PRÚDOVÉ CHRÁNIČE

Pavol POLÁK[1]

ÚVOD

Technický rozvoj vo všetkých odboroch elektrotechniky si vynucuje nové prístupy k zaisťovaniu požiadaviek bezpečnosti. V oblasti elektrotechniky sa neustále rozvíja trend využívania najrozmanitejších druhov elektrických zariadení a spotrebičov. Zvyšujú sa nároky na efektívne využívanie elektrickej energie, prehlbujú sa poznatky o účinkoch elektrického prúdu na ľudský organizmus a zdokonaľujú sa prostriedky ochrany pracovníkov pred jeho nepriaznivými faktormi. Odporúčania IEC (Medzinárodná komisia pre elektrotechniku) a CENELEC-u (Európska komisia pre normalizáciu v elektrotechnike) poukazujú na skutočnosť, že širším využitím prúdových chráničov na ochranu pred možným zásahom elektrickým prúdom pri **základnej ochrane** a **ochrane pri poruche** je možné výraznejšie znížiť počet úrazov pracovníkov, spôsobených zásahom elektrickým prúdom pri práci s elektrickým ručným náradím a spotrebičom držaným pri pracovnej činnosti v ruke.
Prúdový chránič RCD (Residual-Curent Device) je elektrické zariadenie (elektrický prístroj), zabezpečujúce samočinné odpojenie prúdového obvodu v prípade, že dochádza k úniku (aj relatívne malej) časti elektrického prúdu mimo chránený obvod (tzv. chybový alebo rozdielový poruchový prúd). K takejto situácii môže dôjsť napr. pri priamom dotyku uzemneného ľudského tela so živou časťou obvodu.

Prúdové chrániče je možné rozdeliť podľa rôznych kritérii:

a.) podľa závislosti na napájacom napätí
- FI (nezávislé)
- DI (závislé)
- HFI (podmienečne závislé)

b.) podľa počtu pólov
- 2polove (jednofázové)
- 4polové (trojfázové)

c.) podľa časovej závislosti vypnutia na rozdielovom prúde
- (-) pre okamžitú reakciu
- (G) s oneskorením min 10 ms
- (S) selektívne s oneskorením min. 40 ms

d.) podľa citlivosti na rôzne prúdy
- AC pre striedavé napätie
- A pulzujúce jednosmerné
- B jednosmerné

Dvojpólový prúdový chránič porovnáva veľkosť prúdu, tečúceho fázovým vodičom s veľkosťou prúdu, tečúceho neutrálnym vodičom. Pokiaľ sú veľkosti prúdov zhodné (vektorový súčet ich okamžitých hodnôt je nulový), obvod zostáva pripojený. Pri náraste prúdovej asymetrie (rozdielu veľkostí prúdov) nad určitú hodnotu, charakteristickú pre daný chránič (tzv. citlivosť chrániča), dôjde k rýchlemu odpojeniu oboch pólov chráneného obvodu. 4-pólový (3-fázový) prúdový chránič obdobne kontroluje vektorový súčet všetkých štyroch pracovných vodičov.

[1] **Ing. Pavol Polák,** Katedra elektroniky, AOS gen. M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši, 031 19 Liptovský Mikuláš, fax: 044/552 49 59, tel: 0960 423 205, e_mail: Pavol.Polak@aos.sk

Na rozdiel od ističa alebo tavnej poistky, ktoré chránia elektrický obvod pred nadprúdom (nárast veľkosti prúdu nad určitú menovitú hodnotu), prúdový chránič reaguje výhradne na prúdovú asymetriu v obvode - a to už na hodnotu 100 - 1000 násobne menšiu než býva menovitý prúd ističa.

Pre ilustráciu:

Typická citlivosť prúdového chrániča je 30 mA (0.03 A), pričom typický vypínací prúd ističa v domácom rozvode je 15 A. Pri priamom dotyku časti ľudského tela so živým kontaktom, resp. živou časťou zariadenia, tečie časť prúdu z obvodu cez ľudské telo do zeme. O túto veľkosť sa zvýši hodnota prúdu, tečúceho cez živý (fázový) pól prúdového chrániča. Veľkosť prúdu, tečúceho cez neživý (neutrálny) pól však zostáva nezmenená, v dôsledku čoho prúdový chránič obvod odpojí. Prúdový chránič je preto zásadný prvok ochrany voči zásahu elektrickým prúdom pri priamom dotyku.

Citlivosť a reakčná doba prúdových chráničov pre ochranu pred priamym dotykom je navrhnutá tak, aby k odpojeniu obvodu došlo už pri takej veľkosti prúdovej asymetrie (5-30 mA) a v takom krátkom čase (25-40 ms), aby následky priameho dotyku neboli pre zdravého človeka nebezpečné.

Obr. 1 Dvojpólový RCD určený na inštaláciu do rozvádzača

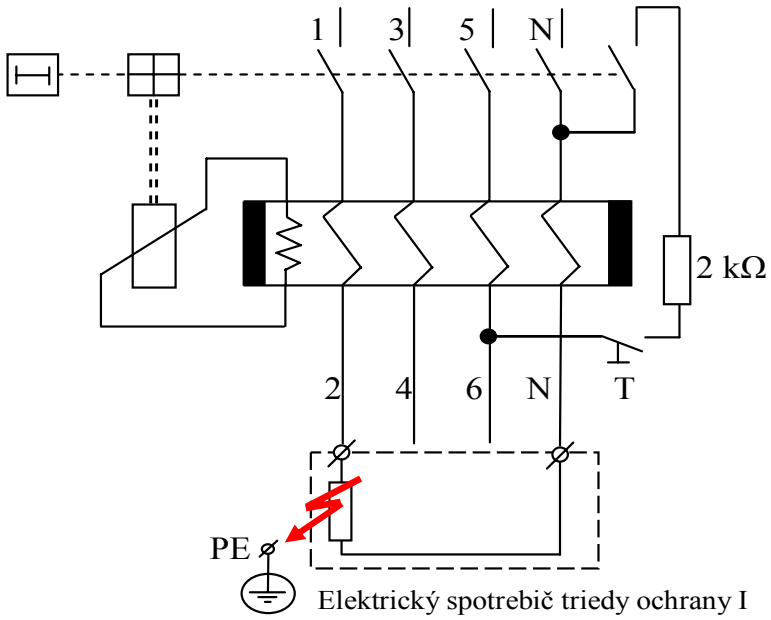
Obr. 2 Dvojpólový RCD určený na inštaláciu do zásuvky

1. PRINCÍP ČINNOSTI

1.1 Štvorpólový prúdový chránič

Prúdový chránič sa skladá zo súčtového transformátora, citlivého vypínacieho diferenciálneho relé a spínacieho mechanizmu. Primárny obvod súčtového transformátora tvoria všetky pracovné vodiče, prechádzajúce vnútrom (jadra) transformátora ako je naznačené na obr. 3. Ak je súčet okamihových hodnôt prúdov v pracovných vodičoch nulový (normálny prevádzkový stav), v sekundárnom vinutí diferenciálneho transformátora sa neindukuje napätie. Pri poruche je tento súčet nenulový (poruchový „spätný“ prúd neprechádza pracovnými vodičmi), v sekundárnom vinutí sa indukuje napätie, diferenciálne relé uvedie do činnosti vypínací mechanizmus a tento odpojí obvod s poruchou od napájania. Testovacie tlačidlo zapojené v sérii s vhodným odporom R slúži na vytvorenie umelej poruchy a tým na testovanie správnej funkcii prúdového chrániča v stanovených intervaloch.

Prúdový chránič vypína už pri veľmi malých poruchových prúdoch, kedy poistky alebo ističe nereagujú. Vypína aj pri priamom dotyku živej časti, kedy v dôsledku odporu ľudského tela (cca 2 kΩ), prechádza telom síce malý prúd, ktorý je však nebezpečný a môže byť smrteľný. Prúdový chránič nechráni obvod pred prúdovým preťažením, preto musí byť pred chráničom zaradený istiaci prvok, poistka alebo istič.

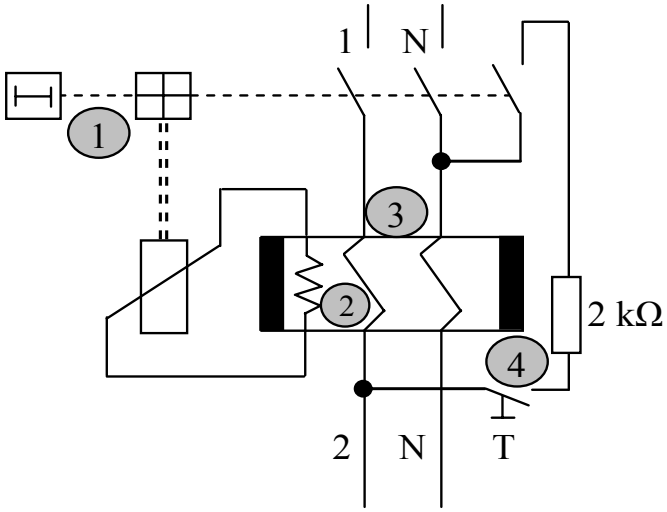


obr. 3 Štvorpólový prúdový chránič

Štvorpólový chránič, má svorky označené L1, L2, L3, N a zapojuje sa do obvodu tak jak je uvedené na obr. 3. Vypínací prúd tečie pri poruche z neživej časti spotrebiča cez ochranný vodič PE do nulového bodu. U prúdového chrániča sa od výrobcu udáva menovitý prúd In (A) a vypínací rozdielový prúd $I_{\Delta n}$ (mA).

1.2 Dvojpólový prúdový chránič

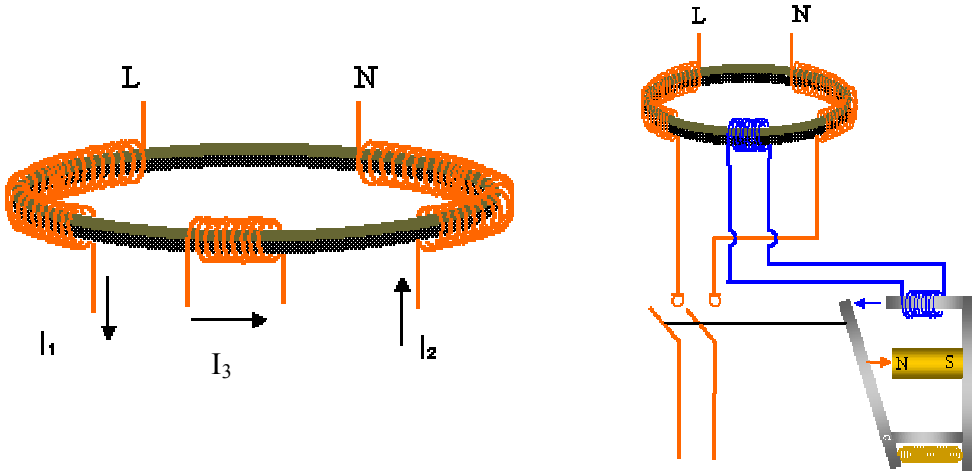
Napájacie vodiče (L - krajný, N - neutrálny) sú vedené stredom feritového jadra súčtového transformátora (3). V normálnom prevádzkovom režime je vektorový súčet okamžitých hodnôt prúdov nulový a na sekundárnom vinutí (2) transformátora sa neindukuje žiadne napätie.



obr. 4 Dvojpólový prúdový chránič

V prípade rozdielnej veľkosti prúdov, tečúcich fázovým a neutrálnym vodičom sa na sekundárnom vinutí transformátora indukuje napätie, úmerné veľkosti rozdielu (prúdovej asymetrie). Toto diferenciálne napätie sa pomocnou elektroniky (1) zosilňuje, porovnáva s nominálnou hodnotou a po jej prekročení elektromagnet (1) rozpojí obidva napájacie vodiče. Súčasťou chrániča je aj testovacie tlačidlo T (4), uzatvárajúce obvod s rezistorom, ktorý simuluje vytvárajúci umelý poruchový prúd pre overenie funkčnosti chrániča.

Konštrukčné riešenie súčtového transformátora dvojpólového prúdového chrániča je znázornené na obr. 5.



obr. 5 Konštrukčné riešenie dvojpólového prúdového chrániča

Princíp činnosti prúdového chrániča je znázornený na obr.4. Je založený na porovnávaní okamžitých hodnôt prúdu v pracovných vodičoch (L1, L2, L3, N), ktoré sú vedené súčtovým transformátorom. V obvode bez poruchy platí, že $i_1 + i_2 = 0$, pričom v magnetickom jadre nebude existovať žiadny tok a napätie indukované v cievke bude nulové. Akýkoľvek prúd, ktorý za prúdovým chráničom tečie mimo pracovné vodiče do zeme alebo sa vracia mimo chránič do zdroja, spôsobí rozdiel v porovnávaných prúdoch ako rozdielový prúd I_d. Táto zmena z rovnovážneho stavu spôsobí vznik magnetického toku v jadre, ktorý indukuje napätie v cievke a sčíta sa s magnetickým tokom predmagnetizovaného feritového jadra, takže prúd i_3 preteká cez cievku ovládajúcu odpájajúci mechanizmus. Ak je hodnota rozdielového prúdu väčšia ako hodnota požadovaná na uvedenie odpájajúceho mechanizmu do činnosti, chránič preruší obvod.

2. ZAPOJOVANIE PRÚDOVÝCH CHRÁNIČOV

V elektrických rozvodoch kde budú použité prúdové chrániče musíme dbať na splnenie nasledujúcich podmienok

a.) chránené neživé časti musia byť spojené s ochranným vodičom PE alebo uzemnené na uzemňovač, kde odpor uzemnenia musí vyhovovať podmienke:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_{\Delta N}} \qquad (\Omega, V, A)$$

R_A - zemný odpor
U_L - trvalé dovolené dotykové napätie
$I_{\Delta n}$ - vypínací rozdielový prúd chrániča
V systéme TN sa vodiče N a PE nesmú za chráničom spojiť!!!

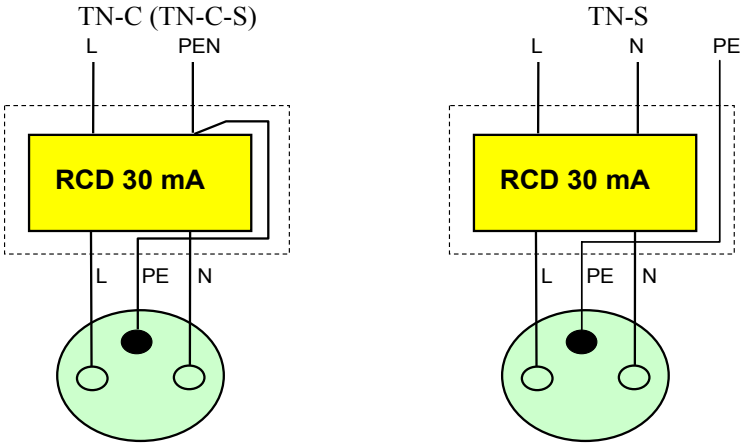
b.) chráničom musia prechádzať všetky pracovné vodiče (L, N);
c.) ochranné vodiče sa dimenzujú podľa STN 33 2000-5-54;
d.) pred uvedením do prevádzky sa chránič musí vyskúšať a po nainštalovaní pravidelne kontrolovať (raz za 6 mesiacov);

2.1 Zapojenie prúdového chrániča v systéme TN

2.1.1 Systém TN-C

V systéme TN-C použitie prúdového chrániča nie je možne bez uskutočnenia určitých opatrení. Pri prieraze na neživú časť, by časť poruchového prúdu netiekla mimo prstenec toroidného jadra a prúdový chránič túto poruchu nedokáže vyhodnotiť- Kirchhoffov zákon by stále platil. V tejto sústave preto musíme vykonať určité opatrenia aby sme prúdový chránič mohli použiť. Tieto opatrenia sú nasledovné:

- musíme prerušiť všetky spojenia ochranného vodiča PE s vodičom neutrálnym (spojenie kolíkov v zásuvkách – zásuvky musia byť pripojené pomocou troch vodičov, spojenie neživých častí u pevne pripojených spotrebičov),
- za chráničom musíme zaviesť samostatný ochranný vodič PE (obr. 6),
- ochranné vodiče sa musia dimenzovať podľa STN 33 2000-5-54.



obr. 6 Príklad zapojenia prúdového chrániča v systéme TN-C (TN-C-S) a TN-S

Pri poruche poruchový prúd tečie cez samostatný ochranný vodič, mimo prstenec chrániča (ako v sústave TN-S) a poruchový chránič pracuje. V bytoch a domoch je vhodné pre zásuvkové obvody použiť samostatné dvojpólové alebo štvorpólové RCD s vybavovacím prúdom $I_{\Delta n} = 30$mA.

2.1.2 Systém TN-S

V súčasnej dobe je tento systém dominantný pri realizácii vnútorných rozvodov. Samostatný neutrálny vodič N a ochranný vodič PE, je základným prvkom pre použitie prúdových chráničov.

2.1.3 Systém TN-C-S

Zapojenie a použitie prúdového chrániča je znázornené na obr. 6. Pre činnosť RCD v tomto systéme je neprípustne spojiť vodič PE a N za chráničom.

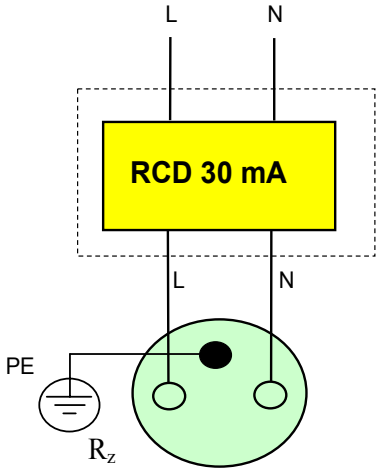
2.2 Zapojenie prúdového chrániča v systéme TT

Pre správnu činnosť prúdových chráničov je dôležité, aby boli neživé časti chránených spotrebičov uzemnené alebo pripojené na samostatný ochranný vodič. V tomto systéme je táto požiadavka splnená, stačí chránič pripojiť podľa obrázku (obr.10) a iba musíme preveriť odpory ochranných uzemnení.

pred chráničom musí byť splnená podmienka $R_A \leq \dfrac{U_d}{I_{a\,\max}}$ (Ω)

za chráničom musí byť splnená podmienka $R_A \leq \dfrac{U_d}{I_{\Delta N}}$ (Ω)

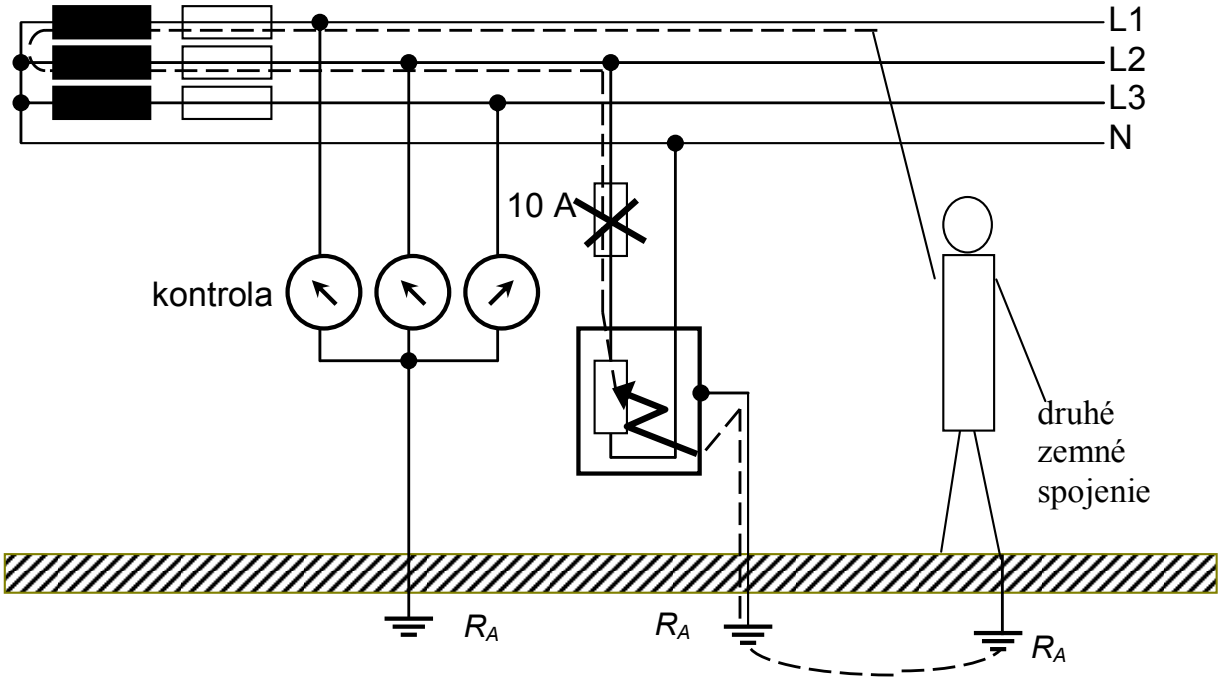
U_d - dovolené dotykové napätie (50V); $I_{a\,max}$ - prúd najbližšej predradnej poistky; $I_{\Delta N}$ - vypínací rozdielový prúd chrániča



Obr. 7 Príklad zapojenia prúdového chrániča do systému TT

2.3 Zapojenie prúdového chrániča v systéme IT

Pre zistenie zhoršenia izolačného stavu (prvé zemné spojenie), sa používajú v systéme IT hlásiče izolačného stavu. Tie hlásia, poprípade môžu i vypínať poruchu. Pre zaistenie bezpečnosti pre prípad druhého zemného spojenia sa používajú nadprúdové ochranné prístroje.



obr. 8 Príklad zapojenia prúdového chrániča v systéme IT

Použitie prúdového chrániča v systéme IT môže byť jedným z možných riešení, ale v rozsiahlom systéme IT nemusí vždy prúdový chránič vypnúť, lebo sa posúva hranica pre prvé zemné spojenie a to vďaka kapacitným a zvodovým prúdom v danej inštalácii. Musia dosahovať také hodnoty, aby vzhľadom k druhému zemnému spojeniu boli vyhodnotené, ako porucha. Pokiaľ chceme použiť v systéme IT citlivý prúdový chránič je potrebné ho inštalovať, čo najbližšie ku koncu inštalácie.

3. ČOHO SA VYVAROVAŤ

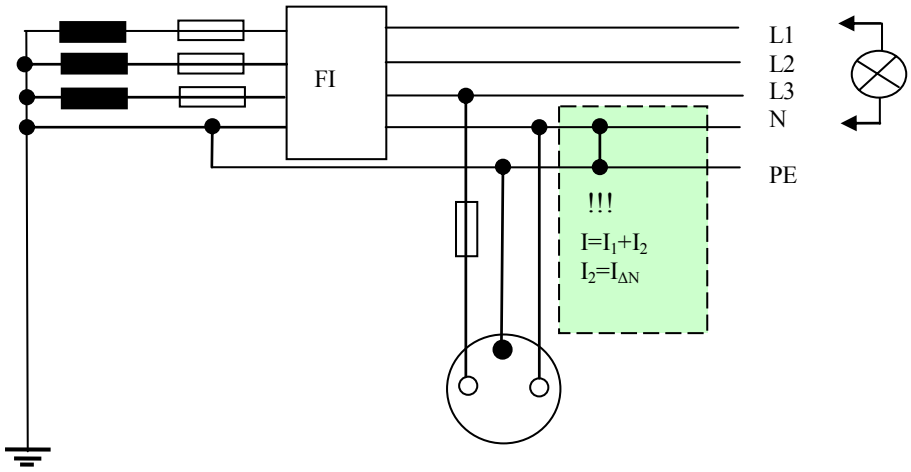
Ak dôjde k vypnutiu prúdového chrániča bez vzniku poruchového prúdu, hovoríme o nežiaducom, chybnom vypnutí. Tieto príčiny sú vlastne dvojakého druhu:

a.) chybné vypnutie vplyvom chybného zapojenia (spojenie vodičov PE a N),

b.) chybné vypnutie spôsobené vonkajšími vplyvmi (prepätie, špatná voľba typu RCD).

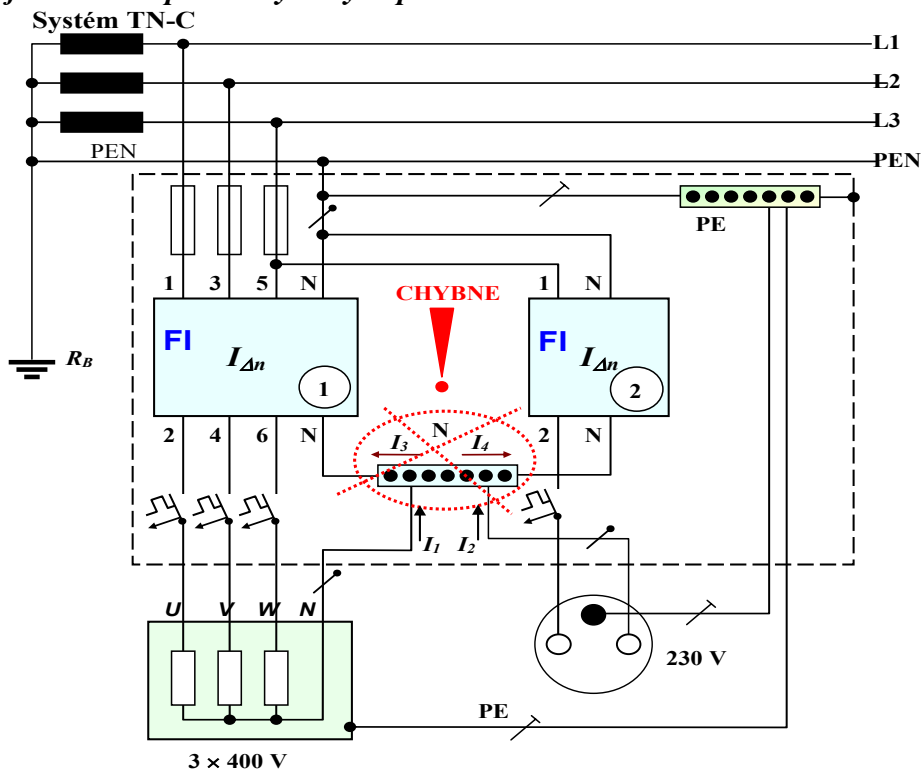
3.1 Nežiaduce vypnutie spôsobené chybou zapojenia

3.1.1 Neprípustné spojenie PE a N v systéme TN

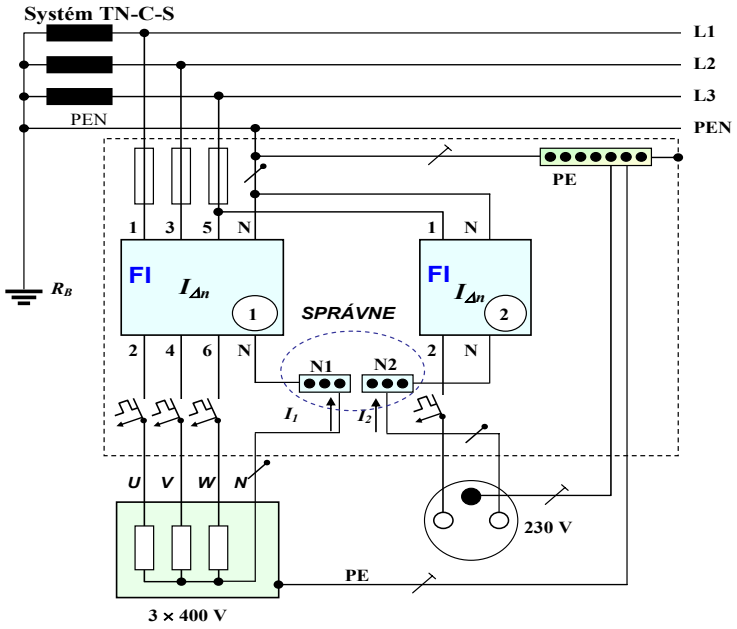


obr. 9 Neprípustné spojenie PE a N v systéme TN (vzniká závit na krátko)

3.1.2 Zapojenie dvoch paralelných výstupov



obr. 10 Chybné zapojenie paralelných vývodov dvoch RCD



obr.14 Správne zapojenie paralelných vývodov dvoch RCD

4. PRUDOVÉ CHRÁNIČE DO POHYBLIVÝCH PRÍVODOV

Vo výrobných dielňach, výrobných halách, v živnostenských dielňach kde pracovníci pri výrobe používajú elektrické ručné náradie a prenosné elektrické zariadenia, ktoré sú napájané zo spoločného nn rozvodu je nutné realizovať doplnkovú ochranu pomocou prúdových chráničov. Zariadenia sú chránené síce z hľadiska nadprúdu (istič poistka) v súlade s normou (na jeden zásuvkový okruh je možné pripojiť maximálne 10 zásuvkových vývodov), ale z hľadiska ochrany pred zásahom elektrickým prúdom tieto dielne a výrobné haly nespĺňajú požadované kritéria bezpečnej ochrany pracovníkov. Tu je potom namieste v týchto výrobných zariadeniach používať z hľadiská ochrany pred zásahom elektrickým prúdom ako aj z hľadiska vonkajšieho vplyvu prostredia pri napájaní ručného elektrického náradia a spotrebičov, ktoré pri výrobnej činnosti musí pracovník držať v ruke v súlade s STN 33 2000-4-41: 2007 čl. 411.3.3 **doplnkovú ochranu prúdovým chráničom s rozdielovým vypínajúcim prúdom $I_{\Delta n} = 30$ mA.**

ZÁVER

Prúdový chránič je najprogresívnejšou metódou ochrany. Prúdové chrániče výrazne zvyšujú bezpečnosť osôb pred zásahom elektrickým prúdom a chránia majetok pred vznikom požiarov v dôsledku poruchy elektrickej inštalácie. Možno predpokladať, že nasadenie prúdových chráničov v širšom meradle posunie mieru bezpečnosti na vysokú úroveň, aká je bežná v krajinách, kde sa prúdové chrániče používajú už mnoho rokov. Dokumentujú to aj štatistické výsledky, ktoré sledujú stav úrazovosti v západoeurópskych krajinách – počet úrazov elektrickým prúdom za dobu povinného používania prúdových chráničov klesol na 10 až 20 % oproti stavu, keď ešte nebolo používanie prúdových chráničov hromadné.

Použitá literatúra

[1] HUNA, R. – STAROŇOVÁ, J.: Ochrana pred zásahom elektrickým prúdom na elektrických inštaláciách a pri obsluhe elektrických zariadení do 1 000 V striedavých a 1 500 V jednosmerných. Liptovský Mikuláš 2008. Pobočka SES Liptovský Mikuláš. Šieste upravené vydanie. ISBN 978-80-969282-6-2.

[2] UHLÍK, J.: Schneider magazín 4/2000. Prúdové chrániče – ich použitie a kontrola.

[3] STN 33 2000-4-41: 2007 Elektrické inštalácie nízkeho napätia. Časť 4-41: Zaistenie bezpečnosti. Ochrana pred zásahom elektrickým prúdom.