Prúdy v ochrannom vodiči a ich vplyv na bezpečnosť a spoľahlivosť prevádzky

Doc. Ing. Ivan BOJNA, PhD., STU FEI v Bratislave

ÚVOD

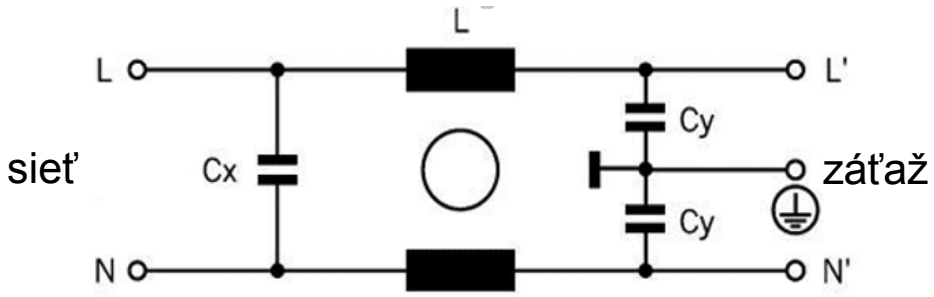
Problematike prúdov v ochrannom vodiči v normálnom prevádzkovom stave sa venuje zvýšená pozornosť predovšetkým v poslednom období. Ide najmä o príčiny vzniku týchto prúdov a ich nepriaznivé dôsledky na prevádzku. Tejto problematike sa venujú vo zvýšenej miere aj súčasné technické normy. V tomto príspevku je zhrnutá problematika prúdov v ochrannom vodiči PE v normálnej prevádzke z hľadiska požiadaviek technických noriem, ale aj samotnej elektrotechnickej praxe, predovšetkým v u nás najčastejšie používanej sieti TN.

V elektrických rozvodoch TN-C budovaných a používaných u nás v minulosti sa otázka prúdov v ochrannom vodiči riešila len z hľadiska bezpečnosti osôb a majetku, pričom išlo najmä o prúdy pri poruche. V posledných rokoch však čoraz výraznejšie a naliehavejšie vystupuje do popredia aj problematika elektromagnetickej kompatibility (EMC), s čím súvisí nielen bezpečná, ale aj spoľahlivá prevádzka elektrických zariadení. V niektorých oblastiach priemyslu, v zariadeniach komunikačnej či leteckej techniky, v budovách so zariadeniami rozhlasového a televízneho vysielania atď. sa v súčasnosti vyžadujú z hľadiska EMC špeciálne riešenia sieťových rozvodov a systémov. Otázka EMC však čoraz viac získava na dôležitosti už aj v bežných budovách občianskej vybavenosti a v bytových domoch. Túto problematiku preto reflektujú aj technické normy vydávané v poslednom období.

Problematika prúdov v ochrannom vodiči počas normálnej prevádzky sa u nás týka predovšetkým sústavy TN-S, resp. TN-C-S, teda inštalácií, resp. tých častí inštalácie kde je funkcia ochranného a pracovného vodiča rozdelená na vodiče PE a N. V sústave TN-C je totiž prúd vo vodiči PEN (resp. jeho podstatná časť) zároveň pracovným prúdom. Aj to je jeden z viacerých dôvodov, prečo je dnes sústava TN-C považovaná za nevýhodnú a v podstate už len „dožíva“ v existujúcich starších rozvodoch, a prečo v sústave TN-C ani nemá zmysel hovoriť o zvýšenom prúde v ochrannom vodiči.

1 VZNIK PRÚDOV OCHRANNÉHO VODIČA

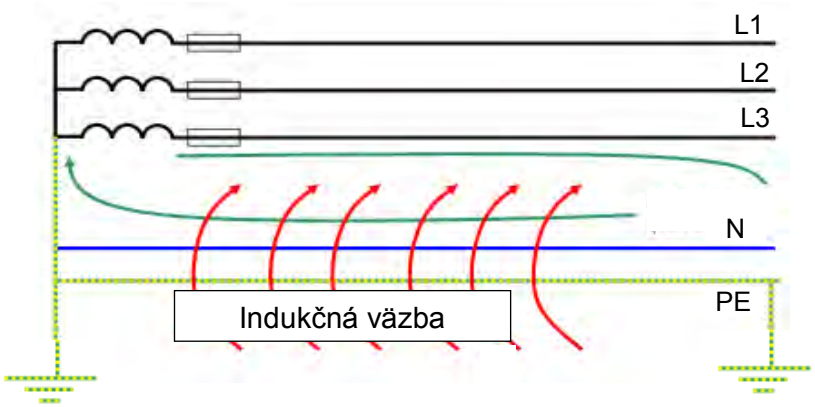
Prúd ochranného vodiča je unikajúci prúd spôsobený najmä nedokonalou izoláciou, keďže izolačný odpor vodičov a zariadení nie je nekonečne veľký. Prúd ochranného vodiča však môže vzniknúť aj v dôsledku iných príčin, napríklad použitím sieťového filtra v zariadeniach informačných technológií a mnohých iných zariadení, ako sú kopírky, zariadenia s elektronickou reguláciou (regulácia intenzity osvetlenia, výkonu vyhrievacích telies, otáčok elektromotorov atď.), obrázok 1. Obzvlášť významné je spätné pôsobenie zdrojov neprerušeného napájania (UPS – Uninterruptible Power Supply), meničov frekvencie a podobných zariadení používaných vo výkonovej oblasti.



Obr. 1 Sieťový filter obsahujúci sériové tlmivky a paralelné kondenzátory

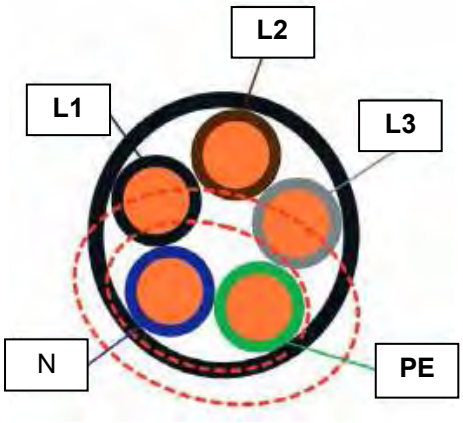
V praxi, ale aj v normalizácii sa pomerne dlho ignoroval nárast unikajúcich prúdov tečúcich sieťovými odrušovacími filtrami. Tieto prúdy často nepozostávajú len zo striedavých prúdov s frekvenciou 50 Hz, ale obsahujú aj vyššie harmonické.

Moderná výkonová elektronika so stále rýchlejšími taktovacími frekvenciami, krátkymi spínacími časmi a signálmi s veľkou strmosťou nárastu generuje unikajúce prúdy, ktorých široké frekvenčné pásma zasahujú niekedy až do frekvenčnej oblasti rádovo 10^6 Hz. V dôsledku toho sa zvyšuje aj transformačné pôsobenie, čiže vplyv indukčnej väzby (obrázok 2).



Obr. 2 Indukčná väzba medzi vodičmi

Indukčná väzba najmä pri prúdoch obsahujúcich vyššie harmonické sa môže nepriaznivo prejaviť nielen v zariadeniach, ale aj medzi súbežne vedenými vodičmi N a PE napríklad v prípojnicových rozvodoch alebo v kábloch (obrázok 3).



Obr. 3 Nevýhodné usporiadanie vodičov PE a N v kábli z hľadiska EMC

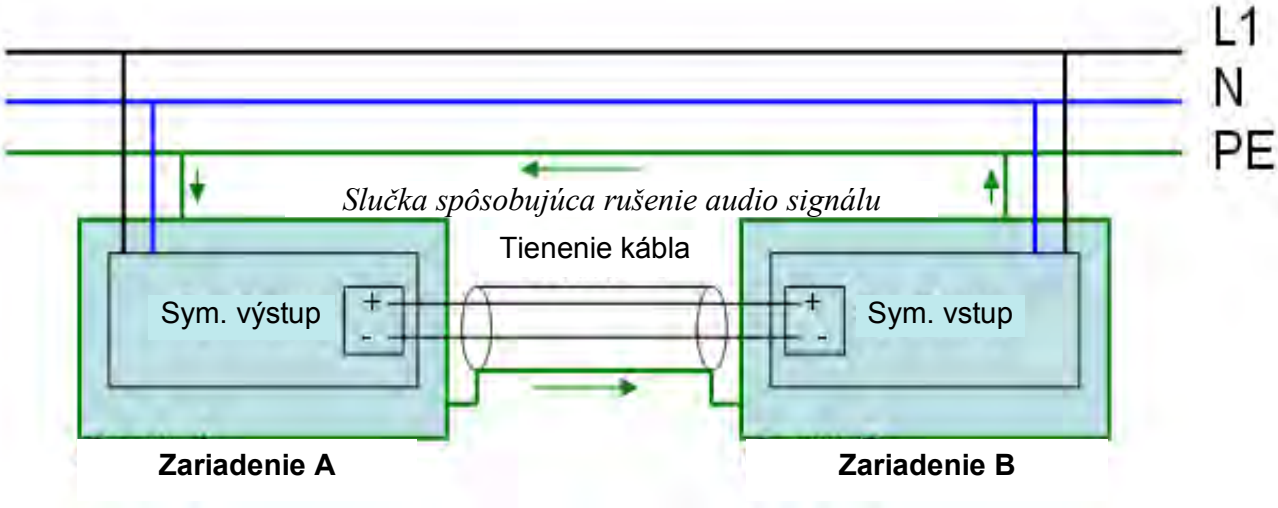
Takto indukované prúdy ochranného vodiča nemajú pôvod v zvodových prúdoch, ale sú dôsledkom elektromagnetickej indukcie.

2 NEPRIAZNIVÉ DÔSLEDKY PRÚDU OCHRANNÉHO VODIČA

Prúd ochranného vodiča môže mať viaceré nepriaznivé dôsledky na prevádzku. Sú to najmä tieto:

- **Nežiaduce vypnutie prúdových chráničov.** Ide o pomerne častý prípad, ku ktorému dochádza najmä vtedy, ak sú v obvode chránenom jedným prúdovým chráničom zapojené viaceré zariadenia s veľkým prúdom ochranného vodiča. Napríklad pri určitých druhoch zariadení je dovolený menovitý prúd ochranného vodiča až 10 mA, a navyše pri niektorých typoch spotrebičov dochádza vplyvom starnutia izolácie k významnému nárastu unikajúcich prúdov. Už dva či tri takéto spotrebiče môžu spôsobovať nežiaduce vypnutie prúdového chrániča s menovitým vypínacím prúdom 30 mA (jeho vypínací prúd je v rozmedzí 15 mA až 30 mA). K problematickým spotrebičom patria najmä tepelné spotrebiče, ako napríklad ohrievače vody, práčky a pod. Obvykle vo vode umiestnené vykurovacie telesá v dôsledku požiadavky na dobrú tepelnú vodivosť často nedosahujú izolačný odpor rádovo megaohmy.
- **Nesprávna činnosť alebo rušenie citlivých elektronických zariadení.** Ako príklad možno uviesť nežiaduce zvuky („brum“) audio zariadení. Slučka spôsobujúca brum (nazýva sa aj zemná slučka) vznikne napríklad vtedy, ak dve audio zariadenia sú prepojené audio káblom a prostredníctvom vodiča PE sú spojené so zemou. Zariadenia sú takto vzájomne spojené dvoma cestami: vodičom PE a tienením prepojovacieho kábla, ktoré je spojené s kostrou oboch zariadení (obrázok 4). Ak je medzi oboma zariadeniami rozdiel potenciálov v dôsledku prúdu ochranného vodiča, tečie

vyrovnávací prúd cez tienenie kábla od jedného zariadenia k druhému (impedancia ochranného vodiča nie je nulová, preto pri prechode prúdu vzniká na vodiči úbytok napätia, ktorý je zdrojom vyrovnávacieho prúdu). Ak sa takýto vyrovnávací prúd dostane do dráhy signálu môže spôsobovať rušenie audio signálu.



Obr. 4 Vyrovnávací prúd cez tienenie kábla

- **Riziko zásahu elektrickým prúdom pri prerušení ochranného vodiča.** Pri prerušení ochranného vodiča s veľkým prúdom môže dôjsť k zvýšeniu jeho potenciálu, a tým aj potenciálu neživých častí zariadenia triedy ochrany I. Riziko sa pritom vzťahuje na všetky zariadenia triedy ochrany I v danom obvode, bez ohľadu na to, či majú veľký prúd ochranného vodiča alebo nie.

Spotrebiče so zväčšenými prúdmi ochranného vodiča by mali byť, pokiaľ možno, oddelené a začlenené do vlastných prúdových obvodov. Zároveň by mala byť „vylepšená“ dráha ochranného vodiča PE vhodnými oddelenými prívodmi a prípadne aj zväčšenými prierezmi. Tým sa zmenší odpor ochranného vodiča, zmenšia sa úbytky napätia na ochrannom vodiči a zníži sa potenciál ochranného vodiča.

3 OPATRENIA NA ZABRÁNENIE ALEBO ZNÍŽENIE PRÚDU OCHRANNÝCH VODIČOV

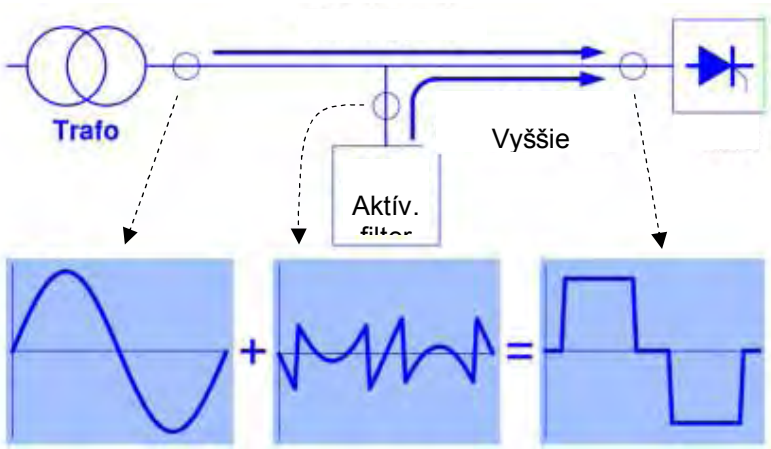
Opatrenia na zabránenie alebo zníženie prúdu ochranných vodičov majú za cieľ zmenšiť uvedené nepriaznivé dôsledky. Vo všeobecnosti ide najmä o tieto opatrenia:

- **Obmedzenie vyšších harmonických vo vodičoch použitím spotrebičov s malým rušením**

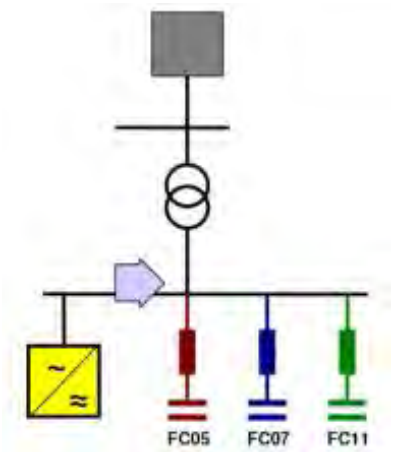
Najlepšou ochranou pred vyššími harmonickými prúdmi, resp. napätiami je zabrániť ich generovaniu. Pri malých zdrojoch ako je napr. výpočtová technika to nie je celkom možné, ale pri výkonných zariadeniach ako sú napr. frekvenčné meniče je vždy možnosť inštalovať zariadenie s filtrom, ktorý bráni prenikaniu vyšších harmonických do siete. Sú

tiež dostupné zariadenia s riadenými vstupnými obvodmi, ktoré minimalizujú generovanie vyšších harmonických. Pri jednoduchších zariadeniach je často postačujúca inštalácia vhodnej filtračnej tlmivky v sérii so zariadením. Pre minimalizáciu vplyvu vyšších harmonických je tiež podstatná „tvrdosť“ napájacieho zdroja – vyšší skratový prúd znamená menšiu impedanciu, a tým generované nižšie napätie.

Aktívny filter je komplikované elektronické zariadenie, ktorého výkonovou jednotkou je frekvenčný menič, ktorý do siete generuje vyššie harmonické prúdy v protifáze s tými, ktoré generuje zariadenie. Výsledkom je, že priebeh prúdu zo siete je vyhladený (obrázok č. 5).



Obr. 5 Princíp činnosti aktívneho filtra



Obr. 6 Schematický náčrt

Aktívny filter je pripojený k sieti paralelne, nie je ho preto možné preťažiť. Aktívny filter ponúka aj možnosť kompenzácie jalového výkonu a tiež veľmi zaujímavú vlastnosť, ktorou je vyvažovanie výkonu v jednotlivých fázových vodičoch. Inštalácia aktívneho filtra nevyžaduje detailnú analýzu elektrickej siete, regulácia inštalovaná vo filtri umožňuje detailné nastavenie všetkých potrebných parametrov, rovnako aj požadované úrovne harmonických prúdov.

Pasívny filter pozostáva z jedného, alebo viacerých filtračných stupňov a filtračnej tlmivky. Každý filtračný stupeň predstavuje určitú impedanciu, a tým zabezpečuje „odsávanie“ konkrétnej harmonickej zložky prúdu (obrázok č. 6).

- **Používanie silových vedení s malým transformačným účinkom na súbežne vedený vodič PE**

Indukčnú väzbu možno zmenšiť väčšími vzdialenosťami medzi vodičmi PE a N, napríklad vhodným usporiadaním kábla. Niektorí výrobcovia káblov vyvinuli špeciálne silové káble, ktoré obmedzujú magnetické pole.

- **Používanie krútených vedení**

Ak sa dvoma súbežne vedenými vodičmi prenáša striedavý signál, vyžarujú do okolia elektromagnetické vlny. Miera vyžarovania závisí od mnohých faktorov (frekvencia signálu, fyzické usporiadanie súbežných vodičov atď.). Pri dnes používaných prenosových rýchlostiach (napr. v počítačových sieťach) vyžarovanie nie je zanedbateľné. Možno ho výrazne znížiť tým, že sa súbežne vedené vodiče pravidelne skrútia. Vyžarovanie sa tým síce neodstráni úplne, ale zníži sa na prijateľnú mieru natoľko, že neovplyvňuje iné zariadenia alebo prenosové cesty. Čím je väčší počet skrútení na jednotku dĺžky, tým je kábel kvalitnejší (obrázok 7). Krútené vodiče sa najčastejšie používajú v počítačových sieťach, telefónnej technike a pri diaľkovom prenose dát, ale napríklad aj ako prístrojové káble v určitých zónach jadrových elektrární.

Obr. 7 Krútený kábel

- **Nepoužívanie prípojnicového systému s vodičmi uloženými blízko seba**

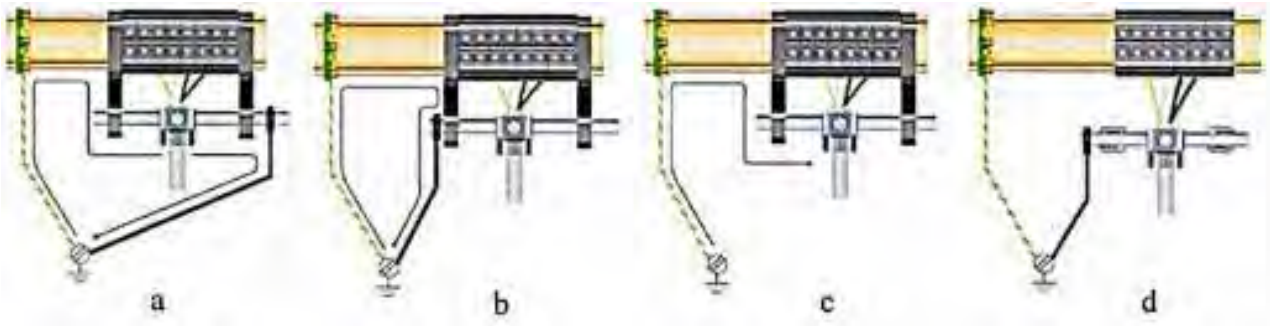
Výrobcovia prípojnicových systémov v rozvodných zariadeniach vyvinuli špeciálne systémy, v ktorých je vodič N priestorovo oddelený od vodiča PE, teda je usporiadaný spoločne s vodičmi L1, L2 a L3. Toto usporiadanie sa odlišuje od obvyklého spoločného umiestnenia vodičov N a PE, napr. v dolnej časti oceľoplechových rozvodných skríň.

- **Používanie hviezdicovo usporiadanej uzemňovacej sústavy (uzemnenie všetkých častí v jednom bode)**

Na rozdiel od dávnejšej minulosti (napríklad podľa bývalej STN 34 1010), keď sa odporúčalo uzemnenie ochranného vodiča na čo najväčšom počte miest, a to aj v budovách, v súčasnosti sa preferuje z hľadiska EMC jedno centrálne uzemnenie (ochranné + funkčné). Príslušné obsiahle požiadavky sú dnes obsiahnuté vo viacerých technických normách.

- **Zamedzenie vytvárania vodivých slučiek, v ktorých sa môžu indukovať rušivé prúdy**

Zamedzenie vodivých slučiek prispieva k bezporuchovej prevádzke zariadení. Jednou zo základných požiadaviek je zamedzenie vytvárania tzv. zemných slučiek pri uzemňovaní rôznych častí rozvodu a zariadení. Napriek tomu sa vari proti žiadnej inej požiadavke neprehrešuje tak často, ako práve proti tejto. Možno to ukázať na jednoduchom príklade.



Obr. 8 Rôzne spôsoby pripojenia vodičov k uzemneniu

Ako príklad možno uviesť zapojenia na obrázku 8. Na obrázkoch 8a, 8b je principiálne správna snaha o hviezdicový tvar uzemnenia (uzemnenie v jednom bode) – napriek tomu môže dôjsť k vytvoreniu zemnej slučky, a tým k rušeniu. Na obr. 8c je príklad uzemnenia tieneného kábla prostredníctvom prípojnice, štruktúra tohto uzemnenia je v podstate správna. Optimálne uzemnenie predstavuje obr. 8d. Pri takejto hviezdicovej štruktúre nevzniká zemná slučka, nemôžu sa indukovať poruchové prúdy, čím je zabezpečená bezporuchová prevádzka zariadení.

- **Izolované uloženie vodivých častí (napr. krytov) vyžadujúcich spojenie s uzemňovacou sústavou**

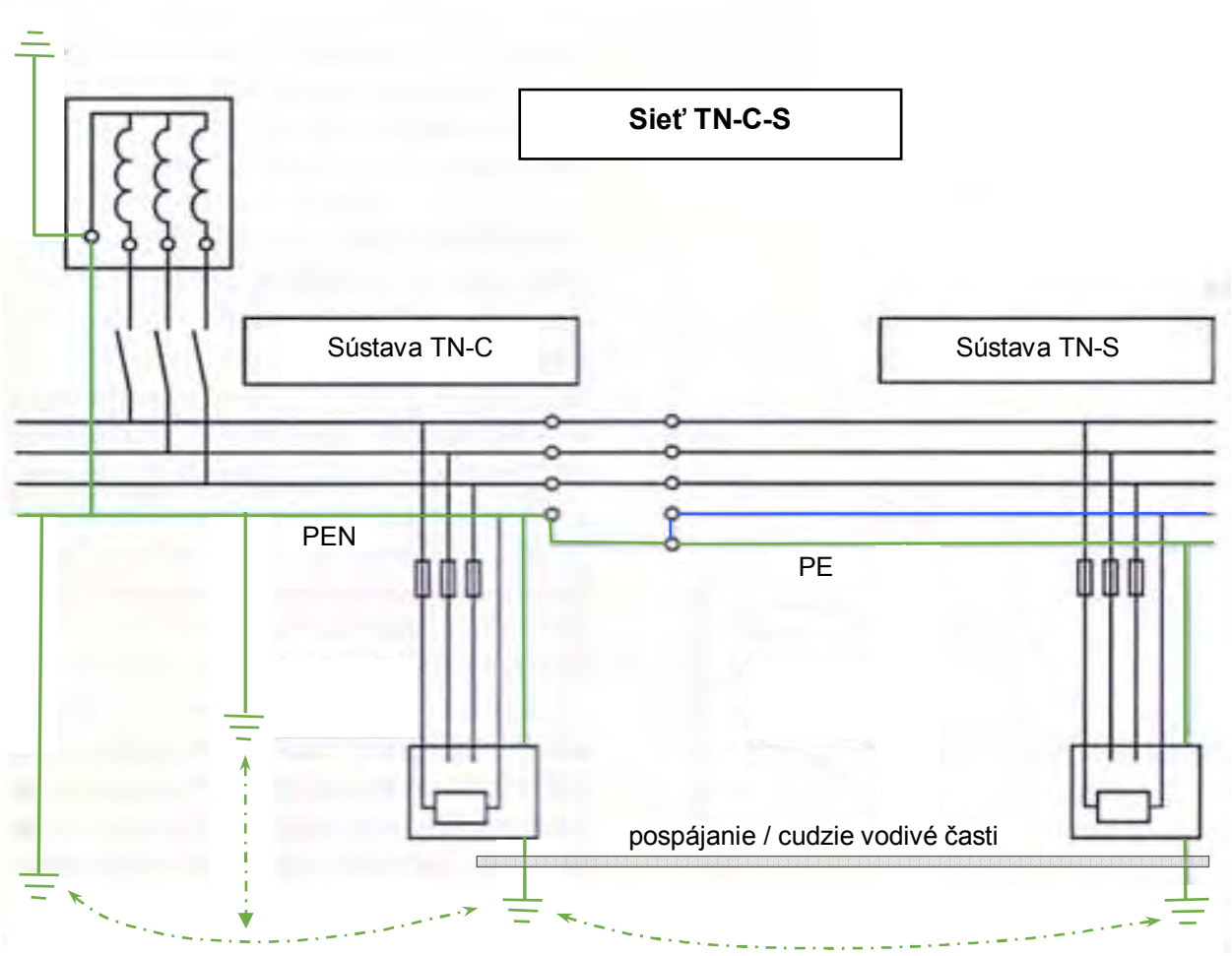
Táto požiadavka je splnená napríklad v zapojení na obrázku 8d. Spojenie s uzemňovacou sústavou sa dosiahne spomínaným hviezdicovým uzemnením jednotlivých vodivých častí.

- **Trvalá kontrola stavu EMC**

Na takúto kontrolu sa využívajú zariadenia monitorujúce rozdielové prúdy (zariadenia RCM – residual current monitoring). Monitorovacie zariadenia umožňujú odhaliť nežiaduce „zabudnuté“ alebo náhodne vzniknuté spojenia (napr. medzi vodičmi PE a FE alebo PE a N) spôsobené napríklad stavebnými úpravami, a tým umožnia odhaliť a lokalizovať unikajúce prúdy.

4 PRÚDY OCHRANNÝCH VODIČOV V REKONŠTRUOVANÝCH SIEŤACH TN-C- S

Jedným z najdôležitejších predpokladov na obmedzenie nežiaducich rušivých prúdov vrátane prúdu ochranných vodičov je správna sieťová sústava. Špecifickou a v súčasnosti pomerne často sa vyskytujúcou sieťou TN je sieť TN-C-S, ktorá vznikne obvykle pri čiastočnej úprave a rozširovaní existujúcej staršej siete TN-C. Pri takejto úprave sa od miesta rozdelenia vodiča PEN vedú samostatné vodiče PE a N. Pri tejto päťvodičovej sústave nemožno hovoriť o čistej sústave TN-S (pozri obrázok 9).



Obr. 9 – Sieť TN-C-S Vodič PE v časti TN-S je prostredníctvom pospájania, resp. uzemnených cudzích vodivých častí spojený s vodičom PEN

Vodič PEN, ktorý je súčasťou pôvodnej siete TN-C, je spojený s vodičom PE v novo zhotovenej päťvodičovej sústave a za určitých okolností aj s ochranným pospájaním a ďalšími vodivými časťami v budove spojenými so zemou (napríklad kovové konštrukčné časti budovy, či rôzne druhy potrubí). V dôsledku toho vznikne vodivé spojenie k vodiču PEN cez hlavnú ochrannú prípojnicu v starej štvorvodičovej časti, čo však zodpovedá sústave TN-C. Pri takýchto rozvodoch nemožno hovoriť len o prúdoch ochranného vodiča, pretože paralelnými cestami a slučkami vo forme blúdivých prúdov časti pracovných prúdov vodiča PEN tečú zároveň aj v zdanlivo oddelenom vodičom PE a ochrannom

pospájaní. Skutočný prúd vodičom PE možno merať len priamo na pripojovacom vedení elektrických zariadení, ak sú tieto zariadenia izolované od ostatných vodivých častí budovy. To však v už existujúcich rozvodoch spravidla vyžaduje väčšie náklady.

Treba však pripomenúť a upozorniť, že v dôsledku rôznych ďalších vpredu uvedených nepriaznivých javov ani „čistá“ TN-S sieť neznamená automaticky eliminovanie prúdu ochranných vodičov.

5 USTANOVENIA TECHNICKÝCH NORIEM NA PRÚDY OCHRANNÉHO VODIČA

Požiadavky a zásady na obmedzenie prúdov ochranného vodiča v súčasnosti obsahujú viaceré slovenské technické normy – buď priamo alebo nepriamo (napríklad požiadavkami týkajúcimi sa EMC). Spomenúť možno predovšetkým:

- **STN 33 2000-5-54: 2012**

Táto norma ako jedna z prvých noriem súboru STN 33 2000 stanovila požiadavky na prúdy ochranných vodičov v normálnej prevádzke z hľadiska požiadaviek na zaistenie bezpečnosti elektrickej inštalácie. Jednou z dôležitých požiadaviek normy je minimálny prierez vodičov.

- **STN 33 2000-4-444: 2011**

Táto rozsiahla norma stanovuje požiadavky na minimalizovanie elektromagnetických vplyvov. Z najdôležitejších ustanovení možno vybrať aspoň niektoré:

Siete TN-C sa nesmú použiť v novo postavených budovách obsahujúcich alebo s veľkou pravdepodobnosťou v budúcnosti obsahujúcich významné množstvo zariadení informačných technológií. Odporúča sa, aby sa siete TN-C neponechávali v existujúcich budovách obsahujúcich alebo s veľkou pravdepodobnosťou v budúcnosti obsahujúcich významné množstvo zariadení informačných technológií. V novo postavených budovách sa musia v smere za začiatkom inštalácie inštalovať siete TN-S. Pri napájaní siete TN z viacerých zdrojov dovoľuje sa iba jedno prepojenie medzi PEN a zemou (splniť sa musia aj viaceré doplňujúce požiadavky). Všetky ochranné vodiče a vodiče na funkčné uzemnenie v inštalácii sa musia spojiť s hlavnou uzemňovacou svorkou a táto sa uzemní (v budove nemajú byť viaceré uzemnenia).

- **STN 33 2000-5-52: 2012**

Norma stanovuje požiadavky na výber a stavbu elektrických zariadení. Z hľadiska požiadaviek normy na EMC možno uviesť požiadavky na minimálne vzdialenosti pri ukladaní káblov. Pri križovaní alebo blízkosti telekomunikačných káblov a silových káblov uložených v zemi sa musí zachovať minimálna vzdialenosť 100 mm, alebo medzi

káble sa musí umiestniť ohňu odolná priehradka. V prípade blízkosti káblov rozvodného systému rádia a televízie a káblov silového vedenia sa má brať do úvahy STN EN 50083.

- **STN EN 50310 (36 9072): 2011**

Pomerne rozsiahla norma špecifikuje minimálne požiadavky na uzemňovacie siete a prípoje (pospájania) v budovách, v ktorých sa predpokladá inštalovanie zariadení informačnej techniky s cieľom ochrany týchto zariadení a káblových rozvodov pred elektrickými nebezpečenstvami, ako aj primeranej odolnosti pred elektromagnetickým rušením prenášaným uzemňovacou sieťou. Požiadavky tejto normy sú aplikovateľné na všetky typy budov v rozsahu od obytných budov až po veľké obchodné a priemyselné areály.

- **STN 33 1610: 2002**

Norma stanovuje zásady merania prúdu ochranného vodiča spotrebičov triedy ochrany I. Pri spotrebičoch, ktoré možno uložiť izolovane, sa meria priamo prúd ochranného vodiča. Pri spotrebičoch, ktoré nemožno uložiť izolovane, sa zisťuje prúd ochranného vodiča nepriamo ako rozdielový prúd. Meranie prúdu ochranného vodiča podľa tejto normy možno použiť aj pre ďalšie druhy elektrických zariadení patriacich pod iné normy, v ktorých toto meranie nie je opísané (napr. STN 33 1600, STN EN 60204-1).

ZÁVER

V príspevku sú uvedené základné pravidlá a zásady, ktoré majú viesť k zmenšeniu prúdu ochranných vodičov. O tom, ako sa má dosiahnuť bezpečná a spoľahlivá prevádzka elektrických zariadení má však rozhodnúť zodpovedný odborník. Ten musí poznať hraničné hodnoty stanovené normami, musí ich vedieť posúdiť a rozumieť ich významu. Len tak možno zhodnotiť, či minimálne a/alebo maximálne hraničné hodnoty uvedené v normách budú postačujúco a spoľahlivo vyhovovať potrebám danej prevádzky. Prevádzkovatelia totiž očakávajú nielen elektrickú funkciu zariadení, ale aj prevádzkovú bezpečnosť a spoľahlivosť, a tým aj bezpečnosť osôb, majetku a funkcie.

SÚVISIACE NORMY:

STN 33 2000-5-54: 2012 Elektrické inštalácie nízkeho napätia. Časť 5-54: Výber a stavba elektrických zariadení. Uzemňovacie sústavy a ochranné vodiče

STN EN 61140 (33 2010): 2004 Ochrana pred zásahom elektrickým prúdom. Spoločné hľadiská pre inštaláciu a zariadenia

STN 33 2000-5-51: 2010 Elektrické inštalácie budov. Časť 5-51: Výber a stavba elektrických zariadení. Spoločné pravidlá

STN 33 1600: 1996 Elektrotechnické predpisy. Revízie a kontroly elektrického ručného náradia počas používania

STN 33 1610: 2002 Revízie a kontroly elektrických spotrebičov počas ich používania

STN EN 60990 (33 2020): 2001 Metódy merania dotykového prúdu a prúdu tečúceho ochranným vodičom

STN EN 50174-2 (36 9071): 2009 Informačná technika. Inštalácia káblových rozvodov. Časť 2: Plánovanie a postupy inštalácie v budovách

STN EN 50174-3 (36 9071): 2014 Informačná technika. Inštalácia káblových rozvodov. Časť 3: Plánovanie a postupy inštalácie mimo budov

STN EN 50083 (36 7211) Káblové siete pre televízne signály, rozhlasové signály a interaktívne služby (súbor noriem)

STN EN 300 253 V2.1.1 (87 0253): 2003 Environmentálne inžinierstvo (EE). Uzemnenie a vodivé prepojenie telekomunikačných zariadení v telekomunikačných centrách

STN EN 60204-1 (33 2200): 2007 Bezpečnosť strojových zariadení. Elektrické zariadenia strojov. Časť 1: Všeobecné požiadavky

PRAMENE

[1] BUDDE G.: Elektroinstallation Erhöhte Schutzleiterströme in der Praxis. http://www.elektro.net/wp-content/archiv/sites/13/2010/19/DE_19_10_EI44.pdf

[2] LANGDOWN S.: Protective conductor currents. IET WiringMatters, Winter 07, s. 23. 24 electrical.theiet.org/wiring-matters/25/protective-conductor.cfm?... ([PDF] 2007 25 Winter Wiring Matters - IET Electrical)

[3] KOŠŤÁL, J.: Větší proudy v ochranném vodiči. Elektro ročník 67, 2012, č.3, s. 69 – 73

[4] GARDIAN, P: Vyššie harmonické v elektrických sieťach, problémy, ktoré spôsobujú a možnosti ich eliminácie. http://www.power-grid.eu/textprednasky.pdf

[5] PHOENIX CONTACT: Störsicherheit durch Schirmung. http://www.pci-card.com/phoenix-emv-leitfaden.pdf

[6] AUGENSTEIN, M.: Netzbrummen. http://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/Netzbrummen.pdf

[7] Requirements for Electrical Installations. IEE Wiring Regulations. http://www.slideshare.net/paulholden53/17th-edition-parts-53-to-56

[8] Hochverfügbarkeit und Schadenverhütung im Rechenzentrum und in der Industrie. Bender – The Power in Electrical Safety. http://www.bender-de.com/uploads/media/Seminarunterlagen-Benning-Bender.pdf