníkem [4]

Aby se eliminovalo riziko úrazu krokovým či dotykovým napětím a omezily se zejména tepelné účinky poruchového proudu na zasažené prvky sítě během doby do odstranění příčiny poruchy, využívá se v některých rozvodnách metody přizemnění postižené fáze v napájecí rozvodně (tzv. shuntování). Při vzniku poruchy dojde po určité době k sepnutí spínače přizemnění postižené fáze, čímž vznikne paralelní cesta k poruchovému proudu. Proud se přerozdělí v poměru impedancí mezi místo poruchy a místo přizemnění postižené fáze. Jelikož je ve většině případů odpor vytvořeného vodivého spojení mnohem menší než odpor v místě poruchy, dojde k přenesení poruchového proudu z místa poruchy do místa přizemnění v napájecí rozvodně.[1]

Na Obr. 3.6 je zobrazen průběh poruchového proudu a proudu místem přizemnění postižené fáze v napájecí rozvodně během obloukového ZS v reálné kompenzované soustavě s automatikou připínání pomocného odporníku. V případě, že dojde ke vzniku trvalého zemního spojení, dojde k navýšení hodnoty netočívého napětí nad nastavenou mez a automatika zhášecí tlumivky připne na krátkou dobu v nastaveném čase (2,2 s) k výkonovému vinutí pomocný odporník. Po detekci postiženého vývodu dojde v nastaveném čase (5 s) k sepnutí vypínače S2 a přizemnění postižené fáze přes rezistanci R_{SH} (obr. 3.5) k zemnicí soustavě rozvodny. Z obr. 3.6 je patrný pozitivní efekt shuntování, díky čemuž došlo k trvalému uhasnutí oblouku v místě poruchy a poruchový proud byl přenesen do napájecí rozvodny. Je ovšem nutné dodat, že při nekvalitním uzemnění v rozvodně a při kovovém zemním spojení dochází po připojení shuntu ke zhoršení stavu.

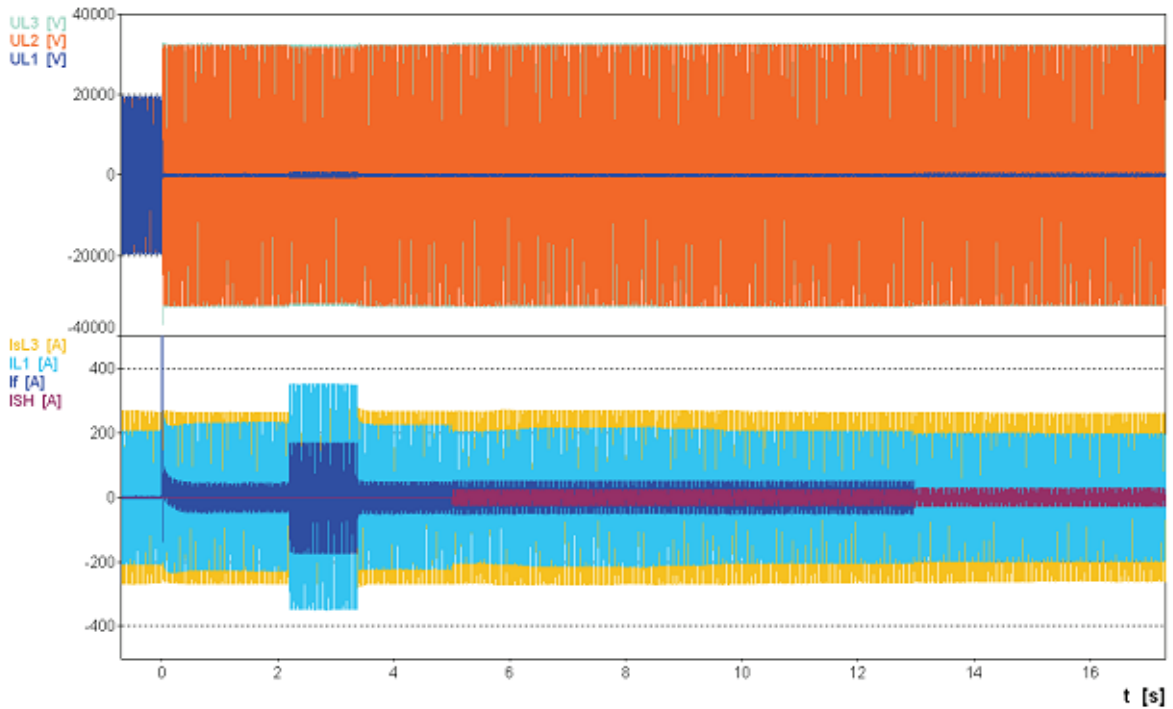


Obr. 3.5 – Kompenzovaná síť s připínáním pomocného odporníku a shuntu [1]

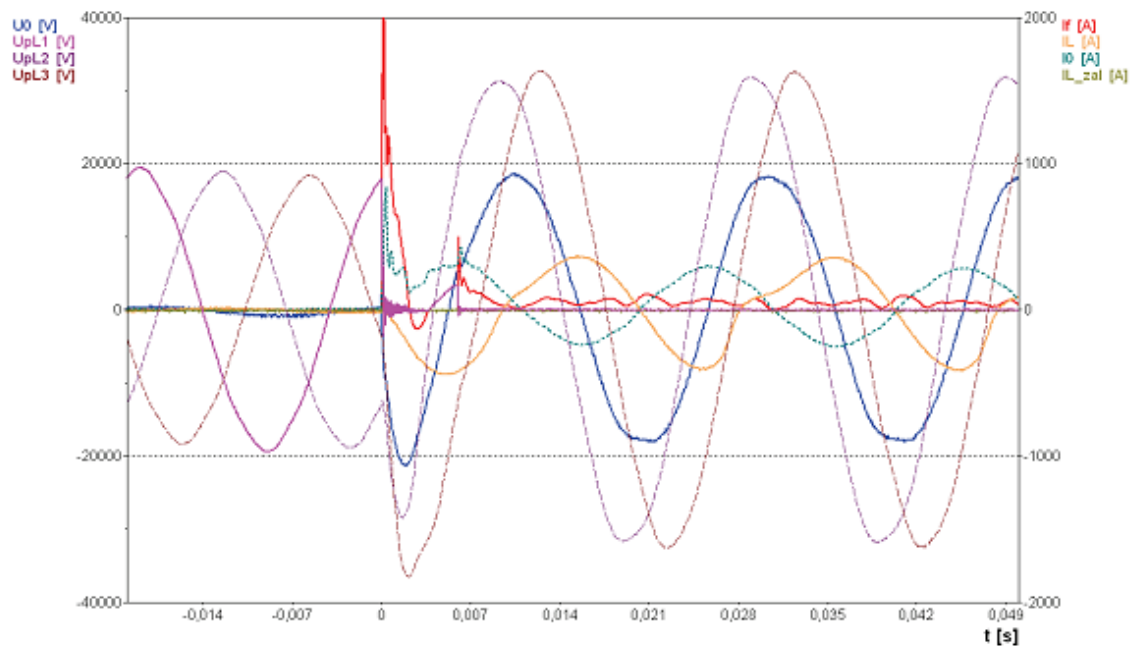


Obr. 3.6 – Průběh efektivní hodnoty poruchového proudu I_f a proudu místem přizemnění postižené fáze I_{SH} během obloukového zemního spojení v kompenzované síti [1]

Příklad napěťových a proudových poměrů během kovového zemního spojení v reálné kompenzované distribuční soustavě 22 kV, které vzniklo spojením fáze L1 s uzemněnou kovovou konstrukcí distribuční transformační stanice (DTS), je uveden na Obr. 3.7, Obr. 3.8 a Obr. 3.9. Jelikož má většina DTS zemnicí soustavu propojenou se zemnicí soustavou sítě nn, je hodnota poruchového odporu v těchto případech zanedbatelná (R_p cca 0,02 Ω). Kapacitní proud postižené soustavy je v prezentovaném případě přibližně 300 A, přičemž během poruchy dosahuje ustálená hodnota zbytkového (poruchového) proudu úrovně cca 20 A, která je díky vysokému obsahu násobků základní harmonické v tomto proudu poměrně vysoká.

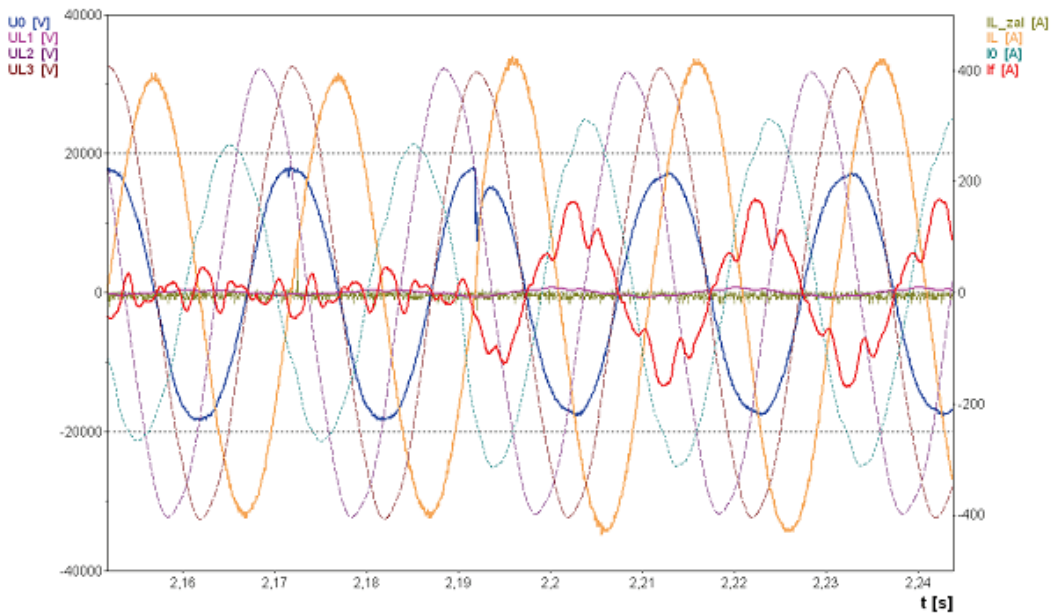


Obr. 3.7 – Průběh okamžitých hodnot napětí na hladině 22 kV U_{L1} , U_{L2} , U_{L3} , proudu poruchou I_f , proudu shuntem I_{SH} , odběrového proudu na vývodu I_{L1} a odběrového proudu I_{sL3} na straně postižené DTS (kovové zemní spojení) [1]



Obr. 3.8 – Průběh okamžitých hodnot napětím hladině 22 kV U_{pL1} , U_{pL2} , U_{pL3} , napětí na tlumivce (uzlového napětí) U_0 , proudu poruchou I_f , netočivé složky proudu $3xI_0$ a proudu tlumivkou I_L (kovové zemní spojení) [1]

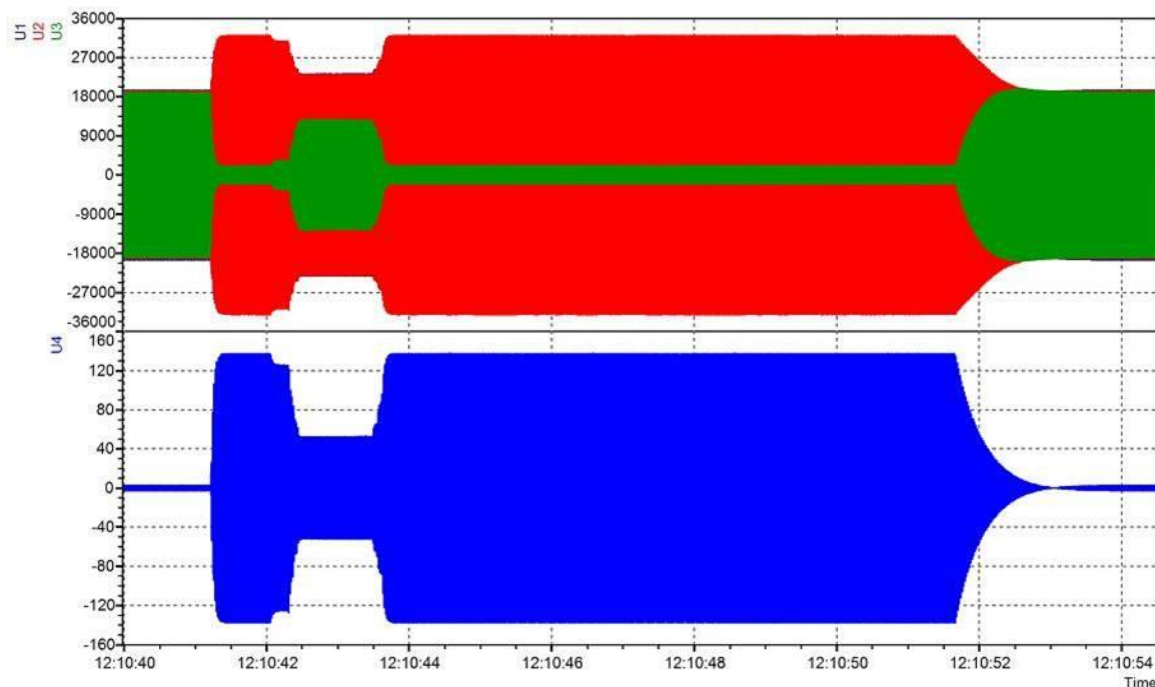
Na obr.3.8 je zobrazen okamžik vzniku (zapálení) poruchy (čas 0 s), který se v prvním okamžiku projevil výrazným vybíjecím proudem, tento vybíjecí proud je závislý nejen na okamžité hodnotě napětí v okamžiku zapálení poruchy, ale i na odporu poruchy. V daném případě oba tyto faktory napomáhají vzniku výrazné proudové špičky poruchového proudu v jeho první periodě po vzniku poruchy. Oscilografické průběhy sledovaných veličin jsou pro okamžik připnutí pomocného odporníku (čas 2,19 s) zobrazeny na obr. 3.9. V okamžiku připnutí pomocného odporníku je patrný výrazný nárůst činné složky poruchového proudu a mírný pokles uzlového napětí. Tento pokles netočivého napětí je závislý zejména na odporu poruchy. [1]



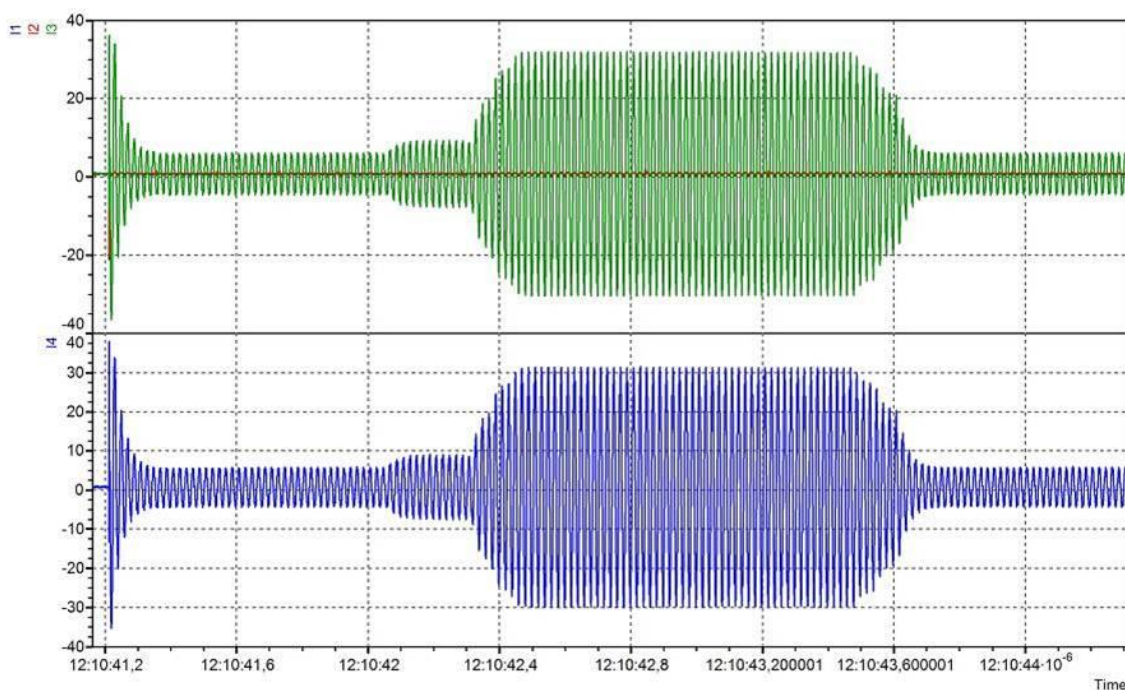
Obr. 3.9 – Průběh okamžitých hodnot napětí na hladině 22 kV U_{L1} , U_{L2} , U_{L3} , napětí na tlumivce U_0 , proudu poruchou I_f , netočivé složky proudu I_0 a proudu tlumivkou I_L v okamžiku připnutí odporníku (2,19 s) (kovové zemní spojení) [1]

Na obr. 3.10 je průběh fázových napětí a průběh uzlového napětí při skutečném zemním odporovém spojení, které provedla firma EGE. Měření proběhlo v nezátížené síti 22 kV. Odpor poruchy byl v tomto případě 400 Ω . Jak je vidět, v okamžiku vzniku zemního spojení (čas 12:10:41) došlo k výraznému poklesu napětí fáze L3 (napětí U_3) a k nárůstu napětí zdravých fází na zhruba sdružené napětí. Napětí U_0 vzrostlo přibližně na hodnotu fázového napětí (na obrázku záznam z měřicího transformátoru napětí s převodem 22000/100 V). Dále na obr. 3.11 jsou znázorněny průběhy proudů všech fází a také průběh proudu poruchou z tohoto měření. Z obrázku vidíme, že poruchový proud má po skončení přechodného děje pouze malou hodnotu, jelikož je kompenzován proudem tlumivky. V čase 12:10:42,1 však dojde k připojení prvního stupně pomocného odporníku k pomocnému výkonovému vinutí tlumivky. To má za následek nárůst proudu v postižené fázi a nárůst proudu v místě poruchy. V čase 12:10:42,3 dojde k připnutí dalšího stupně pomocného odporníku, což má za následek ještě větší zvýšení proudu poruchou a postiženou fází. Tento zvýšený proud pak umožňuje zemním ochranám, aby správně vyhodnotily postižený vývod. Připnutí pomocného odporníku má také vliv na napětí, jak je vidět na obr. 3.10. Zvýšený proud postiženou fází a místem poruchy zapříčiňuje

zvýšený úbytek napětí v místě poruchy, což má za následek zvýšení napětí postižené fáze a snížení napětí zdravých fází. Tento efekt ovšem závisí na odporu poruchy, v případě kovového zemního spojení by se napětí téměř neměnila.

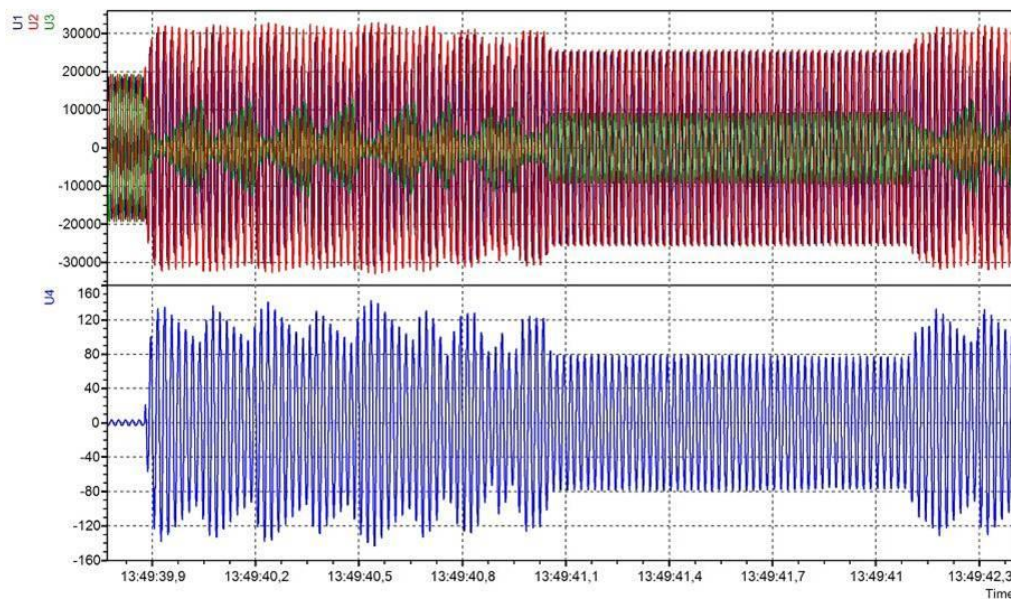


Obr. 3.10 – Průběh napětí při zemním odporovém spojení 400Ω s připínáním pomocného odporníku [materiály firmy EGE]

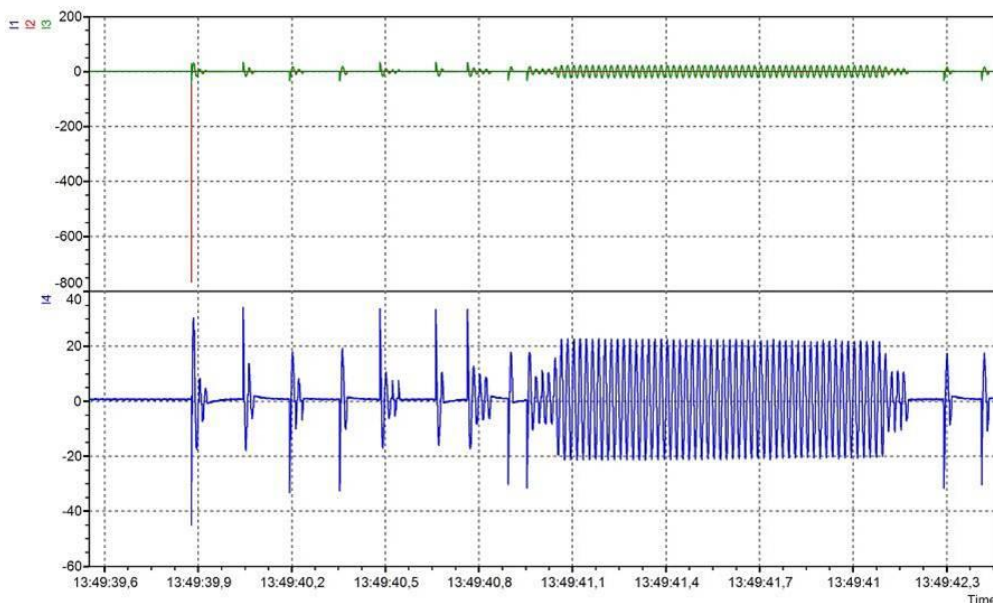


Obr. 3.11 – Průběh proudů při zemním odporovém spojení 400Ω s připínáním pomocného odporníku [materiály firmy EGE]

Na obr. 3.12 vidíme průběh napětí při obloukovém zemním spojení s připínáním pomocného odpor-
níku. Měření bylo prováděné firmou EGE, probíhalo na nezatíženém vedení 22 kV. I tady je patrný nárůst
napětí zdravých fází a napětí uzlu vůči zemi a pokles napětí postižené fáze v okamžiku vzniku zemního spojení
(čas 13:49:39,9). Na obr. 3.3 je zobrazen průběh proudů jednotlivých fází a místem poruchy. Jak je vidět,
vlivem zhasínání a opětovného zapalování oblouku je proud přerušovaný, což zemním ochranám neumožňuje
správně vyhodnotit postižený vývod. Po připojení pomocného odporníku (čas 13:49:41,05) dochází k stabili-
zaci proudu, díky čemuž mohou zemní ochrany správně zapůsobit.



Obr. 3.12 – Průběh napětí při zemním obloukovém spojení s připínáním pomocného odporníku [materiály
firmy EGE]



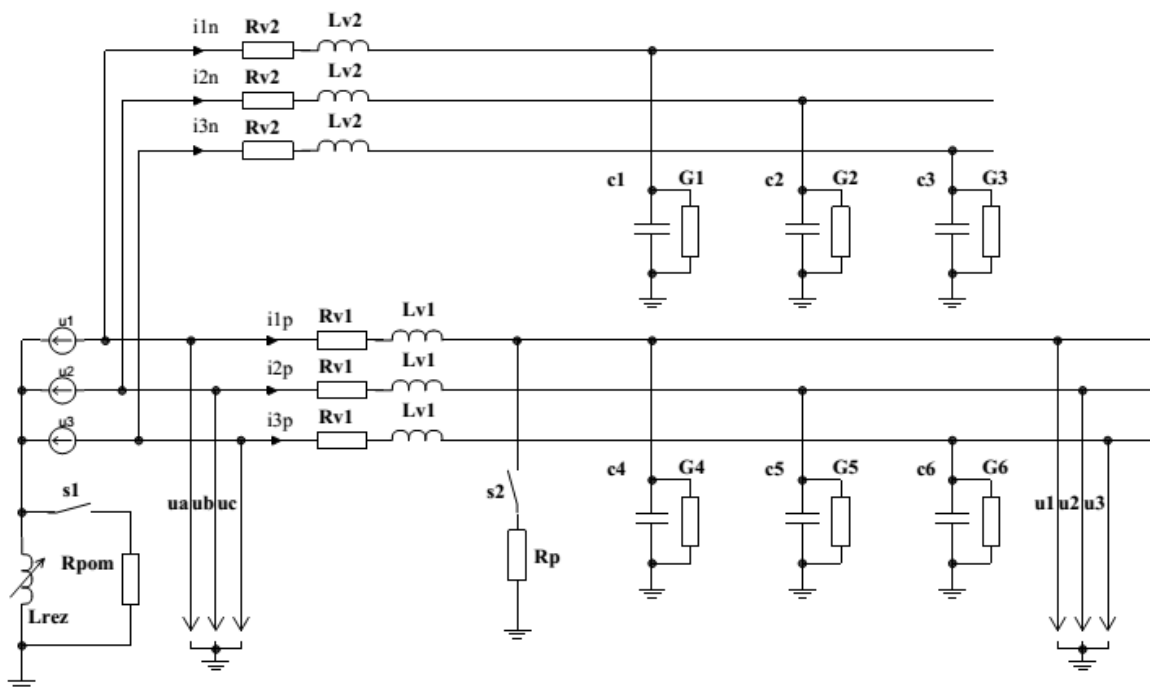
Obr. 3.13 – Průběh proudů při zemním obloukovém spojení s připínáním pomocného odporníku [materiály
firmy EGE]

3.2 Model sítě vn se zemním spojením s připínáním pomocného odporníku

Při modelování odporového zemního spojení jsme vycházeli z obvodu na obr. 3.14. Model představuje síť 22 kV uzemněnou přes zhášecí tlumivku L_{rez} s připínáním pomocného odporníku R_{pom} , jehož odpor je pro jednodušší výpočet přepočítán na jmenovité napětí tlumivky, takže jej je možné připojit paralelně k této tlumivce. Jsou zde dvě vedení, každé dlouhé 80 km. U obou vedení je uvažována jejich podélná impedance, zde reprezentována odpory R_{v1}, R_{v2} a indukčnostmi L_{v1}, L_{v2} . Pro výpočet se uvažuje, že venkovní vedení jsou vedena pomocí stožárů typu „pařát“. Kapacita vedení proti zemi je zde reprezentována kondenzátory $C1-C6$, svod je reprezentován vodivostmi $G1-G6$. Parametry vedení byly převzaty z [3].

Parametry obvodu:

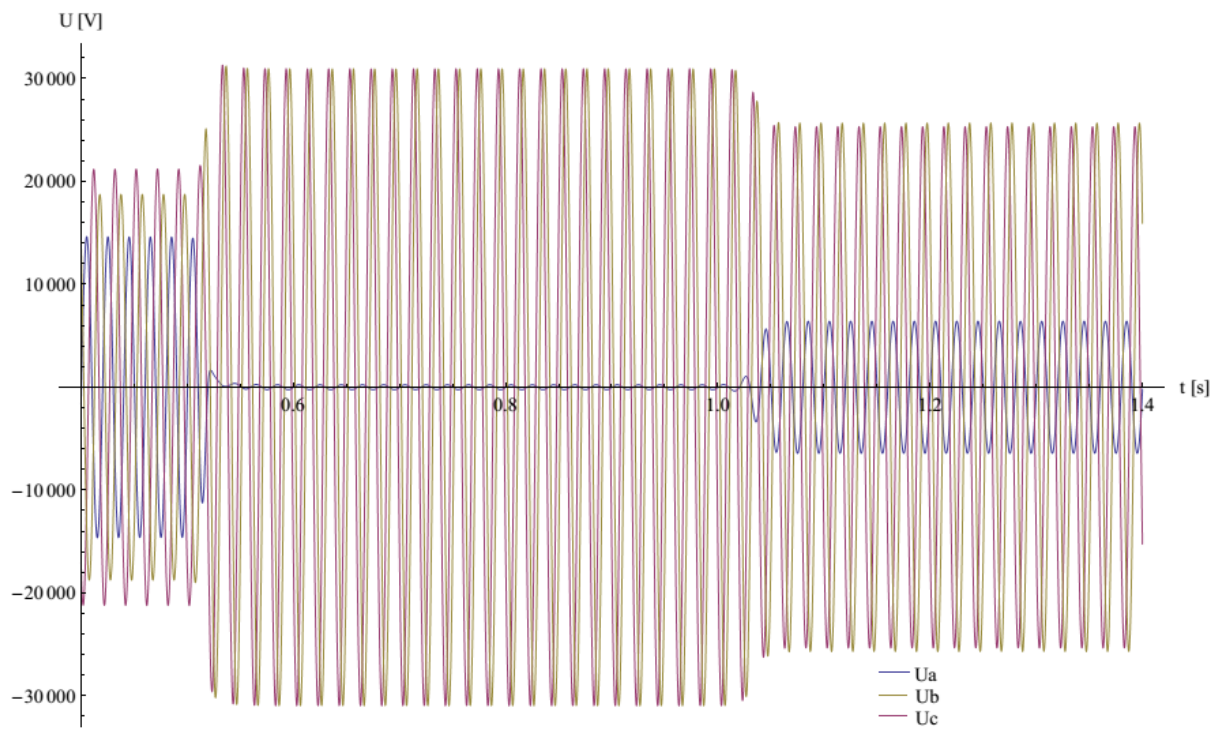
- Zdroj
 $u_1, u_2, u_3 = 12,701 \text{ kV}$ (efektivní hodnota)
 $f = 50 \text{ Hz}$
- Tlumivka
 $L_{rez} = 5,12 \text{ H}$
- Pomocný odporník
 $R_{pom} = 707,56 \Omega$ (odpovídá 1Ω na straně pomocného vinutí 500 V)
- Vedení
 $l_1 = l_2 = 80 \text{ km}$ délka prvního a druhého vedení
 $ca_0 = cb_0 = 4,17 \cdot 10^{-9} \text{ F.km}^{-1}$ kapacita fáze L1 a L3 vůči zemi na kilometr
 $cb_0 = 4,01 \cdot 10^{-9} \text{ F.km}^{-1}$ kapacita fáze L2 vůči zemi na kilometr
 $G = 8 \cdot 10^{-8} \text{ S}$ svod vedení na kilometr
 $L_{ved} = 1,114 \cdot 10^{-3} \text{ H.km}^{-1}$ indukčnost vedení na kilometr
 $R_{ved} = 0,28 \Omega.\text{km}^{-1}$ odpor vedení na kilometr
 $C1 = C3 = C4 = C6 = 3,33 \cdot 10^{-7} \text{ F}$
 $C2 = C5 = 3,208 \cdot 10^{-7} \text{ F}$
 $G1 = G2 = G3 = G4 = G5 = G6 = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ S}$
 $R_{v1} = R_{v2} = 22,4 \Omega$
 $L_{v1} = L_{v2} = 0,0891 \text{ H}$
 $R_p = 400 \Omega$ odpor poruchy



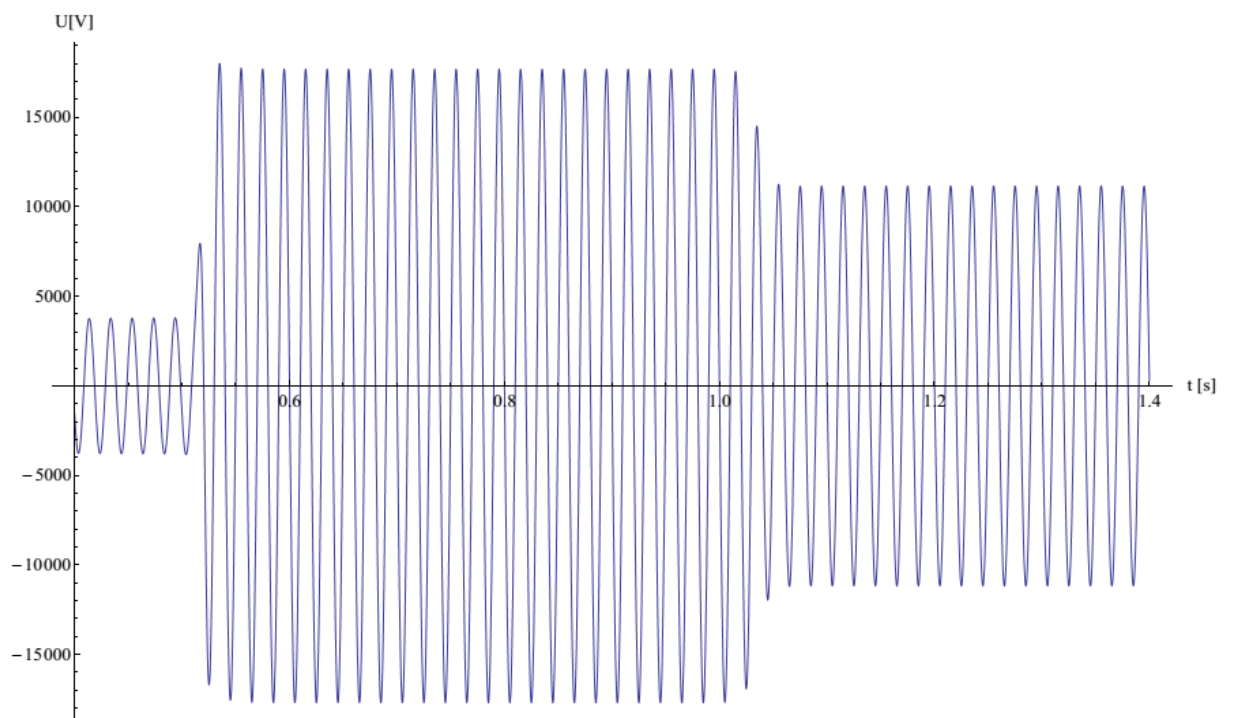
Obr. 3.14 – Modelovaný obvod

Na obr. 3.15 můžeme vidět průběhy fázových napětí u_1, u_2, u_3 . Vidíme, že v okamžiku vzniku poruchy v čase 0,5 s (sepnutí spínače s_2) dojde k nárůstu napětí nepostížených fází na hodnotu téměř sdruženou a k poklesu napětí postižené fáze téměř na nulu. Po připnutí pomocného odporníku v čase 1s (sepnutí spínače s_1) dojde vlivem zvýšeného proudu v postižené fázi k většímu úbytku napětí na odporu proudu, což má za následek nárůst napětí postižené fáze a pokles napětí zdravých fází.

Na obr. 3.16 je znázorněna netočivá složka napětí U_0 , která je dána součtem napětí u_a, u_b a u_c . Tímto způsobem se toto napětí získává i v praxi pomocí měřících transformátorů napětí zapojených do otevřeného trojúhelníku. Vidíme, že netočivá složka napětí při zemním spojení zřetelně vzrostla a po připojení pomocného odporníku zase klesla. Tento pokles nesmí být příliš velký, protože jinak by zemní ochrany tento stav vyhodnotily jako běžnou provozní nesymetrii. Připínaný odpor tedy nesmí být příliš malý, na druhou stranu ani příliš velký, protože je potřeba dostatečně navýšit poruchový proud.



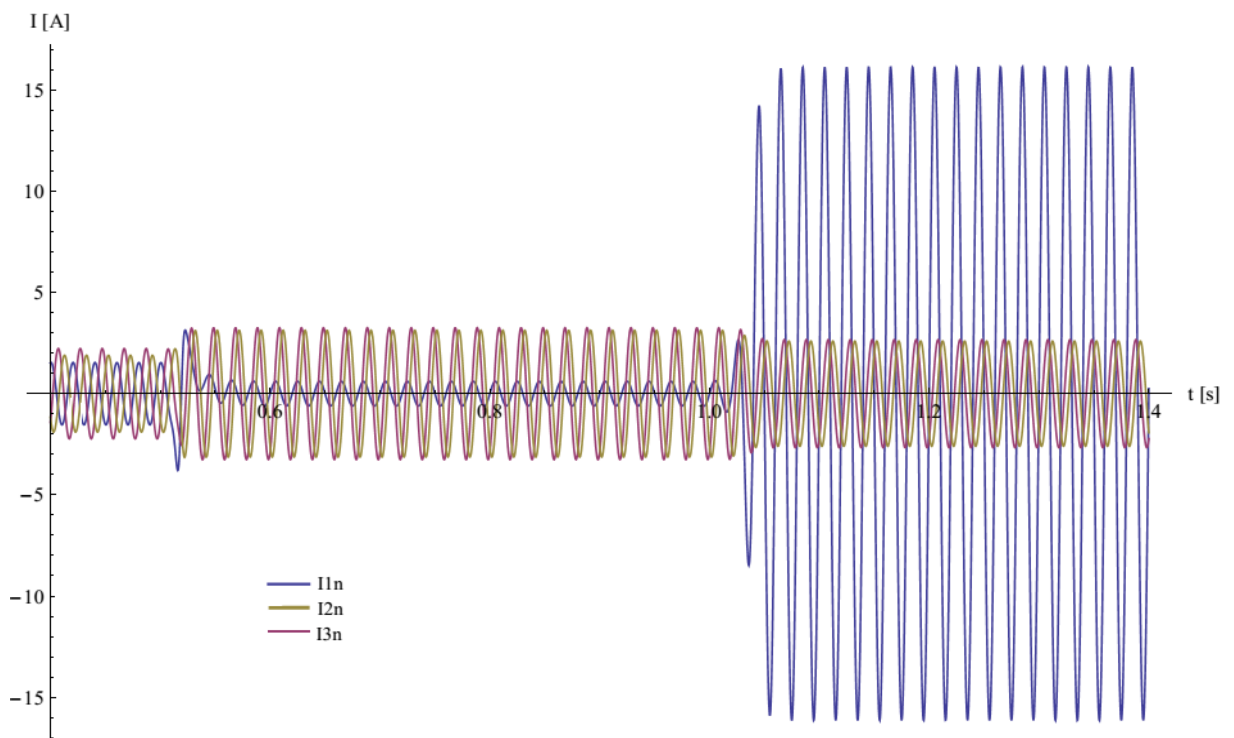
Obr. 3.15 – Průběh fázových napětí



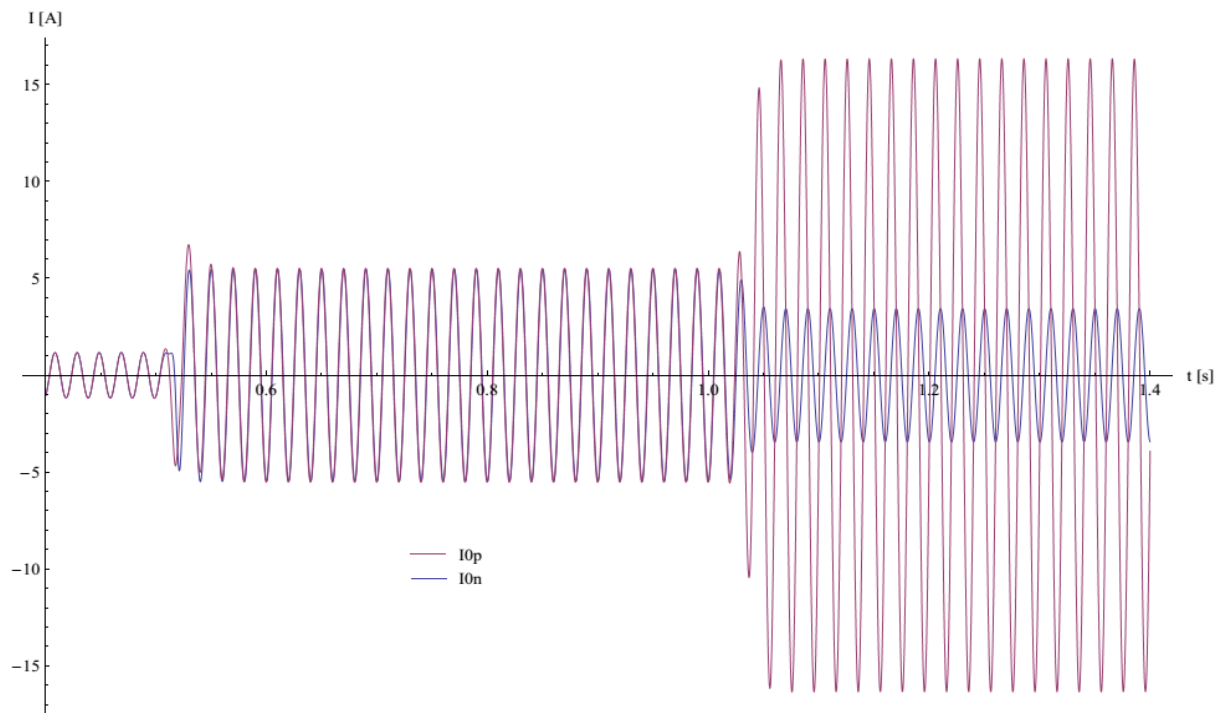
Obr. 3.16– Průběh netočivého napětí U_0

Na obr. 3.17 jsou znázorněny proudy jednotlivými fázemi v postiženém vývodu. Jak je dobře vidět, v okamžiku zemního spojení vzrostou kapacitní proudy zdravých fází a poklesne kapacitní proud postižené fáze. Dále vidíme, že proud postiženou fází je velmi malý (tečou jimi pouze proudy svodové). Tento malý proud je pro zemní ochrany jenom obtížně detekovatelný, a mohlo by dojít k označení nepostiženého vývodu jako postiženého. Situace se ale zásadně změní po připnutí pomocného odporu. Je vidět, že proud po připnutí pomocného odporu vzroste téměř dvacetinásobně. V tomto případě pak dojde k spolehlivému určení postiženého vývodu.

Na obr.318 je průběh netočivé složky proudu v postiženém i nepostiženém vývodu. Tyto proudy jsou dány součtem proudů fázových. $i_{1p} + i_{2p} + i_{3p}$ respektive $i_{1n} + i_{2n} + i_{3n}$. Jak je vidět bez připnutí pomocného odporu mají tyto proudy přibližně stejnou velikost i fázi, a tedy zemní ochrany nedokáží správně vyhodnotit postižený vývod. Po připnutí pomocného odporu však dojde ke zvýšení netočivé složky proudu postiženého vývodu. Navíc dojde i ke změně fáze, což je velmi důležité, protože většina moderních zemních ochrany vyhodnocuje i fázový posun mezi netočivou složkou napětí a proudu.



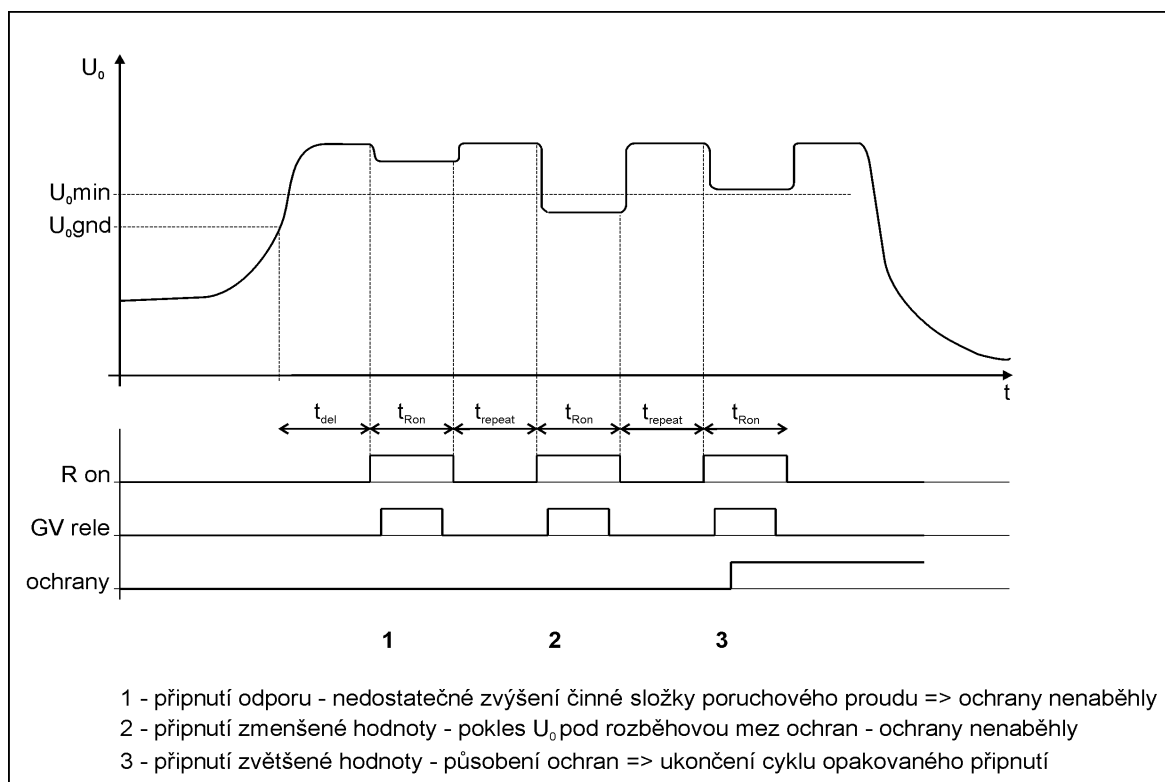
Obr. 3.17 – Průběh fázových proudů v postiženém vývodu



Obr. 3.18 – Průběh netočivé složky proudu v postiženém a nepostiženém vývodu

4 Zkoušení a příprava pomocného odporníku do provozu

Jak bylo popsáno výše, hlavním úkolem pomocného odporníku je navyšovat činnou složku poruchového proudu při zemním spojení. Bez připínání tohoto odporníku by zemní ochrany jen velmi těžko mohly vyhodnotit zbytkový poruchový proud, a mohlo by snadno dojít k označení zdravého vývodu jako postiženého. Tyto zemní ochrany, v dnešní době hlavně digitální, je však potřeba správně nastavit. Protože zemní ochrany vyhodnocují fázový posun a amplitudu netočivé složky napětí a proudu, je třeba také dbát na to, aby byla hodnota připínaného odporníku správně zvolená (obr. 4.1). Příliš malá hodnota odporu by vedla sice k dostatečnému zvětšení poruchového proudu, avšak při odporové poruše by mohla netočivá složka napětí klesnout pod hranici, která znamená poruchu a ochrana by tedy vůbec nezahlásila zemní spojení. Navíc bychom namáhali zvýšeným proudem i poruchové místo. Příliš velká hodnota pomocného odporníku by zase nezajistila dostatečné navýšení poruchového proudu, a tedy ochrana by správně nezapůsobila. Vhodnou velikost připínaného odporníku zajišťuje automatika. Aby se zjistilo, zda zhášecí tlumivka s automatikou připínání pomocného odporníku a zemní ochrany fungují správně, provádí se funkční zkoušky. Tyto zkoušky se provádí hlavně po stavbě nebo rekonstrukci rozveden. Jedna taková zkouška proběhla i 15.5.2014 v rozvodně Tuchlovice. Průběh a výsledek této zkoušky je předmětem této kapitoly.



Obr. 4.1 – Připínání pomocného odporníku a jeho vliv na uzlové napětí U_0 [materiály firmy EGE]

4.1 Popis rozvodny

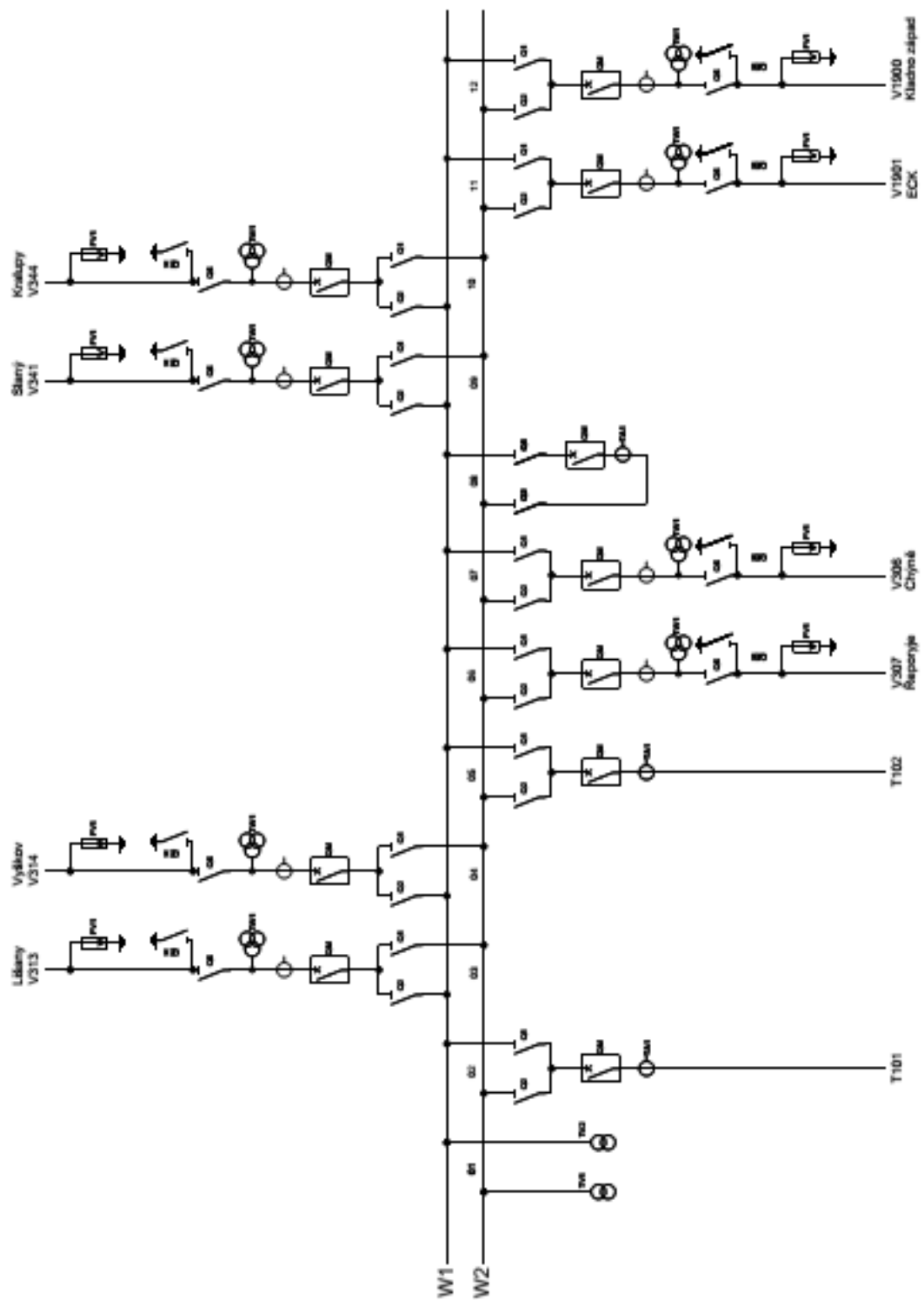
Měření se provádělo dne 15.5. 2014 v rozvodně Tuchlovice (oblast Střední Čechy). Tato rozvodna disponuje dvěma transformátory 110/22 kV, 40 MVA (obr. 4.2). Ve venkovním areálu se nachází nově rekonstruovaná rozvodna 110 kV (obr. 4.3). Rekonstrukce této rozvodny je také důvod funkčních zkoušek. Tato rozvodna je vybavená dvěma přípojnicemi W1, W2 (obr. 4.4) a příčným spínačem přípojnic, který umožňuje propojení obou sběrnic. Celkové má tato rozvodna 6 přívodů (vývodů). Každá tato přívodní (vývodní) odbočka je vybavena výkonovým vypínačem, odpojovači, uzemňovačem, bleskojistkou a měřicími transformátory proudu a napětí. Odbočky jsou chráněny distančními ochranami firmy SIEMENS (obr. 4.5), umístěnými v kioscích. Dále jsou tady vývody pro měření napětí na sběrnicích a vývody pro transformátory 110/22 kV. Tyto vývody jsou vybaveny odpojovači, výkonovým vypínačem, měřicím transformátorem proudu a bleskojistkou. Distribuční transformátory jsou typicky se třemi vinutími, spojení YNyn0/(d). Ze sekundárního vinutí pokračuje vedení do vnitřní rozvodny vn, terciární vinutí je rozpojeno (obr. 4.6). Uzel sekundárního vinutí je spojen přes zhášecí tlumivku (obr. 4.7) se zemí. Oba dva transformátory mohou být spojeny s libovolnou tlumivkou. K tomuto účelu slouží čtyři odpojovače umístěné na zadní straně transformátorového kiosku (obr. 4.8)



Obr. 4.2 – Měřený distribuční transformátor 110/23/6,3 kV YNyn0/(d)



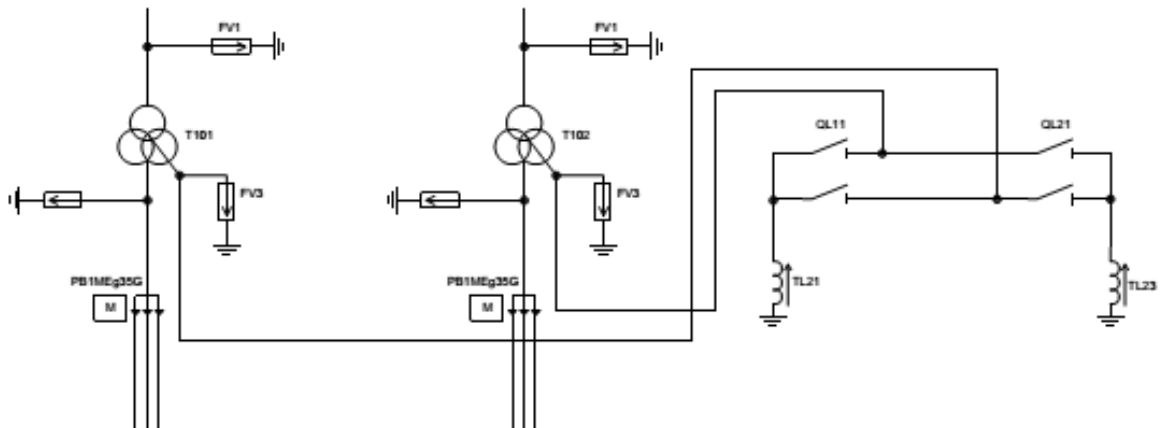
Obr. 4.3 – Venkovní rozvodna 110 kV Tuchlovice (odzadu – přípojnice, odpojovače, vypínač, měřicí transformátory napětí a proudu, vývodový odpojovač)



Obr. 4.4 – Schéma rozvodny 110 kV



Obr. 4.5 - Distanční ochrana SIEMENS SIPROTEC pro vývod 110 kV (zde vývod „Chýně“)



Obr.4.6 – Schéma zapojení tlumivek a transformátorů



Obr. 4.7 – Zhášecí tlumivka



Obr. 4.8 – Pomocné odporníky (R22, R21) a odpojovače k zhášecím tlumivkám

Rozvodna 22 kV je umístěná v hlavní budově. Rozvodna je dvoupatrová, v prvním patře (obr. 4.9) je většina přístrojového vybavení, druhém jsou přípojnice (obr. 4.10). Rozvodna je řešena jako dvousystémová s přípojnicemi do „U“ s pomocnou přípojnici a příčným spínačem přípojnic. Napětí se přivádí z dvou transformátorů 110/22 kV (T101, T102). Dále jsou zde spínač pomocné přípojnice SPP21, odbočka pro měření napětí, odbočky pro napájení transformátorů 22/0,4 kV a celkem 20 odboček vedení napájejících přilehlou oblast, z nichž 5 je rezervních. Tyto odbočky jsou standardně vybaveny odpojovači, vypínačem, měřicími transformátory proudu a napětí, vývodovým odpojovačem, uzemňovačem a bleskojistkou. Schéma rozvodny 22 kV je na obr. 4.12. V hlavní budově se dále nachází i velín, sál ochran a další místnosti potřebné pro správný chod rozvodny, jako například kompresorovna, akumulátorovna atd..



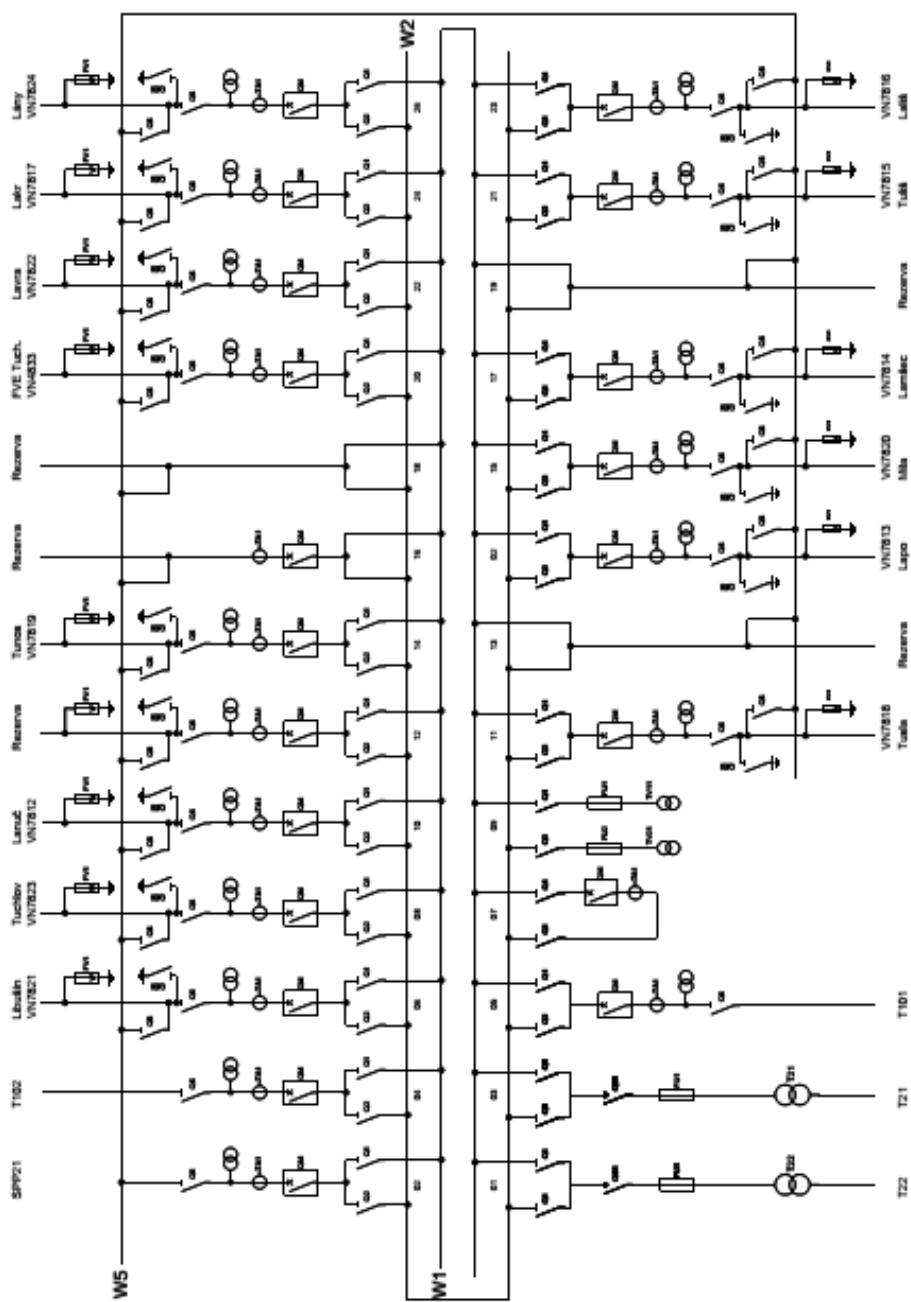
Obr. 4.9 – Ovládací panel pro odbočku „Lališ“ v prvním patře rozvodny 22 kV



Obr. 4.10 – Připojnice ve druhém patře rozvodny 22 kV



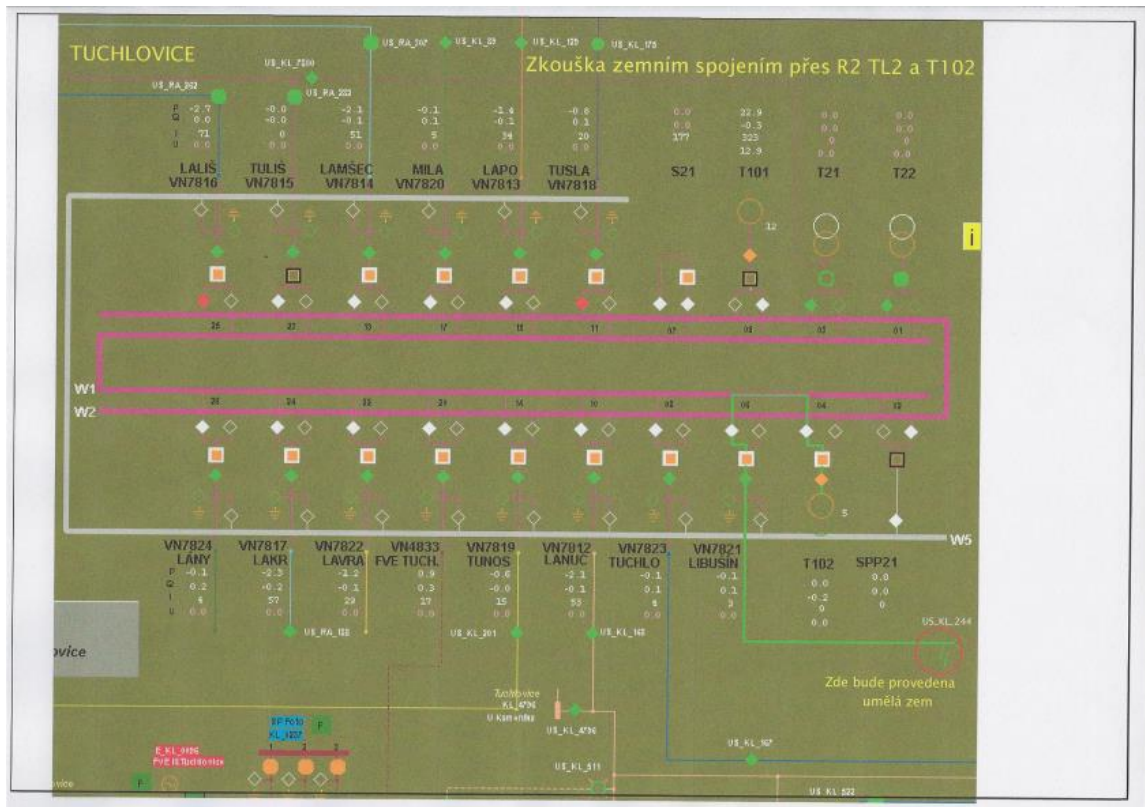
Obr. 4.11 – Velín rozvodny Tuchlovice



Obr. 4.12 – Schéma rozvodny 22 kV

4.2 Popis funkčních zkoušek

Zkoušky proběhly za plného provozu. Měřilo se uměle vytvořené zemní spojení na vývodu Libušín (obr. 4.13). Na tomto vývodu se vypnul nejbližší úsekový odpínač, tak aby nebylo možné zpětné napájení. Odběr z tohoto vývodu byl převeden pomocí úsekových odpínačů na jiný vývod.



Obr. 4.13 – Schéma soustavy (zeleně je vyznačen postižený vývod)

Postupně se měřilo kovové zemní spojení, odporové 400 Ω a obloukové spojení. Fotografie venkovního pracoviště je na obr. 4.14. Z venkovního lana se svedl vodič, který se následně připojil buď přímo na uzemnění stožáru, na odpor a nebo na jiskřiště. Do obvodu byla navíc ještě zařazena pojistka, aby při následné poruše v jiném vývodu a tedy při vzniku dvoufázového zkratu, zareagovala pojistka a nedošlo k vypnutí odběratelů. Navíc bylo ještě sníženo zpoždění nadproudové a zkratové ochrany na měřeném vývodu. Na rozvodně (obr. 4.15) se zaznamenávaly hodnoty fázových a sdružených napětí, proudů jednotlivých fází, proud poruchou a napětí mezi uzlem transformátoru a zemí. Zaznamenávaly se jak hodnoty fázové, tak hodnoty okamžité (snímání frekvencí 40 kHz). Po každém měření se vyhodnotila činnost příslušné zemní ochrany. Oficiální průběh zkoušek i vyhodnocení je součástí přílohy.



Obr. 4.14 – Venkovní pracoviště (zleva odpor, pojistka, jiskřiště)



Obr. 4.15 – Instalace zemního vodiče na venkovní vedení



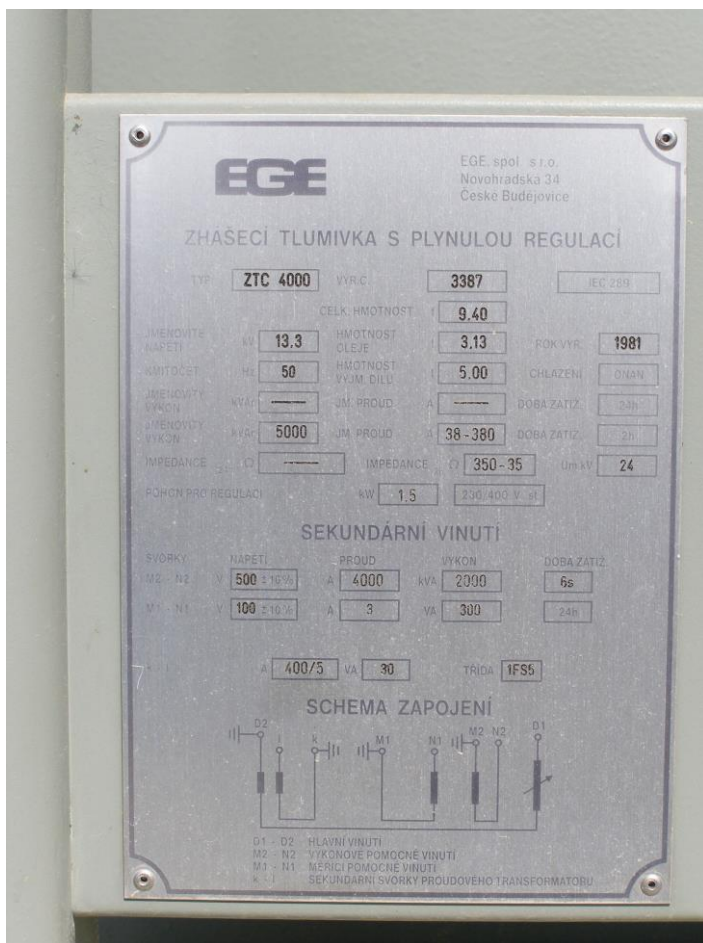
Obr. 4.16 – Vnitřní pracoviště

4.3 Popis měřených zařízení

Měření probíhalo na tlumivce firmy EGE, typ ZTC 4000 (obr. 4.7). Štítek této tlumivky je na obr. 4.17. Jak je vidět, má tato tlumivka vedle hlavního vinutí ještě 2 pomocné vinutí – jedno výkonové pro připojení pomocného odporníku (M2-N2) a jedno pro účely měření (M1-N1). Svorky k-l slouží k měření proudu.

Zkoušený odporník byl rovněž od firmy EGE, typ SRA 2250/0,5/KB 6s (Obr. 4.18). Tento odporník má celkem 15 stupňů velikosti odporu. Připínání jednotlivých stupňů řídí automatika ARS-01. Skříň odporníku SRA 2250/6 je tvořena dvěma částmi - skříň s odpory má krytí IP23, stupeň krytí řídicí části je IP54. Skříň s odpory obsahuje vzduchem chlazené odporové články, řídicí skříň obsahuje připojovací svorkovnici, stykače, topný odpor, termostat a automatiku.

Zkoušené ochrany byly od firmy SIEMENS, typ 7SJ5125-4CA03-3CA0/GG (obr. 4.20). Tato ochrana plní funkci jak nadproudové tak i zkratové a zemní ochrany. Postižený vývod vyhodnocuje podle fázového posuvu mezi netočivou složkou napětí a proudu



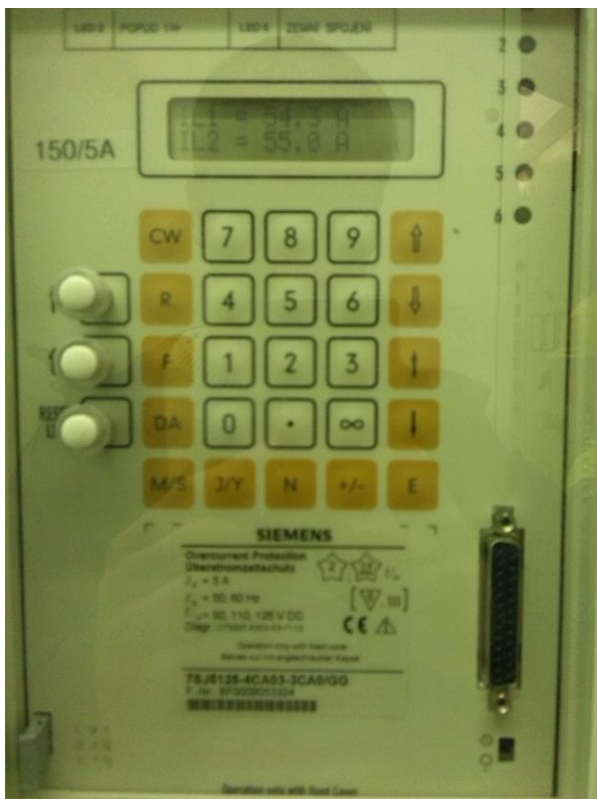
Obr. 4.17 – Štítek zhásečí tlumivky v rozvodně Tuchlovice



Obr. 4.18 – Odporník SRA 2250/0,5/KB 6s [materiály firmy EGE]



Obr. 4.19 – Štítek pomocného odporníku



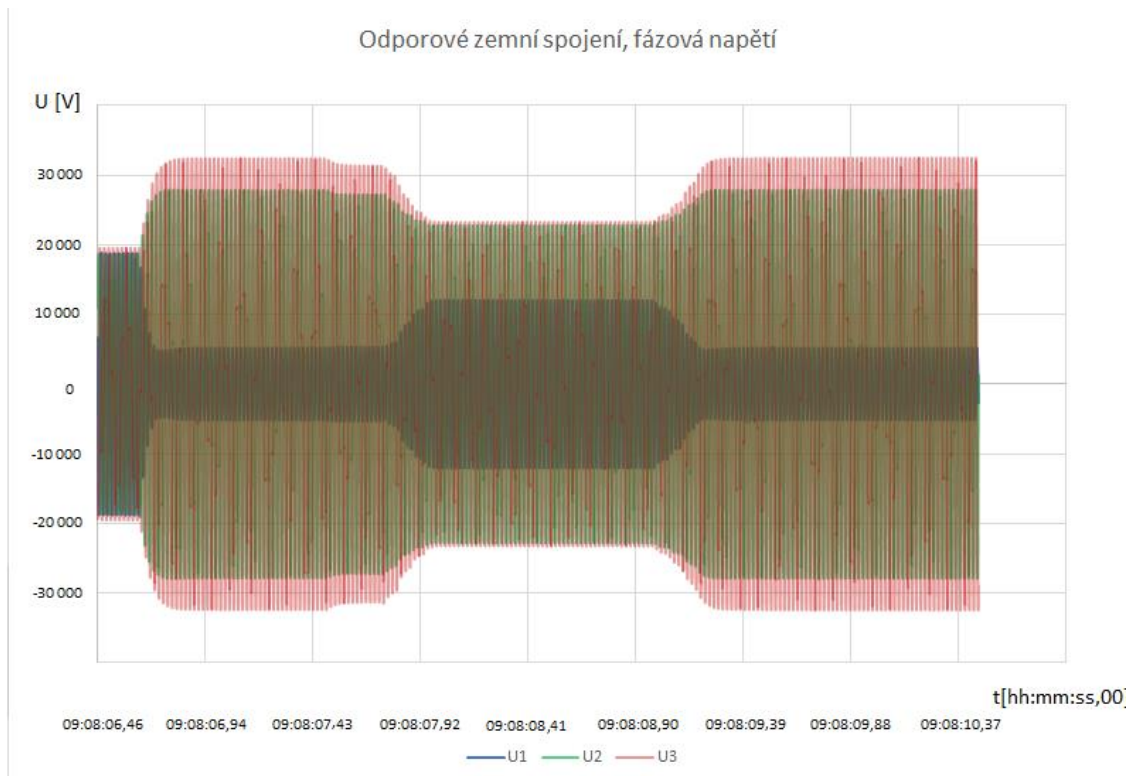
Obr. 4.20 – Ochrana Siemens, použitá na vývodech 22 kV v rozvodně Tuchlovice

4.3 Výsledky funkčních zkoušek

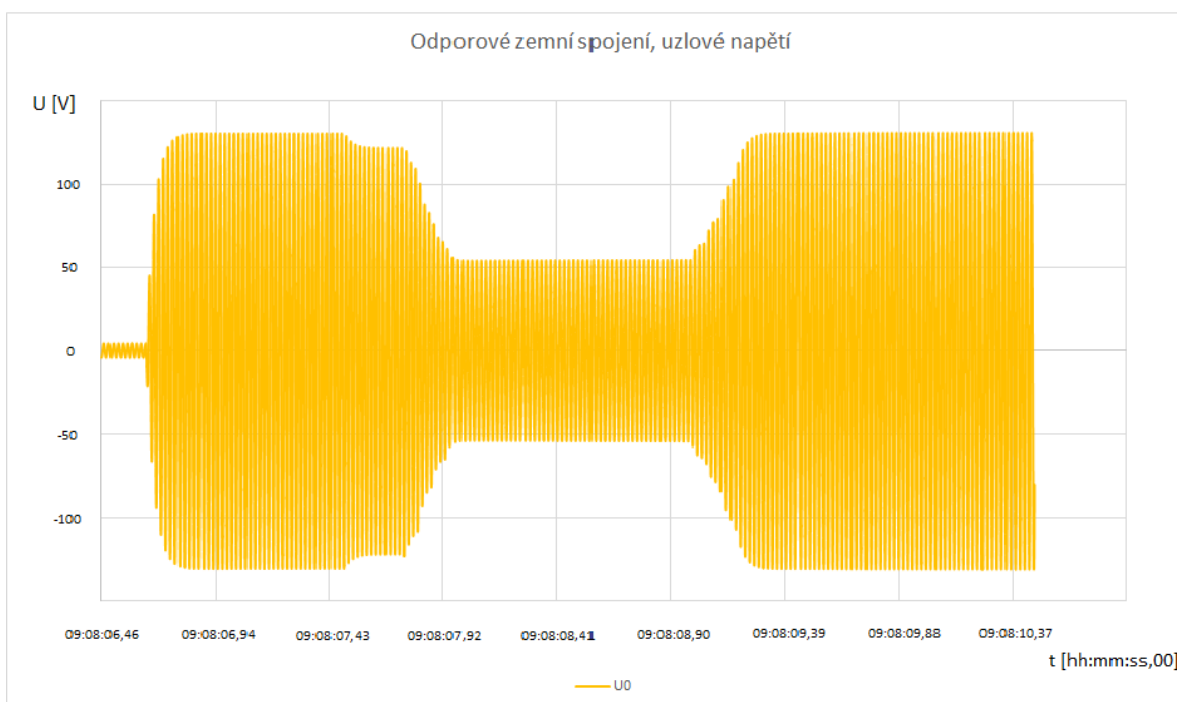
Jak už bylo řečeno, měřily se celkem tři druhy zemního spojení – v této práci budou znázorněny průběhy při odporovém a obloukovém zemním spojení. V grafech jsou znázorněny jak fázové hodnoty napětí, tak napětí uzlu proti zemi. Dále jsou zde znázorněny proudy jednotlivých fází a netočivá složka proudu, která se v tomto případě v podstatě rovnala proudu poruchy, jelikož proudy zdravých fází na postiženém vývodu jsou kvůli rozepnutému úsekovému odpínači hned za rozvodnou zanedbatelně malé.

Na obr. 4.21 vidíme průběh fázových napětí a na obr. 4.22 průběh uzlového (netočivého) napětí při odporovém zemním spojení. Jak je vidět, k připnutí odporníku došlo zhruba 1s po vzniku zemního spojení. Nejdřív se připnul jeden stupeň pak druhý. Jak je vidět, zvýšený proud postiženou fází a místem poruchy, který zapříčinilo připnutí odporníku, způsobil zvýšený úbytek napětí na odporu poruchy, a tím pádem snížení napětí U_0 , a snížení napětí zdravých fází. Pokles napětí U_0 však v tomto případě nebyl příliš velký a proto zemní ochrany spolehlivě detekovaly postižený vývod.

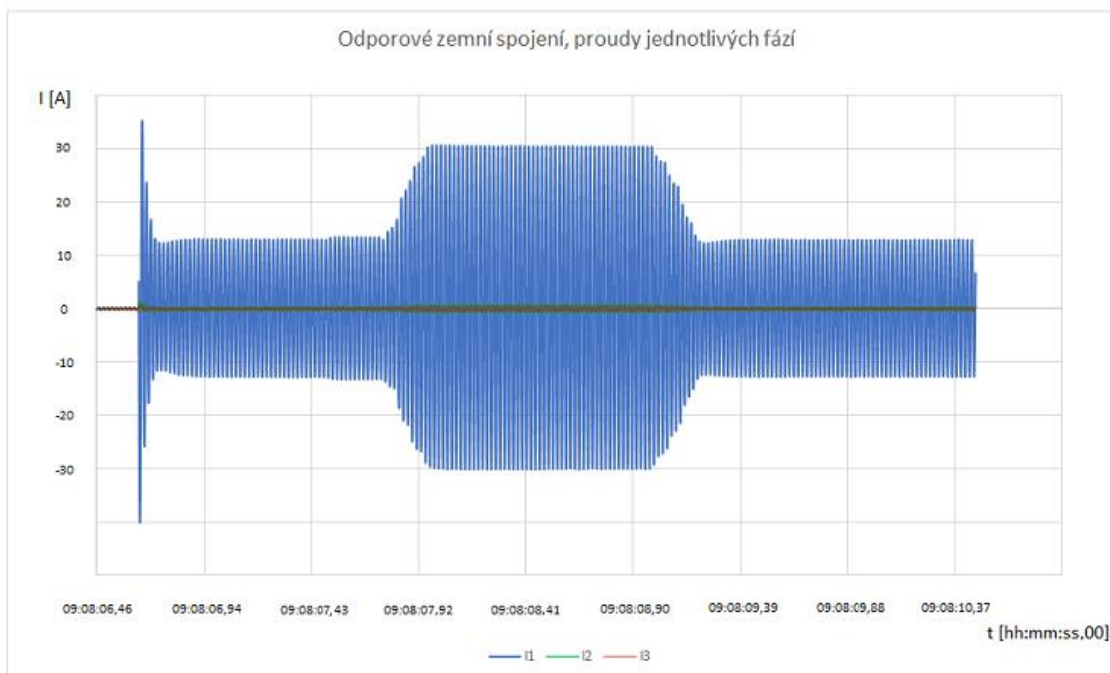
Na obr. 4.23a 4.24 můžeme vidět průběhy proudů při odporovém zemním spojení. Z grafů je patrný nárůst činné složky proudu v postižené fázi a místem poruchy po připnutí pomocného odporníku. Proudů zdravých fází jsou zanedbatelně malé, protože jimi teče pouze kapacitní a svodový proud vedení z rozvodny po nejbližší úsekový odpínač (cca 50 m).



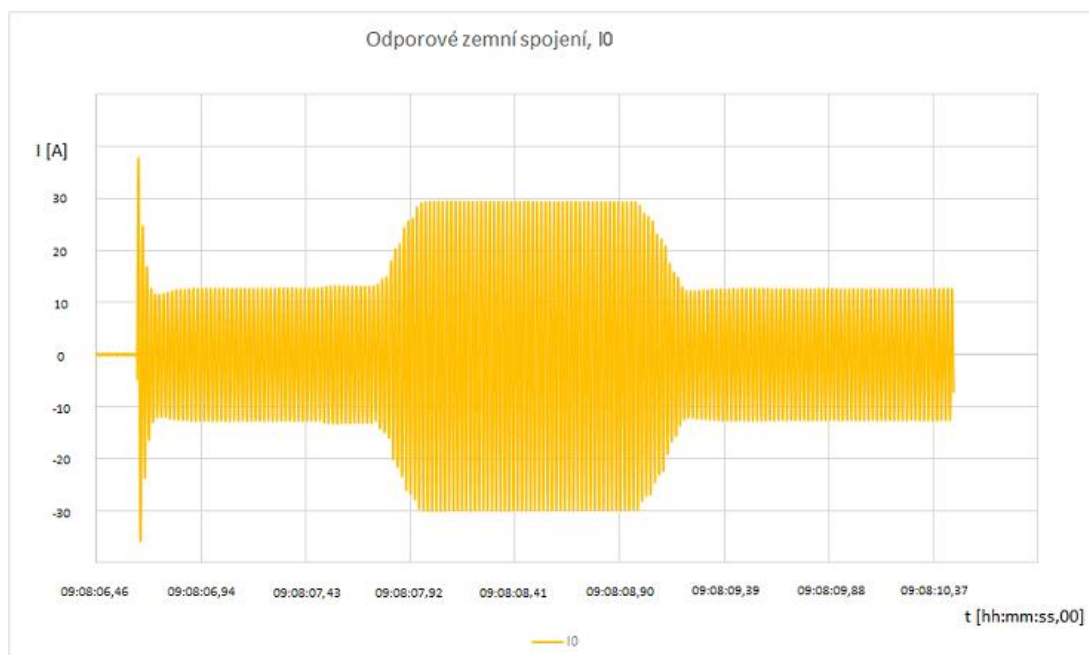
Obr. 4.21 – Průběh fázových napětí při odporovém zemním spojení



Obr. 4.22 – Průběh uzlového (netočivého) napětí při odporovém zemním spojení



Obr. 4.23 – Proudů jednotlivými fázemi při odporovém zemním spojení

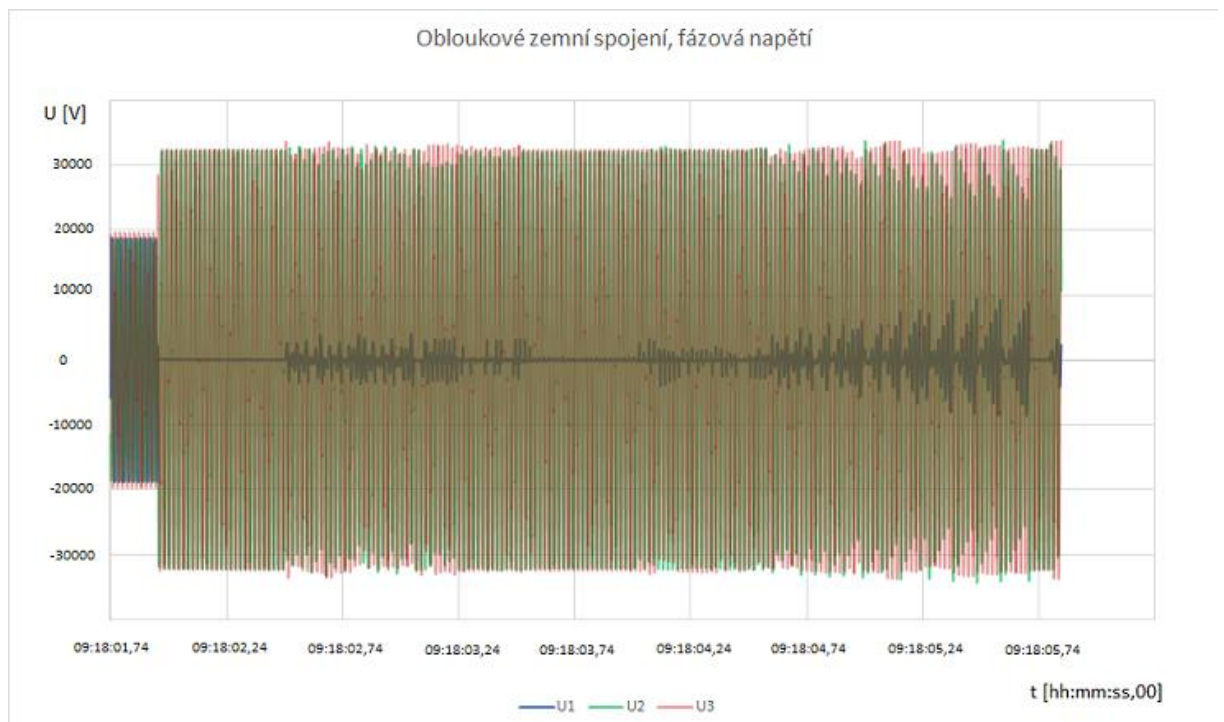


Obr. 4.24 – Netočivá složka proudu při odporovém zemním spojení

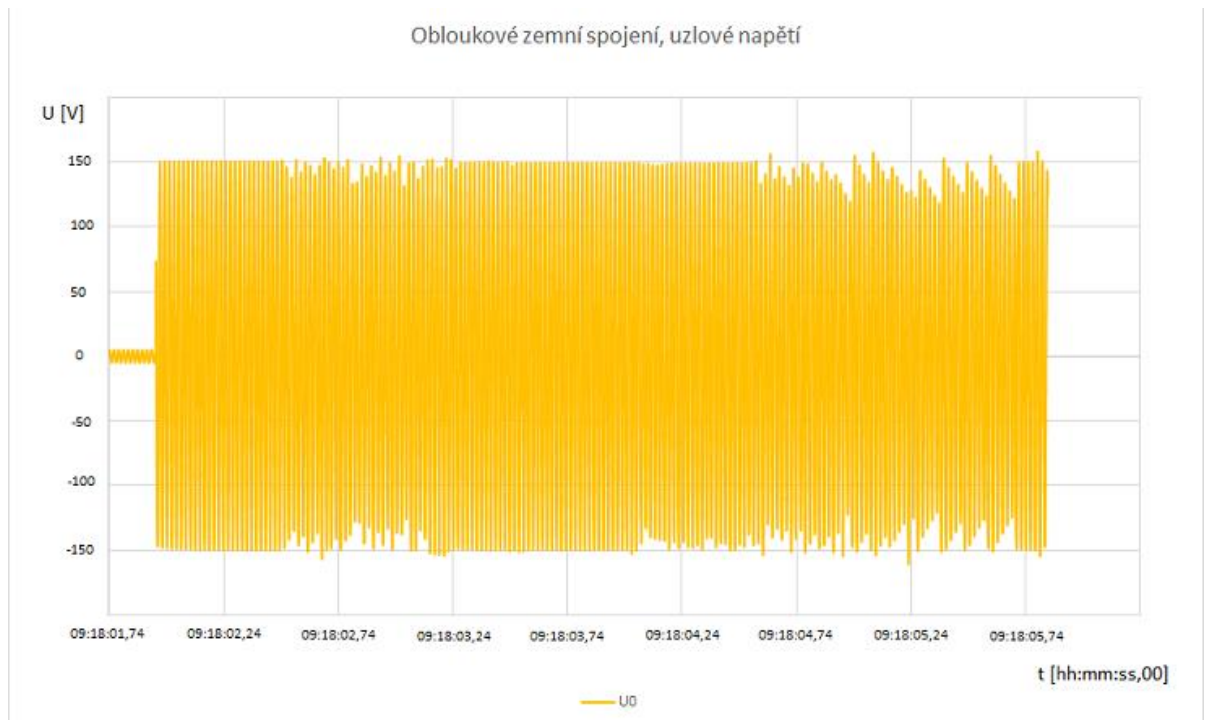
Kovové zemní spojení má průběhy velmi podobné jako odporové, pouze s tím rozdílem, že napětí zdravé fáze klesá úplně na nulu, napětí U_0 vzroste na hodnotu fázového napětí a napětí zdravých fází vzrostou na hodnotu sdruženou. Vlivem velmi malého odporu poruchy nedojde po připnutí pomocného odporníku ke snížení napětí U_0 . Podmínky pro indikaci postiženého vývodu při kovovém zemním spojení jsou nejlepší. Při měření zemní ochrana zapůsobila správně

Na obr. 4.25 je průběh fázových napětí a na obr. 4.26 průběh netočivého napětí při obloukovém zemním spojení. Je zde patrné, že připnutí odporníku stabilizuje hoření oblouku, což se projevuje nárůstem napětí postižené fáze. Pokles napětí U_0 zde není tak patrný.

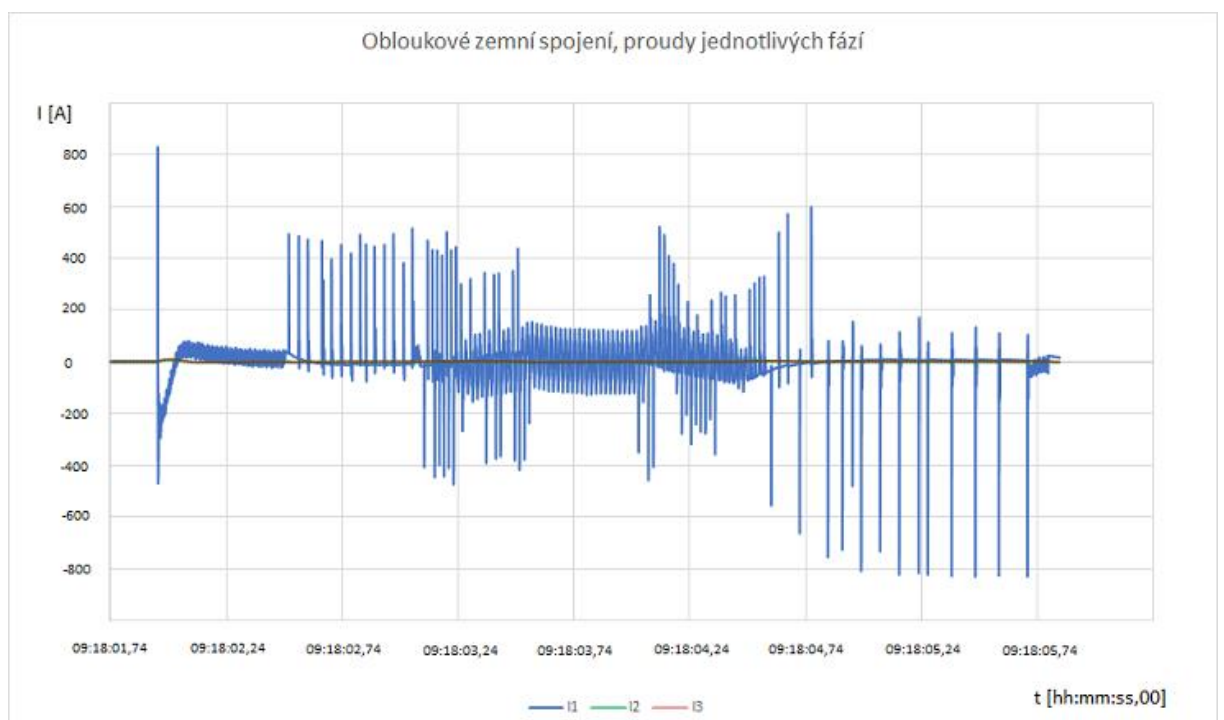
Průběh proudů jednotlivých fází a průběh netočivého proudu jsou na obr. 4.27, respektive 4.28. Je zde jasně patrné, že připnutí pomocného odporníku stabilizuje hoření oblouku a způsobí nárůst proudu v postižené fázi. Bez pomocného odporníku by ochrany nedokázaly vyhodnotit pulsní proud, způsobený neustálým zapalováním a zhasínáním oblouku. I v tomto případě došlo k správnému vyhodnocení postiženého vývodu.



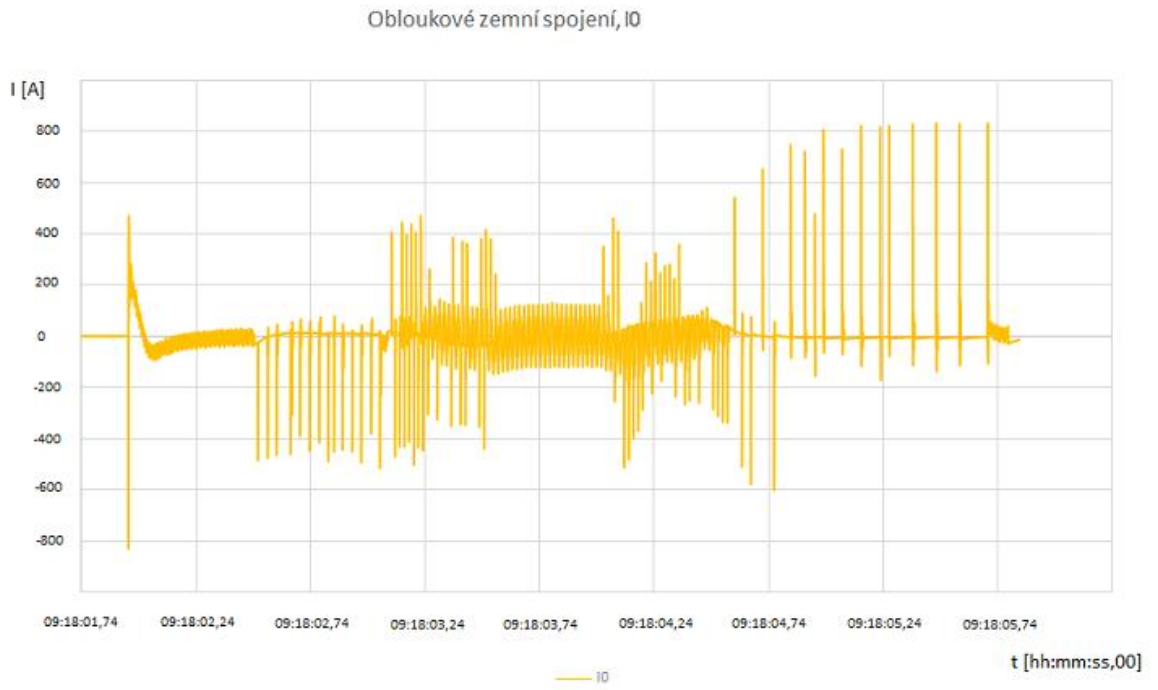
Obr. 4.25 – Průběh fázových napětí při obloukovém zemním spojení



Obr. 4.26 – Průběh uzlového (netočivého) napětí při obloukovém zemním spojení



Obr. 4.27 – Průběh proudů jednotlivými fázemi při obloukovém zemním spojení



Obr. 4.28– Průběh netočivého proudu při obloukovém zemním spojení

5 Závěr

Cílem práce bylo teoreticky popsat distribuční síť na území ČR od nn až po vvn, teoreticky popsat funkci pomocného odporníku používaného v sítích vn a ukázat i příklad z praxe, jak se provádí funkční zkoušky na takovém odporníku

5.1 Srovnání cílů práce s výsledky

1) Teoretický popis soustav používaných v elektroenergetice na území České republiky

Byl proveden podrobný rozbor všech soustav od nn až po vvn a to jak z topologického hlediska, tak z hlediska zapojení uzlu transformátoru. Byl proveden teoretický rozbor jednofázových poruch v sítích vn. Bylo ukázáno jak se tyto poruchy projevují v daných sítích.

2) Popis funkce pomocného odporníku

Zde bylo podrobně popsáno, jakou má odporník funkci a jak pomáhá při identifikaci postiženého vývodu při zemním spojení v kompenzované síti. Na závěr této pasáže byl proveden vypočtový model soustavy 22 kV se dvěma vývody se zemním spojením a připínáním pomocného odporníku. Na tomto modelu byla funkce pomocného odporníku jasně demonstrována.

3) Metody a postupy řešení při uvádění odporníku do provozu

Byly zde popsány funkční zkoušky, které probíhaly v rozvodně 110/22 kV. Po podrobném popisu rozvodny následoval popis programu těchto zkoušek a také popis měřených zařízení. Na konec je na grafech ukázáno, jak odporník ovlivňuje průběhy veličin při zemním spojení.

6 Literatura

- [1] Toman,P. a kol.: Provoz distribučních soustav. Praha, 2011, ISBN 978-80-01-04935-8
- [2] Přednáška ing. Cimbolince: Odporníkové sítě vn, www.powerwiki.cz/attach/PES/3-odpornikove_site_vn.pdf
- [3] Lucie Vanišová: Analýza příčných poruch v distribučních soustavách, bakalářská práce
- [4] Ing. David Topolánek: Lokalizace místa zemního spojení v kompenzované distribuční síti, dizertační práce

7 Přílohy

PROGRAM FUNKČNÍCH ZKOUŠEK		
	Rozvodna, objekt :	TR 110/22 kV Tuchlovice
	Zkoušené zařízení :	odporník R2 – SRA 2250/6 v zapojení s T102, TL2 a V7821
	Termín provozních zkoušek :	15.5.2014
	Vedoucí funkčních zkoušek :	František Ulman
	Provozovatel :	ČEZ Distribuční služby
	Výrobce zařízení :	EGE

Stručný popis předmětu zkoušek, důvodu kterým byly zkoušky vyvolány a cíle, kterého má být zkouškami dosaženo :

Předmět FZ: zkoušky odporníku R2 a automatik ARS - 01
Důvod FZ: rekonstrukce rozvodny – tlumívek a odporníků
Cíl FZ: prověřit funkčnost a spolehlivost zařízení po výměně odporníků a ochran a po úpravách ŘS

Postup funkčních zkoušek :

1) zapojit soustavu dle schémat (přílohy č. 1, 2,)
2) postupovat dle „ Programu funkčních zkoušek“ (příloha č. 3)
Přílohy (schéma a jiné):
č. 1: Jednopolové schéma zařízení při provádění zkoušek R2 – T102 – TL2 – V7821
č. 2: Program zkoušek
Program funkčních zkoušek sestavil: František Ulman
Program funkčních zkoušek předal: František Ulman Dne: 9.5.2014
Převzal - Řízení sítě, odd. Příprava provozu Střed: Vladimír Nezbeda

Personální obsazení funkčních zkoušek:

Zkušební technik výrobce: <i>MANATA</i>
Technik ČDS - odd. diagnostiky: p. Jiří Koreš,
Technik ČDS – oddělení ES:
Technik ČEZ Distribuce pro zkoušky ochran: ing. Vojtěch Bartoš <i>RS</i>
Technik ČEZ Distribuce – Poskytování sítě Střed:
Manipulant ve službě: <i>ŠUMA</i>

Výsledek funkčních zkoušek :

Zkoušená zařízení funkční, odporůk spíná správně při všech typech zemního spojení. Všechny zemní ochrany nasměrovány správně. Váš ČEZ

Závěr : Zařízení je - ~~není~~ *) schopno dalšího bezpečného a spolehlivého provozu.

*) nehodící se škrtně

Podpis vedoucího funkčních zkoušek :

Předání zařízení do dispečerského řízení

Za provozovatele: ULMAN Dne 15.3.2013 Hod. _____

Dispečer: KATIL

Příloha č.1 – Program funkčních zkoušek 1 [materiály firmy ČEZ]

Program zkoušek

1. Příprava zkoušek

a. Příprava měření na rozvodně - předpokládaná doba přípravy měření cca 2h

- vývod se zemní poruchou : Ve vývodu připojíme měřicí přístroj, měřené hodnoty napětí $3xU_{fázové} + U_0$, měření proudu $3xI_{fázový} + I_0$ (podle potřeby je možné sledovat i vedlejší signály jako je popud a působení ochran, zapnutí a vypnutí vypínače). Měřicí přístroj snímá proudy přes měřicí kleště s proudovým rozsahem 2 nebo 10 A, nebude rozpojován proudový obvod. Měření není na úrovni vysokého napětí.
- tlumivka a odporník SRA: Měření bude sledovat U_0 na tlumivce a proud sekundárním pomocným vinutím na úrovni 500 V (proud odporem). Měření není na úrovni vysokého napětí.

b. Příprava místa zemního spojení

- Odběr z vybraného vývodu pro simulaci zemního spojení se převede pomocí úsekových venkovních odpínačů na jiný vývod, vytvoří se úsek vedení bez odběrů napájený z vybraného vývodu pro simulaci zemního spojení. Vybraný úsek vedení je napájen pouze z rozvodny a na druhé konci je odpojen od sítě, není možné zpětné napájení vývodu.
- Vypne se vybraný vývod, vypne se vývodový odpojovač, vývod se uzemní a zajistí. Vývod bude připraven pro zahájení prací na vedení, provede se zabezpečení pracoviště v místě plánovaného zemního spojení.
- V určeném místě zemního spojení se na jeden z fázových vodičů připevní lano, kterým se daná fáze svádí na zem do místa zemního spojení (připravené zemní spojení). Potřebná délka lana musí být větší než je výška vedení nad terénem v místě zemního spojení. Svedení vodiče se provede z přeponky na portále v objektu rozvodny. Provede se ohrazení prostoru místa zemního spojení, připraví se hasící přístroje.
- Zemní spojení bude realizováno více způsoby:
 - kovové zemní spojení – svedený vodič bude připojen na zemní sondu
 - odporové zemní spojení- svedený vodič bude připojen přes odpor na zemní sondu případně bude svedený vodič volně položen na zem
 - přes jiskřiště – svedený vodič bude připojen na jednu stranu jiskřiště, druhá strana bude připojena na zemní sondu

c. Příprava vývodu pro zapnutí do zemní poruchy

- Bude sníženo nastavené zpoždění působení nadproudové a zkratové ochrany na vývodu se zemní poruchou. V případě, že by zemní spojení přešlo po následné poruše na jiném vývodu na dvojfázový zemní zkrat, vypne tedy pouze ochrana „našeho“ vývodu s umělým zemním spojením. Síť zůstane ve stavu s jednoduchým zemním spojením (vyvolaným pouze následnou poruchou). Nedojte tedy k okamžitému vypínání odběratelů.
- Odzemníme vývod, připravíme vývod pro zapnutí, zapneme vývodový odpojovač

2. Měření

- a) S dispečinkem se domluví zahájení zkoušky, oznámí se druh zemního spojení, zapínání do zemní poruchy bude provedeno místně
- b) Komunikace bude probíhat pomocí radiostanic (nebo pomocí mob. telefonu). Připraví se pracovníci v místě zemního spojení – oznámí vyklizení a zabezpečení prostoru zemního spojení.
- c) V místech měření bude aktivován záznam.
- d) Na povel vedoucího zkoušek bude zapnut vývod do zemní poruchy, podle potřeby bude doba zemního spojení cca 10 až 20 s.
- e) Vývod se vypne, na dispečink bude oznámeno ukončení jednoho testu, budou předány informace o časech zapnutí a vypnutí , případně provedena kontrola signalizace na dispečinku. Proveďte se vyhodnocení činnosti ochrany
- f) Podle potřeby se zkouška může opakovat (budeme pokračovat podle bodu 2.a) v oddíle Měření), nebo se změní způsob vytvoření zemního spojení (v tomto případě budeme pokračovat bodem 1.b) Příprava měření).

3. Demontáž měření

- a) Vypne se vybraný vývod, vypne se vývodový odpojovač, vývod se uzemní. Vývod bude připraven pro zahájení prací na vedení, provede se zabezpečení pracoviště v místě plánovaného zemního spojení.
- b) Odpojí se lano na svedení fázového vodiče do místa zemního spojení, demontuje se zemní sonda, jiskřiště, odpor a ohrazení místa zemního spojení
- c) Demontuje se měření (předpokládaná doba demontáže cca 1 hodina)
- d) Ukončí se práce na vývodu, připraví se vývod pro zapnutí
- e) Vedení z rozvodny se uvede do původního stavu před započítáním zkoušek.

Příloha č.2 – Program funkčních zkoušek 2 [material firmy ČEZ]