

Prevádzka vn distribučnej siete v závislosti od veľkosti kapacitných prúdov

¹Jozef HUMENÍK, ²Stanislav ILENIN, ³Ján ROMANÁK

^{1,2} Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

³ Východoslovenská distribučná, a.s., Mlynská 31, Košice, Slovenská republika

¹jozef.humenik@student.tuke.sk, ²stanislav.ilenin@tuke.sk, ³romanak_jan@vsdas.sk

Abstrakt — Tento článok sa zaoberá spracovaním problematiky prevádzky vn distribučných sietí. Hovorí o spôsoboch prevádzky jednotlivých druhoch elektrických sietí a spôsoboch uzemnenia uzla transformátora 110/22 kV. V článku sú taktiež obsiahnuté návrhy na zníženie kapacitných prúdov v distribučnej oblasti elektrickej stanice Kežmarok.

Kľúčové slová — kapacitný prúd, uzemňovacie sústavy, distribučné siete, kompenzácia

I. ÚVOD

Pri prevádzke elektrizačnej sústavy vznikajú v sieti prechodné javy, ktoré do značnej miery vplyvajú na spoľahlivý chod takejto sústavy. Z historického hľadiska sa dospelo k potrebe riešenia spoľahlivosti chodu elektrizačnej sústavy, ktorá vznikla v priebehu histórie na základe problému zlučovania malých elektrických sietí do väčších celkov až po zlučovanie týchto celkov do veľkých medzinárodných sústav. Aby bol zabezpečený spoľahlivý prevádzkový stav, tak je potrebné udržiavať v rovnováhe prevádzkové veličiny celého systému. Prípadnou nerovnováhou ustáleného stavu sústavy vzniká nestabilita systému a prechodné deje, ktoré je potrebné riešiť. Úlohou článku bolo spracovať problematiku prevádzky vysokonapäťovej distribučnej siete, problematiku uzemňovacej sústavy v jednotlivých častiach distribučnej siete a na základe zistených skutočností v závere vyvodiť odporúčania pre prax.

Existuje niekoľko spôsobov prevádzky neutrálneho bodu transformátora, ktoré platia pre vysokonapäťovú distribučnú sieť. Konkrétne je to prevádzka izolovaného uzla, kompenzovaného uzla, uzemneného cez impedanciu alebo priamo uzemneného do zeme. Spôsob prevádzkovania siete určuje správanie vysokonapäťovej distribučnej siete počas vzniku zemného spojenia. Počas prevádzkovania siete vznikajú mnohé poruchové stavy, ktoré je potrebné včas riešiť.

II. PROBLEMATIKA PREVÁDZKY VN DISTRIBUČNÝCH SIETI

A. Názvoslovie a rozdelenie elektrických sietí

Prijatím Slovenskej republiky za člena Európskej únie sa veľké množstvo technických noriem, technických nariadení a predpisov začalo preberať zo zahraničia a naše predpisy sa začali postupne zjednocovať s európskymi predpismi a normami. Vtedy začali občas vznikať problémy týkajúce sa správneho prekladu zahraničných pojmov a výrazov. Preto je veľmi dôležité dbať na správnosť používania odborných výrazov a termínov z dôvodu ich častého nezjednotenia. V odbornej praxi môžu z tohto dôvodu vznikať dohady a mylné úvahy týkajúce sa správnosti použitia takýchto výrazov. Tieto problémy môžu byť spôsobené napríklad nesprávnym prekladom zo zahraničnej literatúry, zámenou výrazov alebo jednoducho nedostatočnou odbornosťou prekladateľov vykonávajúcich preklad zahraničných odborných textov a noriem [1].

Elektrické rozvodné siete sa podľa spôsobu uzemnenia neutrálneho bodu transformátora rozdeľujú na:

- Sieť s uzemneným neutrálnym bodom, neživé časti elektrických zariadení sú spojené ochranným vodičom s uzemneným bodom siete (sieť TN).

- Sieť s uzemneným neutrálnym bodom, neživé časti elektrických zariadení sú spojené s uzemňovačmi elektricky nezávisle od uzemňovačov siete (sieť TT).
- Sieť s izolovaným neutrálnym bodom transformátora (sieť IT).
- Sieť s rezonančne uzemneným neutrálnym bodom transformátora [2].

B. Elektrické stanice

Elektrické stanice (ES) sa môžu definovať ako uzavreté rozvodné zariadenia s prístrojmi. Elektrické stanice tvoria uzol v elektrizačnej sústave. Ich úlohou je pripojovanie a odpojovanie transformátorov a vedení, ochrana pred preťažením, skratovými prúdmi a prepätiami. Ešte sa využívajú na meranie, ovládanie a reguláciu [3].

Elektrické stanice sa na základe vyššie uvedených skutočností delia podľa hlavnej funkcie na:

- transformovne,
- spínacie stanice,
- kompenzovne,
- meniarne.

C. Poruchy v elektrizačnej sústave

Prevádzkyschopný stav objektu je taký, kedy je objekt schopný plniť stanovené funkcie a dodržiavať sa hodnoty požadovaných veličín v dovolených hraniciach. V prípade, keď sa požadované veličiny vyskytnú mimo tohto intervalu nastáva ukončenie prevádzkyschopného stavu a na objekte nastáva porucha [4].

V elektrizačných sústavách môžu vznikať tieto typy porúch:

- 3-fázový skrat so zemou,
- 3-fázový skrat (medzifázový),
- 2-fázový skrat so zemou,
- 2-fázový skrat (medzifázový),
- 1-fázový skrat/zemné spojenie [5].

D. Najčastejšie príčiny vzniku porúch

Vznik porúch je najčastejšie zapríčinený:

- chybnou manipuláciou na elektrickom zariadení,
- cudzím zásahom do elektrického zariadenia, napr. pri stavebných prácach,
- nedostatočne nadimenzovaným zariadením na mechanické a tepelné namáhanie,
- mechanickým narušením prvkov na vedení, napr. poškodenie izolátorov,
- poškodením izolácie niektorých z prepätí alebo zostarnutím izolácie.

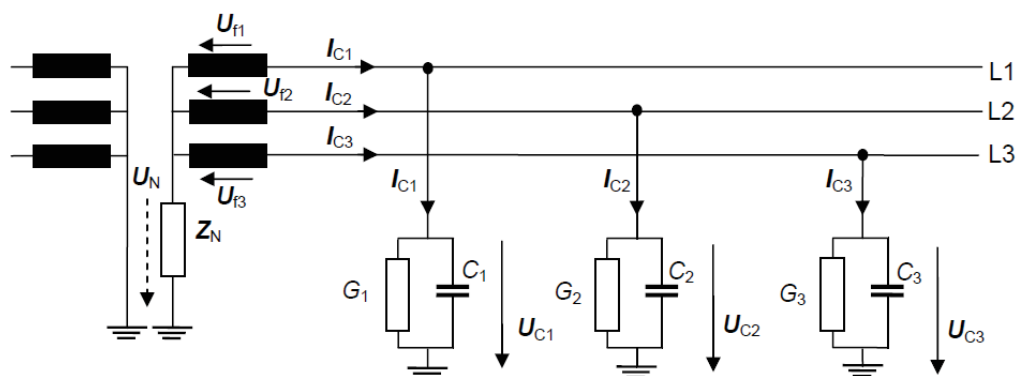
Častou príčinou sú aj nepriaznivé poveternostné podmienky, a to poškodenie stožiarov silným vetrom alebo námrazou. Vyšvihnutím a následným možným pretrhnutím vodiča pri náhlom odpadnutí námrazy.

III. PREVÁDZKA VN DISTRIBUČNÝCH SIETI

A. Prevádzka siete s izolovaným neutrálnym bodom transformátora

Tento spôsob prevádzkovania siete sa predovšetkým využíva vo výrobných podnikoch, v elektrárnach v časti vlastnej spotreby a v malej miere v zastavaných územiach miest a obcí. Tento druh siete nemá po celej dĺžke vedenia galvanické spojenie so zemou cez impedancie, s výnimkou jedného kusu prístrojového transformátora napätia v každej fáze. Veľkosť siete, typy odbočiek, kvalita a spracovanie izolácii majú vplyv na veľkosť kapacít krajných vodičov voči zemi a zvodové odpory. Vplyv na veľkosť siete má dĺžka a počet odbočiek. Typy odbočiek môžu byť káblové alebo vzdušné [6].

Na Obr. 1 je zobrazená všeobecná vysokonapäťová sieť s napájacím transformátorom 110/22 kV v zapojení Yy0. Za predpokladu, že $Z_N \rightarrow \infty$ sa táto sieť považuje za sieť s izolovaným uzlom transformátora. V bezporuchovom (ustálenom) stave sú parametre krajných vodičov všetkých troch fáz voči zemi zhruba bez veľkých zmien, z toho vyplýva, že kapacity $C_1 = C_2 = C_3$ a k nim patriace zvodové vodivosti (susceptancie) sú taktiež rovnaké. Ak je sieť napájaná ideálnym zdrojom, tak efektívne hodnoty napätí všetkých troch fáz sú rovnaké, sieť je v chode naprázdno. Kapacitné prúdy všetkých troch fáz voči zemi majú identickú veľkosť, a z dôvodu ich vzájomného fázového posunu o 120° sa ich konečný súčet rovná 0.



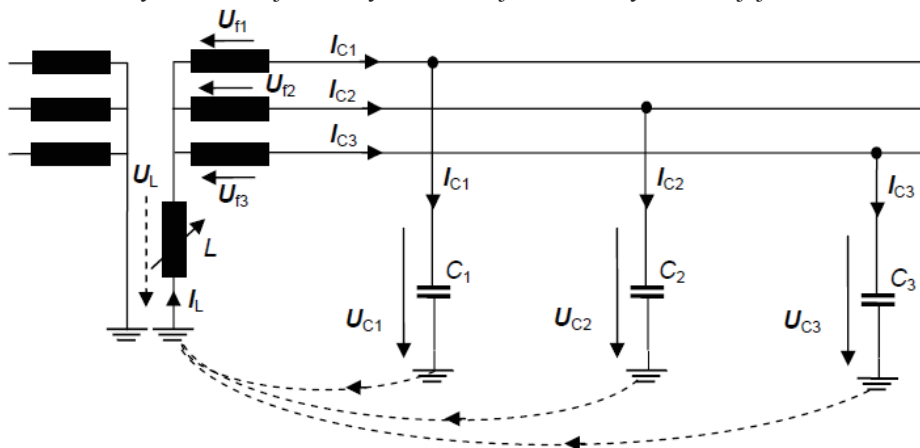
Obr. 1 Všeobecná schéma VN siete

Pri tomto type siete sa vzniknutý poruchový prúd taktiež nazýva aj kapacitný prúd siete voči zemi. Je označovaný I_{kap} a veľkosť tohto prúdu sa využíva na určenie rozmeru elektrickej siete. Na základe veľkosti poruchového (kapacitného) prúdu sa určuje spôsob prevádzky uzla transformátora. Zvyčajne sa v odbornej praxi veľkosť kapacitných prúdov voči zemi určuje na základe nasledovných parametrov, a to:

- dĺžka jednotlivých úsekov v sieti,
- merná veľkosť kapacitných prúdov [7].

B. Prevádzka siete s nepriamo uzemneným uzlom transformátora cez zhášaciu tlmivku

Tento druh elektrickej siete sa používa v sieťach kde prevládajú vzdušne vedenia. Pri tomto druhu siete sa zhášacia tlmivka umiestňuje medzi uzol transformátora a zem. Počas normálnej bezporuchovej (súmernej, ideálnej) prevádzky by teoretický hodnota napätia uzla transformátora voči zemi mala byť nulová a na tlmivke by sa mal namerat' nulový prúd. Ale v skutočnosti cez zhášaciu tlmivku tečie vyrovnávací (nabíjací) kapacitný prúd vedenia, ktorý vytvára slučky cez zem. Z praxe vyplynula potreba regulovateľnosti tlmivky pretože počas prevádzky siete sa mení konfigurácia siete (pripojovanie a odpojovanie vedení alebo aspoň ich časti dispečerom alebo pracovníkmi distribučnej spoločnosti), a tým sa mení nabíjací (kapacitný) prúd vedenia. V prípade siete, u ktorej sa nemení konfigurácia, tak nie je potrebná regulovateľná tlmivka. Tlmivka sa môže regulovať ručne alebo pomocou automatiky. Reguláciou zmeny vzduchovej medzery železného jadra tlmivky sa mení jej indukčnosť.



Obr. 3.2 Sieť s nepriamo uzemneným uzlom cez zhášaciu tlmivku (ideálny prípad)

V prípade vzniku zemného spojenia na niektorej z troch fáz nastáva nesymetria napätí (fázové hodnoty) voči zemi a prúd tečúci tlmivkou zväčší svoju hodnotu. Konečná veľkosť prúdu tečúceho miestom vzniku poruchy obsahuje časť prúdu, ktorá sa určuje rozdielom indukčného prúdu tlmivky a kapacitného prúdu siete. Túto časť sa v praxi snažíme odstrániť čo najpresnejším nastavením (vyladením) zhášačej tlmivky.

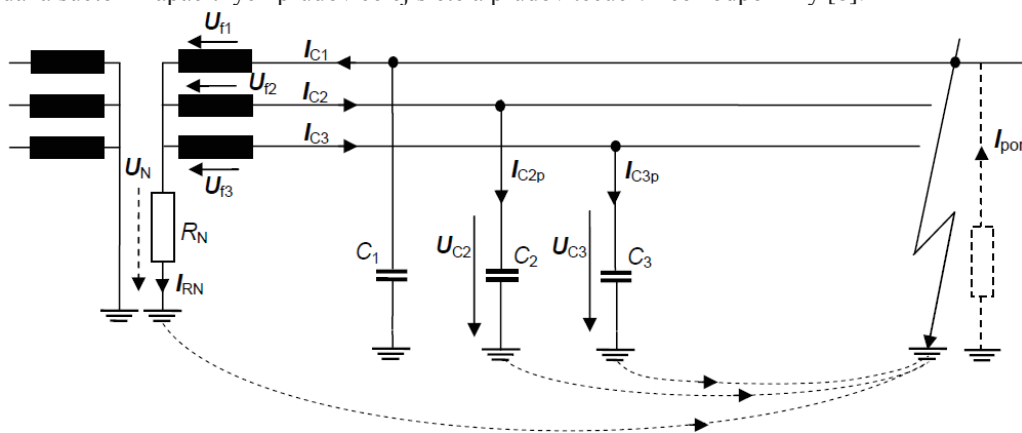
V prípade vzniku poruchy pri dokonalej (ideálnej) kompenzácii netečie miestom vzniku poruchy žiaden poruchový prúd, a z toho dôvodu nevznikne oblúk. K zhasnutiu oblúka dôjde aj v prípade, keď zvyškový prúd klesne pod hodnotu 5 A, pretože elektrické oblúky vznikajú pri hodnote prúdu 5 – 15 A. Reálne miestom poruchy preteká tzv. zvyškový prúd skladajúci sa z viacerých častí, a to:

- nevykompenzovaný prúd spôsobený nedokonalým vyladením tlmivky,
- nevykompenzovaná činná zložka prúdu spôsobená zvodmi vedenia,
- činný prúd zhášacej tlmivky,
- prúdy vyšších harmonických.

Norma STN 33 3070 hovorí, že hraničná hodnota zvyškového prúdu je 60 A. Ináč povedané je to zvyškový prúd pretekajúci tlmivkou po vykonaní regulácie (vyladenia). Hraničná hodnota celkového kapacitného prúdu 100 A (hodnota platná pre celú sieť) je určená pre vzdušné vedenia. Hraničná hodnota o veľkosti 300 A je platná pre kombinované siete (kombinácia káblových a vzdušných vedení). Pre siete s viac ako 80 % obsahom káblových vedení je stanovená hodnota do 400 A vrátane. Pre čisto káblové siete je stanovená hodnota 450 A [7].

C. Prevádzka siete s nepriamo uzemneným uzlom transformátora cez odporník

Dôvodom používania siete prevádzkovaných s nepriamo uzemneným uzlom transformátora cez odporník je predídanie problémom s nalaďením tlmivky. Týka sa to rozľahlých káblových sietí a kombinovaných sietí s prevažujúcim počtom káblových vývodov. Odporník v takýchto sieťach predstavuje činný odpor. V praxi pri vzniku zemného spojenia to znamená, že napätie v poškodenej fáze sa zníži a napätie v uzle transformátora bude skoro rovnaké s fázovou hodnotou napätia. V mieste vzniku poruchy (zemného spojenia) tečie prúd, ktorého veľkosť je daná súčtom kapacitných prúdov celej siete a prúdov tečúcich cez odporníky [8].



Obr. 3.3 Zemné spojenie v sieti s neúčinné uzemneným uzlom cez odporník

Veľkosť (rozmer) siete má priamy vplyv na hodnotu poruchového prúdu, ďalej platí, že so zväčšujúcou sa vzdialenosťou miesta vzniku poruchy od uzla transformátora klesá veľkosť poruchového prúdu. Veľké množstvo porúch v sieťach s káblovými rozvodmi je tzv. trvalého charakteru. Znamená to, že počas poruchy sa neprejavuje samozhášanie oblúka pri prechode priebehu nulou, tým pádom nemôže klesnúť hodnota poruchového prúdu s následným samouhasením elektrického oblúka. Presne opačný prípad je typický pre poruchy u vzdušných vedení, kde pri vzniku poruchy sprevádzanej oblúkom dokáže automatika opätovného zapínania v beznapäťových miestach, takýto oblúk uhasiť. Automatiky opätovného zapínania sa v praxi nevyužívajú pri prevádzke káblových vedení [6].

IV. NÁVRHY NA OBMEDZENIE KAPACITNÝCH PRÚDOV

V tejto kapitole sa nachádzajú návrhy, ktoré môžu poslúžiť ku kompenzácii zemných kapacitných prúdov na existujúcich distribučných sieťach, ale zohľadňujú sa aj plány rozvoja distribučných sietí v oblasti Vysokých Tatier. V tejto oblasti sa plánuje rozvoj distribučnej siete, hlavne káblovej siete.

Prvý návrh rieši kompenzáciu kapacitných prúdov v elektrickej stanici Kežmarok v prípade výstavby kombinovaného vedenia. Jedná sa o vedenie s obsahom káblových vedení menším než 80 %, a na kompenzáciu kapacitných zemných prúdov sa odporúča použiť zhášaciu (tzv. Petersenovu) tlmivku typu ASR 4.0 s menovitým prúdom $I_n = 37,6 - 376$ A a menovitým výkonom $S_N = 5000$ kVA. Túto zhášaciu tlmivku sa navrhuje pripojiť do uzla 110/22 kV nového transformátora T103 pre ktorý je vytvorená stavebná rezerva v elektrickej stanici Kežmarok. Tento návrh je kompromisom a optimálnym riešením medzi čisto vzdušným a čisto káblovým vedením.

Druhý návrh spočíva v rozdelení prípojnic na dve časti v elektrickej stanici Kežmarok. Prvá prípojnica bude napájaná z prvého transformátora s označením T101 s inštalovanými 2 tlmivkami v uzle siete, do ktorého budú zaústené všetky vzdušné vedenia. Druhá prípojnica

bude napájaná transformátorom s označením T102 s novo inštalovaným odporníkom, kde budú zaústené všetky káblové vedenie.

Tretí návrh sa zameriava na zmenu zapojenia siete, ktorá spočíva v presune vedení alebo zmene napájacej stanice niektorých vedení v súčasnosti napájaných z elektrickej stanice Kežmarok. Alternatívnou elektrickou stanicou pre napájanie týchto vedení je elektrická stanica Poprad 1, resp. Stará Ľubovňa. Realizáciou tohto návrhu sa docieli odľahčenie toku kapacitných prúdov cez tlmivky inštalované v elektrickej stanici Kežmarok.

Štvrtý návrh je zameraný na obmedzenie zemných kapacitných prúdov priamo u odberateľa elektrickej energie. Týka sa to väčších odberateľov, napr. malých výrobných podnikov v plánovanom priemyselnom parku v blízkosti elektrickej stanice Kežmarok alebo iných podnikov v blízkosti elektrickej stanice, a to: Mraziarne Kežmarok, s.r.o., Tatranská mliekareň a.s. alebo Tatrafan s.r.o..

S problematikou kompenzácie kapacitných prúdov je úzko spätá aj problematika uzemňovania elektrických zariadení. Hodnoty uzemnení závisia od veľkosti dotykového napätia ale aj od veľkosti prúdov pri vzniku zemných spojení, kde veľkosti prúdov zemných spojení závisia od spôsobu prevádzky elektrickej siete. V oblasti Tatier je problematické dosiahnuť požadované hodnoty uzemnenia, nakoľko sa jedná o kamenistý terén. Prípustná hodnota uzemnenia podľa typu siete a druhu uzemnenia je $4,244 \Omega$ a merná rezistivita pôdy je v tejto oblasti asi $200 \Omega\text{m}$. V prípade výstavby uzemnení podľa hodnôt rezistivity pôdy v oblastiach s náročným dosiahnutím požadovaných hodnôt sa odporúča použiť ekvipotenciálne kruhy, ktoré sa javia ako najviac vhodné [2].

V. ZÁVER A ODPORÚČANIA PRE PRAX

V prípade realizácie všetkých týchto návrhov, niektorého z návrhov, príp. ich kombináciou dôjde k riešeniu problémov spätých s veľkosťou kapacitných prúdov v elektrickej stanici Kežmarok a zlepšeniu samotnej prevádzky elektrickej stanice Kežmarok, ako aj distribučného územia, ktoré je v súčasnej dobe napájané z elektrickej stanice Kežmarok. Realizáciou týchto návrhov sa prispeje aj k rozvoju danej oblasti, čo bude mať z ekonomického hľadiska pozitívny vplyv na príjmy obyvateľov tejto oblasti. Taktiež to prispeje k postupnej kabelizácii distribučnej oblasti napájanej z elektrickej stanice Kežmarok.

VI. POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0372/18.

LITERATÚRA

- [1] MERAŤ, Ján: Elektrotechnická spôsobilosť pre elektrikárov. Tretie aktualizované. Trenčín: LIGHTING – služby elektro, 2009. 406 s. ISBN 978-80-968509-6-9
- [2] STN 33 2000-5-54:2012, Elektrické inštalácie nízkeho napätia, Časť 5-54: Výber a stavba elektrických zariadení, Uzemňovacie systémy a ochranné vodiče.
- [3] STN EN 50522:2011, Uzemňovanie silnoprúdových inštalácií na striedavé napätie prevyšujúce 1 kV.
- [4] ILENIN, Stanislav; VARGA, Ladislav: Prenos a rozvod elektrickej energie 2012. Prvé vydanie. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2012. 120 s. ISBN 978-80-553-1177-7
- [5] HUMENÍK, Jozef: Uzemnenie distribučných zariadení: Bakalárska práca. Košice: TU FEI, 2016. 53 s.
- [6] BUKVIŠ, M.: Kapacitné prúdy v sieťach vn a zemné ochrany: Diplomová práca. Žilina: ŽU v Žiline, Elektrotechnická fakulta, 2002.
- [7] STN 33 3070: 1982, Kompenzácia kapacitných zemných prúdov v sieťach vn.
- [8] HORÁK, Martin: Systémy chránenia a automatizácie distribučných elektrických sietí 22 kV. Prvé vydanie. Banská Bystrica: PRO, s.r.o., 2011. 128 s. ISBN 978-80-89057-37-5