

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Analýza proudových chráničů**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš ZÍKA**  
Osobní číslo: **E10B0274P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**  
Název tématu: **Analýza proudových chráničů**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracujte literární rešerši aktuálního stavu problematiky.
2. Popište princip, provedení a užití proudových chráničů.
3. Ověřte vypínací schopnost vybraného zařízení.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

1. Štěpán F.: Proudové chrániče. Praha: IN-EL, 2002.
2. Katalogy výrobců zařízení.
3. Elektrotechnická měření. Praha: BEN - technická literatura, 2002.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Šnajdr**  
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na analýzu proudových chráničů. V první kapitole je rozebírán aktuální stav problematiky. Jsou zde uvedeny nové trendy proudových chráničů, typy používané v projektech a instalacích a ochrana obvodů s frekvenčními měniči. Ve druhé kapitole je popsán princip, provedení a užití proudových chráničů, jejich třídění, parametry a způsoby značení. Poslední kapitola se zabývá ověřením vypínací schopnosti vybraného zařízení.

## **Klíčová slova**

Proudový chránič, součtový proudový transformátor, reziduální proud, vybavovací relé.

## **Abstract**

The presented bachelor thesis is focused on an analysis of residual current circuit breakers. The first chapter analyzes the current state of the issue. New trends in residual current circuit breakers, the types used in technical projects and electrical installations and protection of circuits with frequency converters are listed. The second chapter describes the principles, design and usage of residual current circuit breakers, their classification, characteristics and marking methods. The last chapter deals with verification of breaking capacity of a selected device.

## **Keywords**

Residual current circuit breaker, differential current transformer, residual current, tripping relay.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 28.5.2013

Lukáš Zíka

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavovi Šnajdrovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>OBSAH</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....   | <b>9</b>  |
| <b>SEZNAM TABULEK</b> .....   | <b>9</b>  |
| <b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>ÚVOD</b> .....   | <b>11</b> |
| <b>1 AKTUÁLNÍ STAV PROBLEMATIKY PROUDOVÝCH CHRÁNIČŮ</b> .....                       | <b>12</b> |
| 1.1 NOVÉ TRENDY V OBLASTI PROUDOVÝCH CHRÁNIČŮ .....                                 | 12        |
| 1.2 TYPY POUŽÍVANÉ V PROJEKTECH A INSTALACÍCH .....                                 | 13        |
| 1.3 CITLIVOST NA RŮZNÉ DRUHY PROUDU .....   | 14        |
| 1.4 OCHRANA OBVODŮ S FREKVENČNÍMI MĚNIČI .....                                      | 15        |
| <b>2 PROUDOVÝ CHRÁNIČ</b> .....   | <b>18</b> |
| 2.1 PRINCIP FUNKCE PROUDOVÉHO CHRÁNIČE .....  | 18        |
| 2.2 KONSTRUKČNÍ ČÁSTI PROUDOVÝCH CHRÁNIČŮ .....                                     | 22        |
| 2.3 TYPY A CHARAKTERISTIKY PROUDOVÝCH CHRÁNIČŮ .....                                | 29        |
| 2.3.1 Počet pólů .....  | 30        |
| 2.3.2 Funkční závislost na napájecím napětí .....                                   | 31        |
| 2.3.3 Časová závislost vypnutí proudového chrániče .....                            | 34        |
| 2.3.4 Citlivost na různé druhy proudů .....   | 37        |
| 2.4 PARAMETRY PROUDOVÝCH CHRÁNIČŮ .....   | 39        |
| 2.4.1 Jmenovitý reziduální proud a odvozené parametry .....                         | 39        |
| 2.4.2 Jmenovitý proud kontaktů .....  | 40        |
| 2.4.3 Odolnost chráničů proti zkratu a přetížení .....                              | 40        |
| 2.4.4 Jmenovité napětí .....  | 41        |
| 2.4.5 Teplota okolí .....   | 41        |
| 2.4.6 Frekvence .....   | 41        |
| 2.5 TŘÍDĚNÍ PODLE ZPŮSOBU INSTALACE .....   | 42        |
| 2.5.1 Proudové chrániče bez nadproudové ochrany (RCCB) .....                        | 42        |
| 2.5.2 Proudové chrániče s vestavěnou nadproudovou ochranou (RCBO) .....             | 42        |
| 2.5.3 Jistič zahrnující proudový chránič (CBR) .....                                | 42        |
| 2.5.4 Proudové chrániče pro pohyblivou montáž (PRCD) .....                          | 43        |
| 2.5.5 Proudové chrániče pro dodatečné zabudování do instalační krabice (SRCD) ..... | 44        |
| 2.5.6 Proudové chrániče s nepřímým vypínáním .....                                  | 45        |
| 2.6 SELEKTIVITA PROUDOVÝCH CHRÁNIČŮ .....   | 45        |
| 2.7 HRANICE POUŽITELNOSTI PROUDOVÝCH CHRÁNIČŮ .....                                 | 47        |
| 2.8 OCHRANA PŘED ÚRAZEM ELEKTRICKÝM PROUDEM .....                                   | 51        |
| 2.9 PROTIPOŽÁRNÍ OCHRANA .....  | 51        |
| 2.10 POUŽITÍ .....  | 51        |
| <b>3 OVĚŘENÍ VYPÍNAČÍ SCHOPNOSTI PROUDOVÉHO CHRÁNIČE</b> .....                      | <b>54</b> |
| 3.1 OVĚŘENÍ SKUTEČNÉ HODNOTY VYBAVOVACÍHO REZIDUÁLNÍHO PROUDU .....                 | 54        |
| 3.1.1 Měření vybavovacího reziduálního proudu .....                                 | 55        |
| 3.2 OVĚŘENÍ SKUTEČNÉ HODNOTY VYBAVOVACÍHO ČASU .....                                | 57        |
| 3.2.1 Měření vybavovacího času .....  | 57        |
| <b>ZÁVĚR</b> .....  | <b>62</b> |
| <b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....                                | <b>63</b> |



## Seznam obrázků

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Obr. 1.1  | Vznik zemního svodového proudu při zapojení proudového chrániče v obvodu s frekvenčním měničem .....  | 16 |
| Obr. 1.2  | Vypínací charakteristika proudového chrániče typu B v závislosti na frekvenci (tento typ je navržen i na správnou koordinaci s frekvenčními měniči) .....                                     | 16 |
| Obr. 1.3  | Vypínací charakteristika proudového chrániče v závislosti na frekvenci, provedení U .....   | 17 |
| Obr. 2.1  | Detekce reziduálního proudu součtovým proudovým transformátorem – fyzikální model .....   | 19 |
| Obr. 2.2  | Zapojení a činnost proudového chrániče (pro síť TT, TN, příp. v síti IT) .....  | 20 |
| Obr. 2.3  | Řez jednofázovým proudovým chráničem .....  | 22 |
| Obr. 2.4  | Pohled do proudového chrániče nezávislého na napájecím napětí citlivého na střídavý reziduální proud .....  | 23 |
| Obr. 2.5  | Konstrukční provedení vybavovacího relé s permanentním magnetem s polarizovaným vybavováním – nejpoužívanější provedení .....   | 24 |
| Obr. 2.6  | Konstrukční provedení vybavovacího relé s permanentním magnetem s nepolarizovaným vybavováním .....   | 24 |
| Obr. 2.7  | Úprava zapojení sekundárního obvodu kondenzátorem u typu A .....  | 25 |
| Obr. 2.8  | Schéma zapojení proudového chrániče se zpožděným vypínáním – typ G a S .....  | 26 |
| Obr. 2.9  | Přehled typů proudových chráničů podle různých hledisek .....   | 30 |
| Obr. 2.10 | Schéma zapojení proudového chrániče funkčně nezávislého na napájecím napětí (FI) .....  | 31 |
| Obr. 2.11 | Schéma zapojení proudového chrániče funkčně závislého na napájecím napětí (DI) .....  | 32 |
| Obr. 2.12 | Řez vybavovací spouští s funkcí na přítah .....   | 33 |
| Obr. 2.13 | Schéma zapojení proudového chrániče pro všeobecné použití – bez zpožděného vypínání .....   | 34 |
| Obr. 2.14 | Schéma zapojení proudového chrániče se zpožděným vypínáním – typ G a S .....  | 35 |
| Obr. 2.15 | Tvar magnetizační křivky materiálu součtového proudového transformátoru .....   | 37 |
| Obr. 2.16 | Úprava zapojení sekundárního obvodu kondenzátorem u typu A .....  | 38 |
| Obr. 2.17 | Princip vyhodnocování hladkého stejnosměrného reziduálního proudu (typ B) .....   | 39 |
| Obr. 2.18 | Označení pro podmíněnou zkratovou odolnost 10 kA (zkratová odolnost proudového chrániče do předpokládaného zkratového proudu 10 kA je podmíněna předřazenou pojistkou 100 A) .....            | 40 |
| Obr. 2.19 | Označení proudových chráničů pro okolní teplotu od -25 °C .....   | 41 |
| Obr. 2.20 | Schéma zapojení proudového chrániče pro pohyblivou montáž .....   | 44 |
| Obr. 2.21 | Selektivní řazení proudových chráničů v obvyklé instalaci (dvě úrovně selektivity) .....  | 46 |
| Obr. 2.22 | Zkrat mezi pracovními vodiči za proudovým chráničem nezajistí jeho vybavení .....   | 47 |
| Obr. 2.23 | Činnost proudového chrániče při jedнопólovém a dvoupólovém dotyku .....   | 49 |
| Obr. 2.24 | Proudový chránič v síti TN .....  | 52 |
| Obr. 2.25 | Proudový chránič v síti TT .....  | 53 |
| Obr. 2.26 | Proudový chránič v síti IT .....  | 53 |
| Obr. 3.1  | Agilent Technologies MSO6054A Mixed Signal Oscilloscope 500 MHz .....   | 54 |
| Obr. 3.2  | Princip měření proudových chráničů .....  | 55 |
| Obr. 3.3  | Schéma zapojení pro měření vybavovacího reziduálního proudu .....   | 56 |
| Obr. 3.4  | Schéma zapojení pro nastavení požadovaného vybavovacího reziduálního proudu .....   | 58 |
| Obr. 3.5  | Schéma zapojení pro měření vybavovacího času .....  | 58 |
| Obr. 3.6  | Pracovní obrazovka osciloskopu při měření vybavovacího času proudového chrániče $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$ při $I_{\Delta a} = I_{\Delta n}$ (začátek měření kladnou polaritou) .....    | 60 |
| Obr. 3.7  | Pracovní obrazovka osciloskopu při měření vybavovacího času proudového chrániče $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$ při $I_{\Delta a} = I_{\Delta n}$ (začátek měření zápornou polaritou) .....   | 60 |
| Obr. 3.8  | Pracovní obrazovka osciloskopu při měření vybavovacího času proudového chrániče $I_{\Delta n} = 500 \text{ mA}$ při $I_{\Delta a} = 2 I_{\Delta n}$ (začátek měření kladnou polaritou) .....  | 61 |
| Obr. 3.9  | Pracovní obrazovka osciloskopu při měření vybavovacího času proudového chrániče $I_{\Delta n} = 500 \text{ mA}$ při $I_{\Delta a} = 5 I_{\Delta n}$ (začátek měření zápornou polaritou) ..... | 61 |

## Seznam tabulek

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Tab. 2.1 | Symboly používané na proudových chráničích a obvyklé kombinace symbolů pro různé typy proudových chráničů ..... | 29 |
| Tab. 2.2 | Meze vypínacích časů proudových chráničů při zkoušce střídavým reziduálním proudem .....                        | 36 |
| Tab. 3.1 | Změřené hodnoty vybavovacího reziduálního proudu .....  | 56 |
| Tab. 3.2 | Změřené hodnoty vybavovacího času .....   | 59 |

## Seznam symbolů a zkratek

|                              |                                       |
|------------------------------|---------------------------------------|
| B [T].....                   | Magnetická indukce                    |
| B <sub>r</sub> [T].....      | Remanentní magnetická indukce         |
| C [F].....                   | Kapacita                              |
| f [Hz].....                  | Frekvence                             |
| H [A·m <sup>-1</sup> ] ..... | Intenzita magnetického pole           |
| I [A].....                   | Proud                                 |
| I <sub>F</sub> [A] .....     | Poruchový proud                       |
| I <sub>n</sub> [A] .....     | Jmenovitý proud proudového chrániče   |
| I <sub>S</sub> [A] .....     | Svodový proud                         |
| I <sub>Δ</sub> [A].....      | Reziduální proud                      |
| I <sub>Δa</sub> [A].....     | Vybavovací reziduální proud           |
| I <sub>Δn</sub> [A].....     | Jmenovitý vybavovací reziduální proud |
| L [H] .....                  | Indukčnost                            |
| R [Ω] .....                  | Odpor                                 |
| R <sub>A</sub> [Ω] .....     | Odpor zemniče spotřebiče              |
| R <sub>B</sub> [Ω] .....     | Odpor zemniče zdroje                  |
| t [s].....                   | Čas                                   |
| U [V] .....                  | Napětí                                |
| Z [Ω] .....                  | Impedance                             |
| Φ [Wb].....                  | Magnetický tok                        |
| L [-].....                   | Fázový vodič napájecí soustavy        |
| N [-].....                   | Střední vodič napájecí soustavy       |
| PE [-].....                  | Ochranný vodič napájecí soustavy      |
| PEN [-].....                 | Nulovací vodič napájecí soustavy      |

## Úvod

V této bakalářské práci jsou uvedeny důležité informace jak z oblasti konstrukce proudových chráničů, tak z oblasti jejich použití se zohledněním platných elektrotechnických předpisů.

V dnešní době si můžeme dovolit říci, že se naše předpisy přiblížily evropské praxi natolik, že u nových instalací nenalzáme žádné podstatné rozdíly ani v provedení instalace, ani v technické úrovni jednotlivých komponentů.

Přestože se v oblasti techniky proudových chráničů neočekávají podstatné změny, při podrobnějším sledování změn trendů si lze povšimnout některých úprav. K jistému posunu názorů došlo v případě proudových chráničů závislých na napájecím napětí (typy DI), kde byla rozšířena použitelnost těchto typů i pro ochranu neživých částí. Další okruh problémů je nežádoucí vybavování chráničů, kde je v mnoha případech řešením použití zpožděných typů (G, S), což se také promítlo do mezinárodních předpisů. Těmto a dalším změnám je zde věnována přiměřená pozornost.

Proudové chrániče se v naší elektrotechnické praxi staly běžnými přístroji a rychle zaujaly své místo ve všech nových instalacích. Je pravda, že ve většině případů vystačíme s běžnými typy, avšak v některých zapojeních se neobejdeme bez detailnějších informací. Aby bylo možné tyto ochranné přístroje používat cílevědomě a správně, je nezbytné znát jejich vlastnosti. Dá se však říci, že již při dodržení několika základních pravidel nevznikají větší problémy.

Nežádka se dostáváme i do situace, kdy je použití proudových chráničů nutno odmítnout, protože charakter elektrického obvodu není vůbec vhodný pro jejich nasazení (například z důvodů velkých unikajících proudů). Pro doplnění informací není bez zajímavosti, že v některých zemích je upřednostňováno použití určitých typů chráničů, a to často jen podle toho, jakou pozici má ten který výrobce na domácím trhu a také jak silný vliv má na přípravu elektrotechnických předpisů.

Jako příklad mohou posloužit německé předpisy, kde jsou povinně používány typy citlivé na stejnosměrnou složku proudu (typ A, příp. doporučován typ B), a to nejen z technických důvodů, ale z velké části i z důvodů domácího původu patentů na uvedené typy. Naproti tomu například typy s vysokou odolností proti rázovým proudům, které jsou nezbytné pro ochranu před nežádoucím vybavením (koordinace se svodiči přepětí) zde nenacházejí významnější podporu, protože domovskou zemí patentu je Rakousko.

# 1 Aktuální stav problematiky proudových chráničů

## 1.1 Nové trendy v oblasti proudových chráničů

Nasazení proudových chráničů s sebou přineslo prokazatelné zvýšení bezpečnosti elektrických instalací, což je možné doložit snižováním počtu smrtelných úrazů. Hromadné používání proudových chráničů, zejména těch citlivých, však nebylo dáno uvědoměním uživatelů, elektrotechniků nebo projektantů. Hlavním důvodem bylo zavedení nových elektrotechnických norem pro instalace, kde se předepisují oblasti jejich povinného použití. V těchto normách se setkáme v podstatě jen s definicí citlivostí a někdy i s určením typu přístroje, ale konstrukční provedení se může lišit v závislosti na nabídce příslušného výrobce. [1]

Potřebujeme-li se dozvědět více informací o vlastních přístrojích, je nutné se podívat do příslušných výrobních norem, které jsou pro výrobce závazné. Jedná se zejména o Soubor norem ČSN EN 61008 ed. 2 *Proudové chrániče bez vestavěné nadproudové ochrany pro domovní a podobné použití (RCCB)* a ČSN EN 61009 ed. 2 *Proudové chrániče s vestavěnou nadproudovou ochranou pro domovní a podobné použití (RCBO)*, kde jsou podrobně popsány vlastnosti, konstrukční provedení a zkušební postupy. Srovnáme-li rozsah norem před dvaceti lety s rozsahem současných norem, je zřejmé, že výrobní normy jsou stále podrobnější, složitější, a tudíž i podstatně rozsáhlejší. Na co před lety stačila jedna útlá norma, je dnes k dispozici celý soubor norem, jehož jednotlivé části se dále dělí a rozrůstají a je potřeba pracovat s aktuálním zněním. [1]

Otázkou je, proč se vývoj ubírá touto cestou. Odpověď je vcelku jasná: hlavním hybatelem změn jsou výrobci, kteří hledají stále nová řešení, investují nemalé peníze do vlastních řešení, a tudíž mají zájem, aby se právě jejich řešení promítlo i do výrobních norem, které odrážejí existující stav techniky. Zpoždění mezi realizací nového technického řešení, jeho zapracováním do mezinárodních norem a poté i vydáním finální verze normy se podle složitosti projednávání pohybuje od jednoho roku do několika let. Protože zavedení evropských výrobních norem u nás podléhá pravidlům členství v evropské normalizační organizaci CENELEC, zavedení je povinné a národní znění se musí plně shodovat s evropskou normou. To znamená, že k dalšímu prodlení ve vydání národních verzí nedochází a aktuální národní verze norem přesně kopírují evropské normy. Výhoda spočívá v tom, že je možné pracovat se stejným zněním výrobních norem ve všech zemích Evropy, což významně zjednodušuje volný pohyb zboží. V každém okamžiku se situace mění a odhad

trendů ve vývoji závisí i na měnících se požadavcích zákazníků a současně i na možnostech výrobců. [1]

## 1.2 Typy používané v projektech a instalacích

V elektrických instalacích po celé Evropě se dnes setkáváme se základními typy proudových chráničů. V domovních instalacích se nejčastěji jedná o typy bez zpoždění a s citlivostí na střídavé reziduální proudy (typ AC), pouze pro chrániče na začátku instalace se používají selektivní typy (vypínací charakteristika S). Jen v náročnějších aplikacích, hlavně v průmyslu, jsou používány i další typy (typ A), které postupně nabývají na významu. [1]

Co se týká již zmíněných vypínacích charakteristik, velice důležitým parametrem je právě časové zpoždění (resp. doba nepůsobení). Tato vlastnost významně zlepšuje odolnost proti nežádoucímu vybavení. Ku prospěchu věci se na začátku instalací stále více používají i selektivní proudové chrániče, které jsou předepisovány již mnoho let, ale přesto se stále setkáváme i s nevhodnými nezpožděnými typy. Při volbě citlivosti 300 mA splňují současně i podmínky pro protipožární ochranu a v nových projektech jsou používány stále častěji. To je jednoznačně pozitivní trend, který je vyvolán povinností jejich instalace ve vyjmenovaných případech (zvýšené nebezpečí vzniku požáru, dřevostavby, vestavby atd.). Někteří výrobci se tomuto trendu přizpůsobili a nabízejí speciální provedení navržená právě pro funkci vstupního chrániče v instalaci. Vedle selektivních typů se stále častěji používají i proudové chrániče s krátkodobým zpožděním u nás známé jako typy G, které jsou odolné proti nežádoucím vybavením až do 3 kA (měřeno tvarem vlny 8/20  $\mu$ s). Jejich použitím se omezí nežádoucí vybavení, která jsou způsobena hlavně přechodnými jevy při spínání obvodů s kapacitami (dlouhá vedení, odrušovací kondenzátory) a dále činností svodičů přepětí. Právě zde vidíme zřejmý posun v přístupu většiny výrobců. Zatímco ještě před patnácti, dvaceti lety bylo toto téma zlehčováno a bylo důležité jen pro několik výrobců, dnes je již situace podstatně jiná. Všichni významní výrobci postupně doplnili svůj sortiment právě o typy s krátkodobým zpožděním, protože praxe ukázala, že bez jejich použití nelze zajistit dostatečnou spolehlivost proti nežádoucím vypnutím. Podíváme-li se do katalogů výrobců, setkáme se s různým obchodním označením, ale definice vlastností je prakticky stejná jako u nejstaršího typu G (patentován a vyráběn již od roku 1957), případně typu kv nebo KV (mírně modifikované vypínací charakteristiky pro odlišení od konkurence). Bez ohledu na obchodní označení se vždy jedná o podobné typy s krátkým zpožděním (nejčastěji 10 ms, případně jiné, např. 8 ms), které eliminuje vliv krátkodobých pulzů reziduálního proudu. [1]

S nástupem elektroniky se postupně stále více používaly svodiče přepětí, které ovšem velice často způsobovaly nežádoucí vybavení citlivých chráničů. Pro bezproblémový provoz je velice důležitá vzájemná koordinace mezi svodiči přepětí a proudovými chrániči, což byl dlouhou dobu neřešený problém zejména u citlivých přepět'ových ochran spotřebičů. Naštěstí je to již minulost, protože výrobci přepět'ových ochran se přestali dívat na elektrické instalace jen ze svého pohledu, ale začali řešit problém v kontextu celé instalace včetně proudových chráničů. Současně však došlo i k zavedení požadavku pro proudové chrániče bez zpoždění, které musejí mít odolnost proti rázovým proudům minimálně 250 A (8/20  $\mu$ s). Situace se zlepšila natolik, že v mnoha instalacích s malým výskytem přepětí stačí použít nezpožděné proudové chrániče. Podle vyjádření provozovatelů a revizních techniků se dnes u nových typů svodičů nesetkávají s problémy, které byly ještě před několika lety obvyklé. To je příklad pozitivního přístupu, kdy je při vhodné koordinaci možné současné využití různých ochranných přístrojů bez omezení pro uživatele. [1]

Vedle výše zmíněných dvou hlavních příčin nežádoucího vybavení, jakými jsou přechodné jevy při spínání kapacit a vliv funkce svodičů přepětí, je nutné zmínit ještě třetí příčinu, kterou je výskyt vyšších hodnot trvale unikajícího proudu. Z hlediska funkce proudového chrániče se jedná o správnou reakci na vzniklý reziduální proud, pro uživatele je však každé neočekávané vybavení vždy nepříjemné, a pokud není možné jednoduše omezit hodnotu trvale unikajícího proudu, je dobré mít alespoň informaci o okamžité hodnotě, aby bylo možné včas signalizovat zhoršený stav. Postupně se začínají nabízet elektronické přístroje pro monitorování reziduálních proudů. Pro jejich konstrukci platí samostatná norma ČSN EN 62020 *Přístroje pro monitorování reziduálního proudu pro domovní a podobné použití (RCM)*, která je určena pro přístroje do 125 A a napětí do 440 V AC. Vzhledem k miniaturizaci a pokročilé digitální technologii je možné uvedené přístroje integrovat i do nových typů proudových chráničů, které sdružují několik užitečných vlastností. [1]

### 1.3 Citlivost na různé druhy proudu

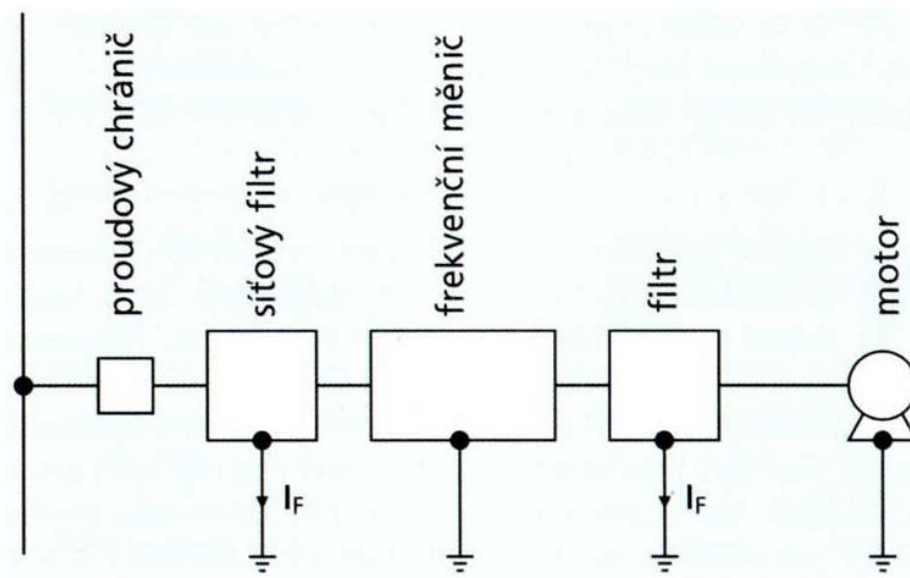
Další kapitolou ve vývoji požadavků na použití proudových chráničů je jejich citlivost na různé druhy proudů. Nejčastěji používané proudové chrániče jsou typu AC (citlivé pouze na střídavý reziduální proud) méně se používají typy A (citlivé na střídavý a pulzující stejnosměrný reziduální proud). Situace se ovšem postupně mění. Vlivem povinného používání typů A v Německu se zvýšil objem výroby. To s sebou přineslo snížení ceny, která se již přibližuje k cenám typu AC (podstatný rozdíl v ceně spočívá ve speciálním

magnetickém materiálu jádra pro rozdílové transformátory). Přestože v naprosté většině domovních instalací v sítích TN úplně postačí doposud používané chrániče typu AC, postupně dojde k jejich vytlačení cenově srovnatelnými typy A, které přitom mají lepší vlastnosti. Tím vznikne i jistá bezpečnostní rezerva do budoucna, kdy se budou stále více používat spínané napájecí zdroje a typ A bude lépe vyhovovat i těmto novým požadavkům. [1]

Samostatnou a technicky velice zajímavou oblastí jsou aplikace s proudovými chrániči typu B, které jsou citlivé na všechny druhy proudu (střídavé, pulzující stejnosměrné a stejnosměrné reziduální proudy). Jejich konstrukce je složitější, než kterou známe z typů AC a A, proto pro ně platí i samostatná norma ČSN EN 62423 *Proudové chrániče bez vestavěné a s vestavěnou nadproudovou ochranou pro domovní a podobné použití typu B (RCCB typu B, RCBO typu B)*. Pro detekci a vyhodnocení stejnosměrných reziduálních proudů je použit další elektronický obvod, který za pomoci vysokofrekvenčního generátoru proudu vyhodnocuje změny v magnetizaci jádra součtového proudového transformátoru. Chrániče typu B jsou technicky poměrně náročné, a tomu odpovídá i jejich cena. Trend v této oblasti je však nakloněn jejich používání (frekvenční měniče, zdravotnictví, spínané zdroje atd.) a s nárůstem požadavků na vyráběné množství se velice brzy rozšíří i počet výrobců, kteří mají zájem na výrobě tohoto typu. To se zákonitě odrazí i v prodejní ceně, která se postupně sníží na obecně přijatelnou úroveň. [1]

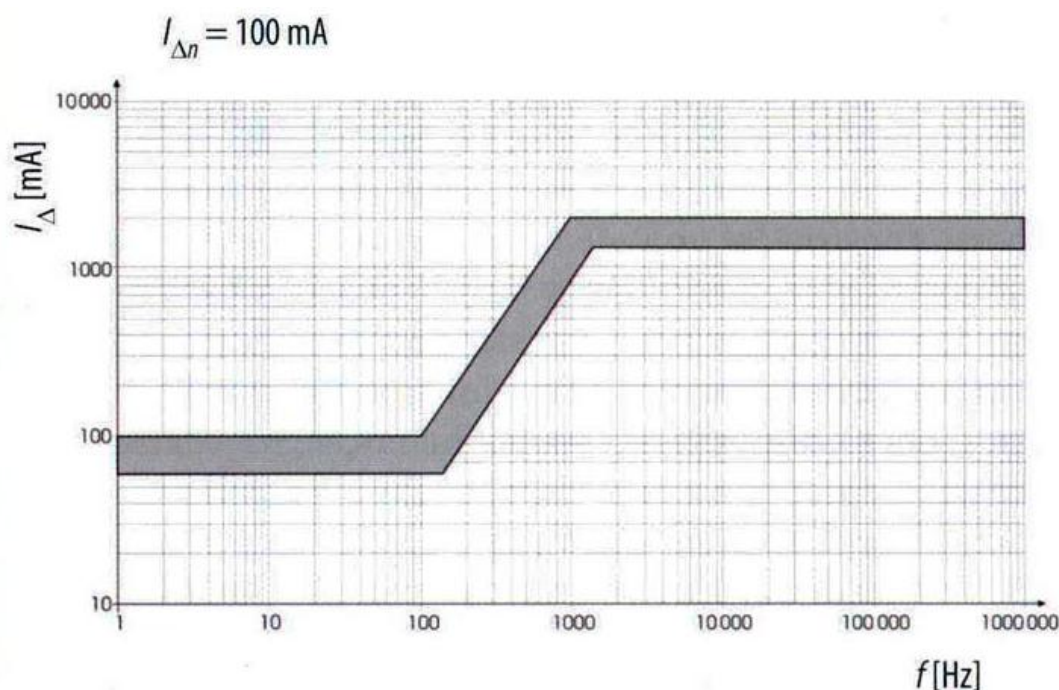
## 1.4 Ochrana obvodů s frekvenčními měniči

Počet aplikací s frekvenčními měniči rapidně narůstá a to s sebou přináší i nové požadavky na ochranu obvodů s proudovými chrániči. Jedná se často o elektrická zařízení s menšími výkony, která mají pohyblivé přívody, a je přitom požadována ochrana citlivým proudovým chráničem. Dále se setkáváme s požadavky na ochranu proudovými chrániči pro pevně instalovaná výkonná zařízení s frekvenčními měniči v prostorách se zvýšeným požárním rizikem, kde je povinně předepsáno použití proudového chrániče s citlivostí 300 mA. Pokud se nenajde jiný způsob, je nutné vyřešit společnou funkci frekvenčního měniče a proudového chrániče. Problém spočívá v tom, že s narůstající frekvencí se stále více projevuje funkce filtru generujícího zemní svodový proud, který ale předřazený proudový chránič vyhodnocuje jako reziduální proud (viz  $I_F$  na *Obr. 1.1*). [1]



Obr. 1.1 Vznik zemního svodového proudu při zapojení proudového chrániče v obvodu s frekvenčním měničem [1]

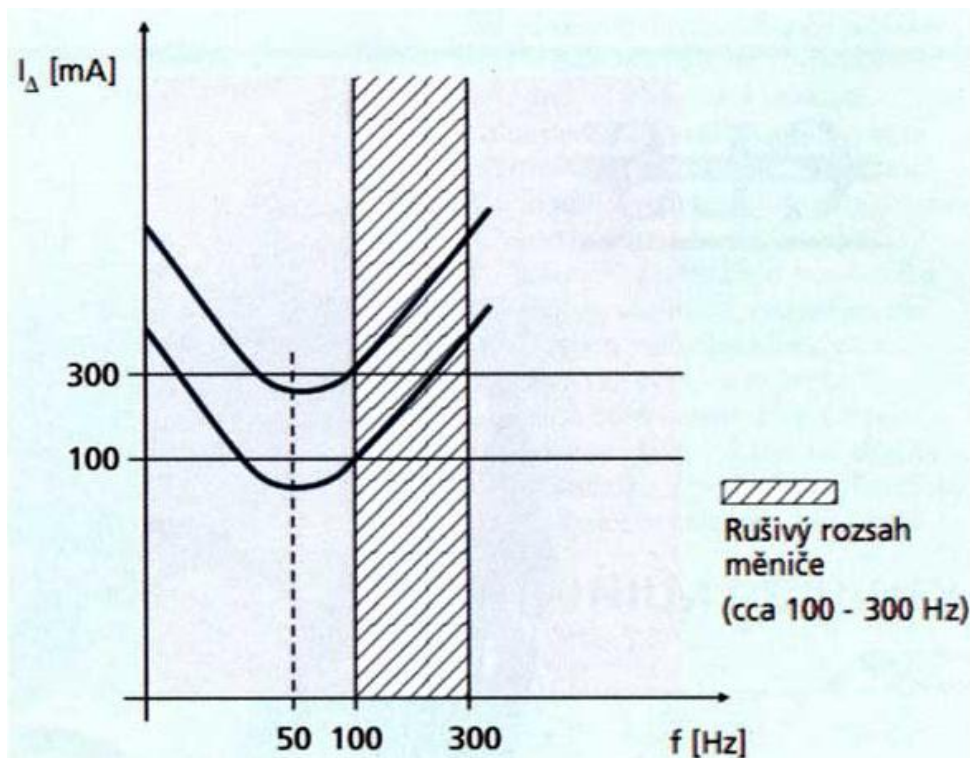
Pokud jeho velikost překročí určitou hodnotu, dojde k vypnutí chrániče. To je poměrně komplikovaný problém, protože se musí najít řešení pro protichůdné požadavky. Informace od výrobců nejsou často dostatečné, protože výrobci frekvenčních měničů zatím neudávají žádné konkrétní údaje o hodnotách zemních svodových proudů filtrů. Pro vyřešení tohoto problému je v současné době možné použít chrániče typu B s citlivostí na všechny druhy reziduálních proudů, jejichž frekvenční charakteristika zohledňuje činnost frekvenčních měničů. [1]



Obr. 1.2 Vypínací charakteristika proudového chrániče typu B v závislosti na frekvenci (tento typ je navržen i na správnou koordinaci s frekvenčními měniči) [1]



Tato kombinace je již uvedena v několika normách, ale jedná se stále o drahé řešení. Druhou možností je použití speciálního typu proudového chrániče typu A v provedení U (německy Umrichtfest), které jsou navrženy právě pro tyto aplikace (viz Obr. 1.3). [1]



Obr. 1.3 Vypínací charakteristika proudového chrániče v závislosti na frekvenci, provedení U [1]

Nahlédneme-li do dokumentace k frekvenčním měničům, nedozvíme se většinou žádnou konkrétní hodnotu zemních svodových proudů, a to ani pro doporučené typy motorů. Najdeme zde jen upozornění na uvedený problém, ale bez přesnějšího popisu řešení. O moc více se většinou nedozvíme ani přímým dotazem u prodejce nebo přímo u výrobce, protože koordinace s proudovými chrániči není zatím nijak ošetřena. Poněkud jednodušší situaci mají výrobci proudových chráničů, protože vlastnosti jsou dostatečně charakterizovány vypínací charakteristikou čas/proud a dále frekvenční charakteristikou. Problém je však ve vztahu ke konkrétnímu pohonu, takže provozovatel si musí většinou požadovanou kombinaci nakonec odzkoušet sám. Vzhledem k narůstajícím požadavkům a nejasnostem ohledně uvedeného zapojení je zřejmé, že v této oblasti musí brzy dojít ke sjednocení podmínek zejména na straně výrobců frekvenčních měničů. [1]

## 2 Proudový chránič

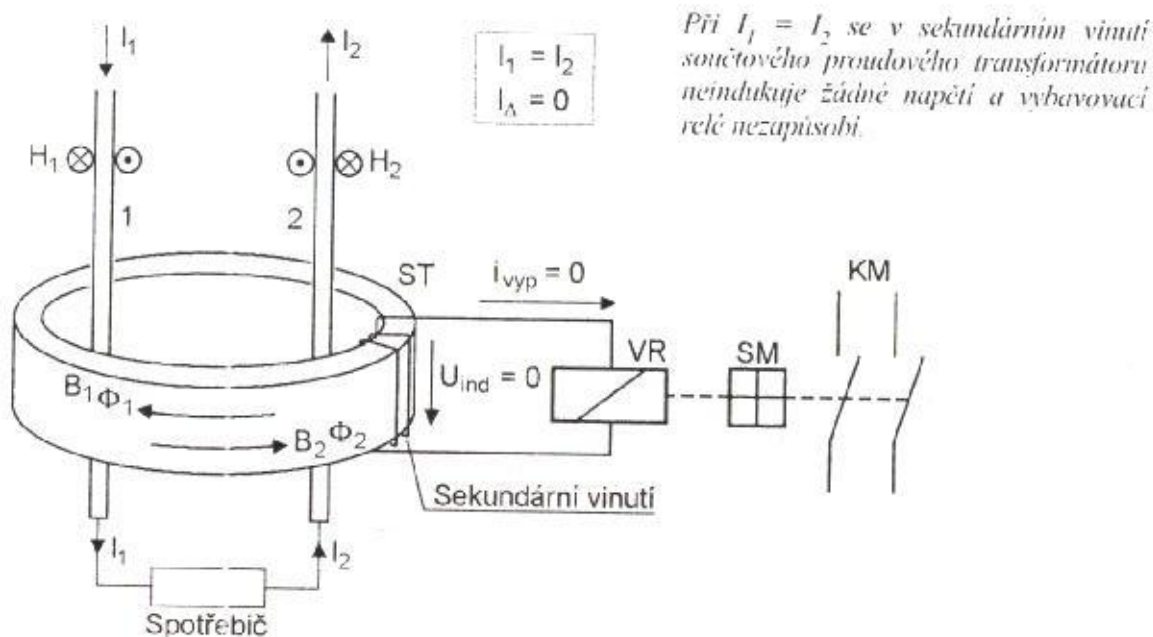
### 2.1 Princip funkce proudového chrániče

Proudový chránič pracuje na principu porovnávání proudů v pracovních vodičích, které procházejí jeho součtovým proudovým transformátorem. Za rovnovážného stavu, tj. bez poruchy, je součet okamžitých hodnot proudů roven nule. V jádru součtového proudového transformátoru se v daném okamžiku indukují dva magnetické toky od jednotlivých pracovních vodičů s opačnou orientací, jejichž výsledný součet je nulový, viz *Obr. 2.1*. V okamžiku vzniku zemního svodového proudu za proudovým chráničem začíná odtékat poruchový proud mimo pracovní vodiče a vzniká nerovnovážený stav. Tato nerovnováha způsobí vybuzení magnetického toku v jádru součtového proudového transformátoru. Vzniklé napětí na jeho výstupním vinutí vytvoří proud, který uvede v činnost vybavovací relé a to dá popud k vypnutí kontaktů proudového chrániče. Tím dojde k odpojení obvodu s poruchou od napájení. [2]

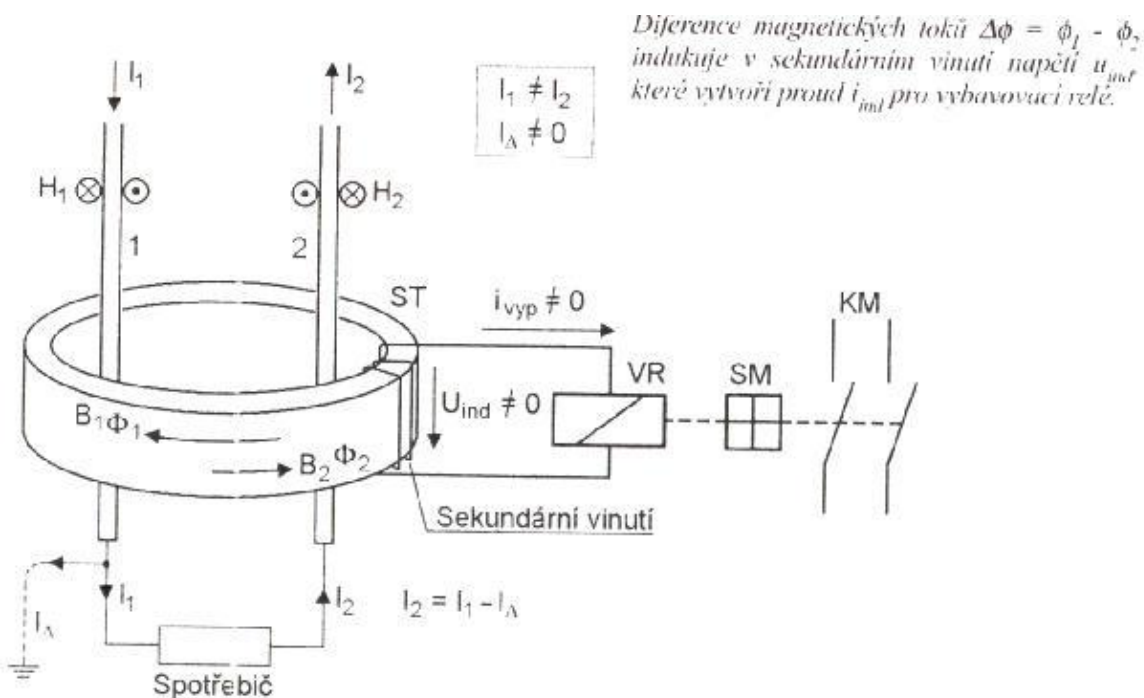
Fyzikálně je tento princip popsán prvním Kirchhoffovým zákonem, podle kterého se součet proudů do uzlu přitékajících musí rovnat součtu proudů z uzlu odtékajících, neboli vektorový součet proudů je roven nule. Pokud za tento uzel považujeme spotřebič nebo celou instalaci za proudovým chráničem, pak v případě poruchy odtéká z „uzlu“ zemní poruchový proud, který musí do uzlu přitékat některým z fázových vodičů. Právě tento nárůst proudu způsobí vznik magnetického toku v jádru součtového proudového transformátoru a to způsobí vybavení proudového chrániče. [2]

Proud  $I_{\Delta}$ , který uniká do země a tím způsobuje nerovnováhu mezi proudy v pracovních vodičích, se nazývá reziduální proud (tj. zbytkový proud mezi pracovními proudy), nebo také rozdílový proud. [2]

a) rovnovážný stav bez reziduálního proudu



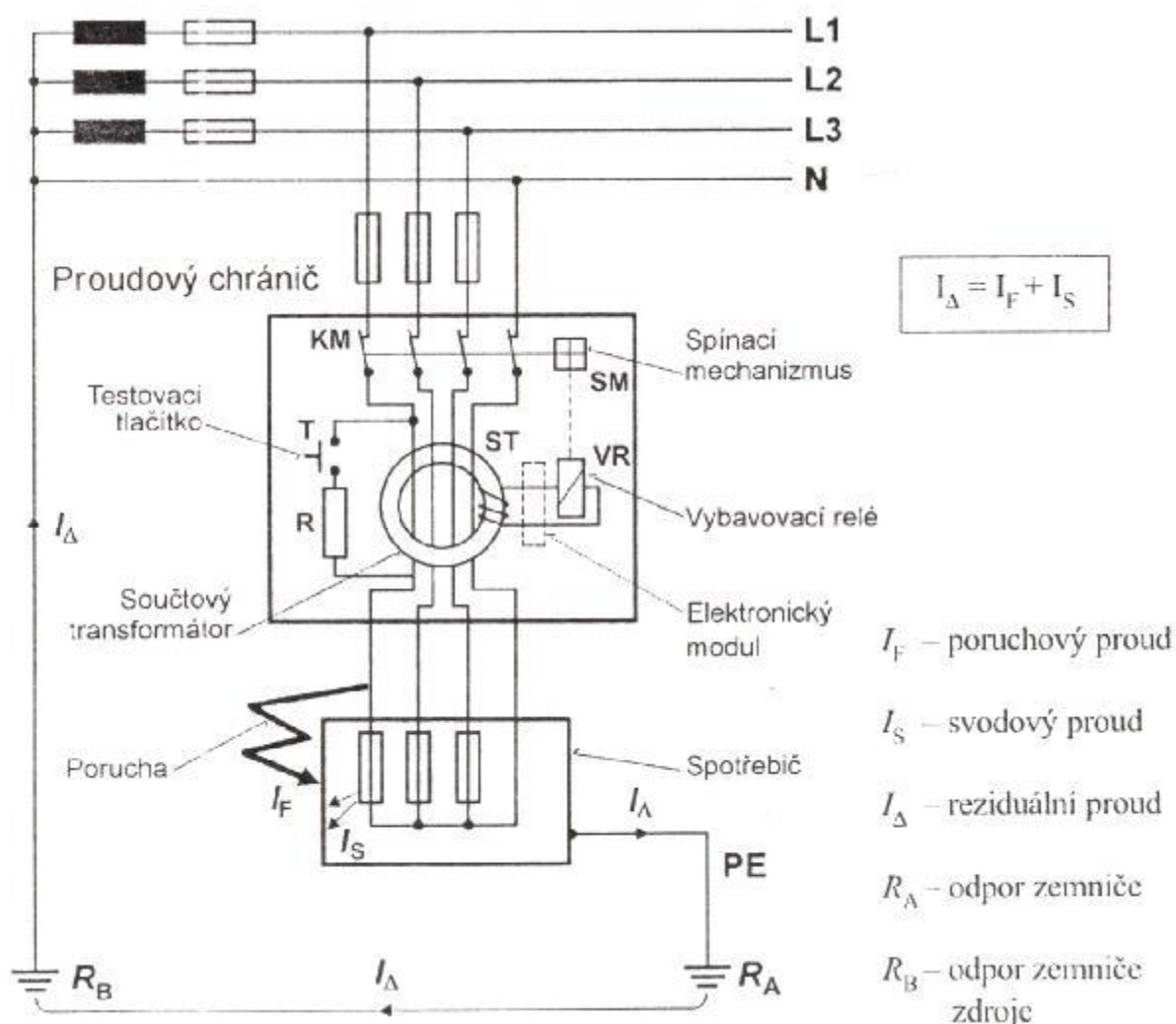
b) nerovnovážný stav – vlivem reziduálního proudu dojde k vybuzení magnetického toku



Obr. 2.1 Detekce reziduálního proudu součtovým proudovým transformátorem – fyzikální model [2]

Činnost proudového chrániče je zřejmá z Obr. 2.2. Proudový chránič se skládá ze tří základních konstrukčních částí – ze součtového proudového transformátoru, citlivého vybavovacího relé a spínacího mechanismu. Pro správnou funkci proudového chrániče musí součtovým transformátorem procházet všechny pracovní vodiče (L1, L2, L3, N) nebo pouze nezbytně nutné pracovní vodiče. Jestliže dojde za chráničem ke vzniku reziduálního proudu

tekoucího z fázového vodiče do země (zkrat na kostru stroje, příp. dotyk osoby), a pokud tento reziduální proud překročí hodnotu vybavovacího proudu chrániče, vybavovací relé zareaguje a spínací mechanismus vypne napájení. K tomuto rychlému odpojení poruchy od sítě dochází v časech od 10 do 30 ms, u zpožděných typů to je běžně několik desítek milisekund.



Obr. 2.2 Zapojení a činnost proudového chrániče (pro síť TT, TN, příp. v síti IT) [2]

Každý proudový chránič je povinně vybaven testovacím tlačítkem, kterým se ověřuje jeho funkčnost. Zkušební zařízení s tlačítkem TEST je zapojeno tak, že stisknutím tlačítka se vyvolá reziduální proud větší než  $I_{\Delta n}$ , což musí způsobit vybavení chrániče. Ověřování funkce testovacím tlačítkem se má provádět cca. jednou za 1 až 3 měsíce, někdy se uvádí termín až 6 měsíců. [2]

### **Citlivost proudového chrániče**

Každý proudový chránič je vyroben pro určitou hodnotu reziduálního proudu, který zajistí jeho spolehlivé vybavení. Tímto parametrem proudového chrániče, který stanovuje výrobce, je tzv. jmenovitý reziduální proud  $I_{\Delta n}$ . Je stanoveno, že proudový chránič nesmí vybavit při hodnotách reziduálního proudu do 50 %  $I_{\Delta n}$ , může vypínat v rozmezí od 50 do 100 %  $I_{\Delta n}$  a musí spolehlivě vypnout při reziduálním proudu 100 %  $I_{\Delta n}$  a všech proudůch vyšších. [2]

### **Ochrana před nadproudy**

Z principu funkce proudového chrániče vyplývá, že chránič bez vestavěné nadproudové ochrany reaguje na reziduální proud, ale nejistí před nadproudy v pracovních vodičích, tj. nereaguje na přetížení a na zkraty. Ochrana před nadproudy se proto musí zajistit předřazením pojistky nebo jističe, přičemž jmenovitý proud jisticího prvku předepisuje výrobce proudového chrániče. Z konstrukce proudového chrániče vyplývá jeden důležitý poznatek, a to, že proudový chránič neomezuje procházející proud, ale pouze hlídá vektorový součet proudů a při vzniku poruchy rychle vypíná napájení. [2]

Menší reziduální proudy vznikající při poruše proti ochrannému vodiči musí proudový chránič vypínat sám, případně musí být správně koordinován s jisticím přístrojem, který je schopný vypínat zkraty až do vysokých hodnot proudů. [2]

### **Unikající proudy elektrických zařízení**

Každý elektrický spotřebič či instalace vykazuje určitou hodnotu unikajícího (svodového) proudu  $I_S$ , který je dán kvalitou izolace elektrického zařízení, jeho konstrukcí a rovněž i působením vnějších vlivů (teplo, vlhko). Od hodnot unikajících proudů se odvíjí i výběr citlivosti proudového chrániče, pokud ovšem není stanovena (obvykle 30 mA). [2]

### **Vypínací časy při poruše**

Nejdůležitější vlastností proudového chrániče jsou krátké vypínací časy, které závisí na typu proudového chrániče a velikosti reziduálního proudu. Obvyklé vypínací časy při poruše, případně při použití vysoce citlivých chráničů i při dotyku osoby nepřesahují několik desítek milisekund. [2]

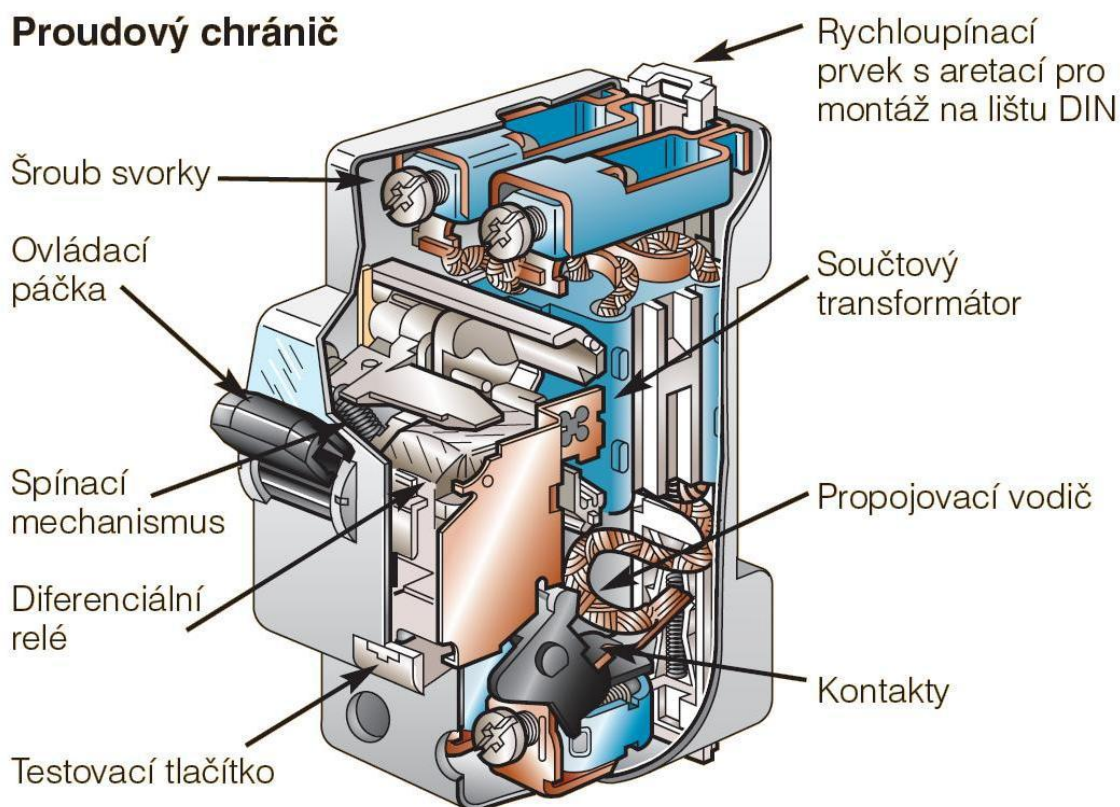
Zde je namístě upozornit na rozdíl mezi vypínacími časy  $I_{\Delta n}$  (vypínací časy získané při měření během revize zkušebním proudem) a skutečným poruchovým proudem, který je mnohonásobně větší než  $I_{\Delta n}$ . Zemní poruchový proud zajistí vypnutí ve velmi krátkých časech, a to i při použití selektivních typů. Z vypínacích charakteristik je zřejmé, že s narůstajícím reziduálním proudem vypínací čas proudových chráničů klesá a při skutečné

poruše nebo dotyku osoby se vypínací časy pohybují v jednotkách až desítkách milisekund. Je proto nutné mít na paměti, že vypínací čas při reálné poruše není stejný, jako vypínací čas získaný měřením při jmenovitém reziduálním proudu  $I_{\Delta n}$ . [2]

## 2.2 Konstrukční části proudových chráničů

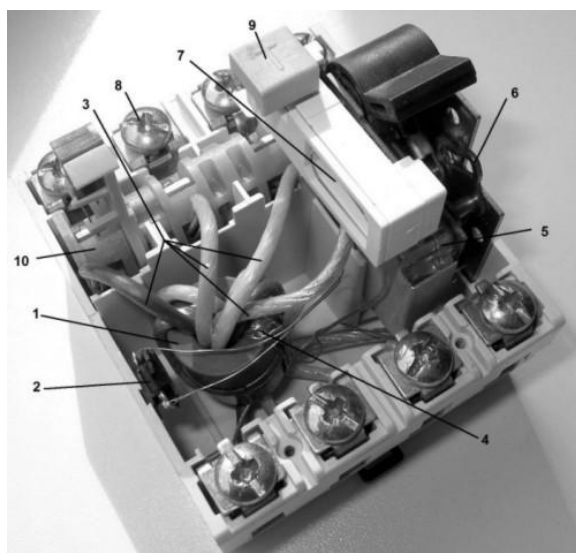
Každý proudový chránič sestává minimálně ze tří základních konstrukčních částí, které mají za úkol **detekovat a vyhodnocovat reziduální proud** a při překročení reziduálního proudu nad nastavenou hranici **vypnout kontaktní mechanismus**. Přitom není podstatné, o jaké provedení proudového chrániče se jedná. [2]

V této části jsou uvedeny základní informace o nejčastěji používaných chráničích nezávislých na napájecím napětí (FI). Základní požadavky norem na konstrukci však platí bez větších omezení pro všechny typy proudových chráničů. [2]



Obr. 2.3 Řez jednofázovým proudovým chráničem [3]





- 1) Součtový proudový transformátor
- 2) Omezovací diody (odolnost proti rázovým proudům)
- 3) Primární vinutí
- 4) Sekundární vinutí
- 5) Vybavovací relé
- 6) Vybavovací mechanismus
- 7) Odpor zkušebního zařízení
- 8) Třmenové svorky
- 9) Zkušební tlačítko
- 10) Kontaktní systém

Obr. 2.4 Pohled do proudového chrániče nezávislého na napájecím napětí citlivého na střídavý reziduální proud [4]

### ST – součtový proudový transformátor

Součtový proudový transformátor má tvar prstence (toroidní jádro), jehož průřez je závislý na typu, citlivosti a jmenovitém proudu chrániče. Jádro je vinuté, stočené z magneticky měkkého kovového pásu s vysokou permeabilitou ( $\mu_r$ ), který určuje i citlivost na různé druhy proudů (typ AC, A). Prochází jím všechny pracovní vodiče sledovaného obvodu, neboli proudovodné dráhy. Poměr počtu průvlaků primárního a sekundárního vinutí určuje citlivost. Součtový proudový transformátor je nejčastěji navržen jako proudový transformátor (pro běžný typ proudového chrániče bez zpoždění), ale rovněž je možné jej provozovat jako napěťový transformátor (zdroj vstupního a napájecího napětí pro elektronický obvod, typ G a S). [2]

### VR – vybavovací relé

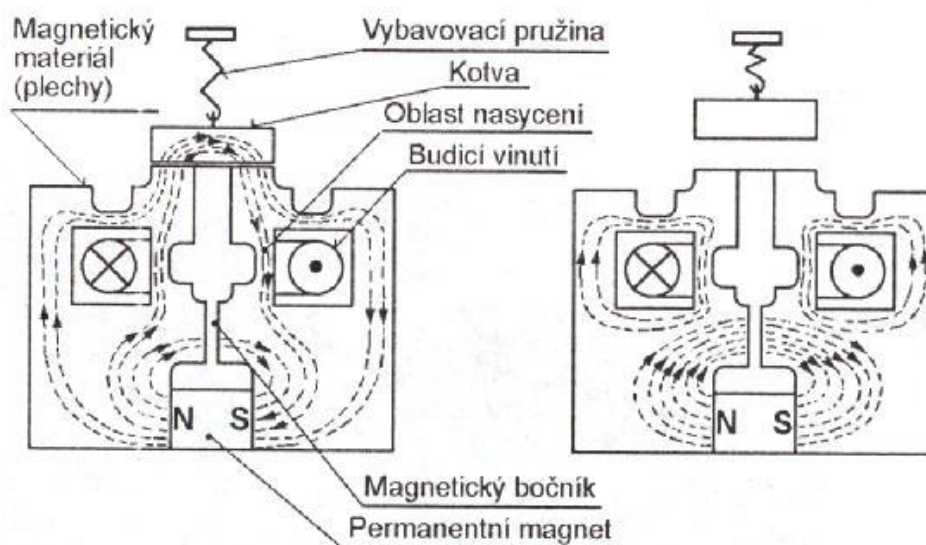
Vybavovací (nebo také diferenciální) relé je řešeno jako speciální relé s přidržovacím permanentním magnetem, u něhož zůstává pohyblivá kotva trvale přitažena magnetickým polem permanentního magnetu (Obr. 2.5). Tato přitažlivá síla magnetu je za klidového stavu větší než síla tažné pružiny, která se snaží odtáhnout kotvu od jha. V okamžiku přivedení proudu do budicí cívky je zeslabena přitažlivá síla permanentního magnetu a síla tažné pružiny odklopí kotvu relé. Pro vybavovací relé s permanentním magnetem se používá zkratka PMA. [2]



Obr. 2.5 Konstrukční provedení vybavovacího relé s permanentním magnetem s polarizovaným vybavováním – nejpoužívanější provedení [2]

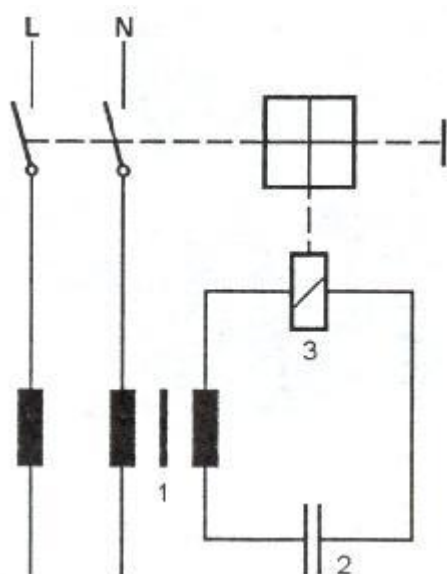
Budicí proud získaný ze sekundárního vinutí transformátoru je střídavý, takže zrušení přidržovací síly permanentního magnetu se děje jen v jedné polaritě. V případě tohoto obvyklého provedení relé proto hovoříme o **polarizovaném vybavovacím relé**. [2]

Vedle výše uvedené konstrukce existuje i jiná, starší provedení, kde se přidržovací síla trvalého magnetu přivedeným budícím proudem úplně neruší, ale magnetický tok je vytlačen do magnetického bočnicku. Zbytková přidržovací síla magnetu již kotvu dále neudrží a pružina odťáhne kotvu z pólových ploch. Vytlačení magnetického toku je nezávislé na polaritě proudu budicí cívky, a proto je toto provedení charakterizováno jako **nepolarizované vybavovací relé** (Obr. 2.6). Konstrukce tohoto relé je vhodná i pro proudové chrániče typu A, ale tutéž funkci lze dnes nahradit kondenzátorem zapojeným v sekundárním obvodu (Obr. 2.7). [2]



Obr. 2.6 Konstrukční provedení vybavovacího relé s permanentním magnetem s nepolarizovaným vybavováním [2]





1) Součtový proudový transformátor

2) Kondenzátor

3) Vybavovací relé

Obr. 2.7 Úprava zapojení sekundárního obvodu kondenzátorem u typu A [2]

### EM – elektronický modul

Funkci a charakteristiku proudového chrániče lze různě modifikovat. V základním provedení podle Obr. 2.2 lze zkonstruovat proudový chránič bez zpoždění s různým vybavovacím proudem. Pokud však musíme řešit například problém časového zpoždění, musí být mezi sekundární vinutí proudového transformátoru a vybavovací relé vřazen elektronický modul, který požadovaným způsobem upraví signál vybuzený v sekundárním vinutí. Tento elektronický modul se používá k dosažení požadovaných vlastností, jako například ke zlepšení citlivosti na pulzující stejnosměrný proud, zvýšení odolnosti proti rázovému proudu, k úpravě vypínací charakteristiky, případně ke zlepšení vlastností při různých frekvencích. Schéma zapojení s elektronickým modulem je zřejmé na Obr. 2.2. [2]

Elektronický modul může být navržen pro řešení následujících problémů:

#### a) zlepšení citlivosti na stejnosměrný pulzující proud

Pro dosažení požadovaných vlastností proudových chráničů typu A se jako nejjednodušší řešení používá sériově zapojený kondenzátor v sekundárním obvodu. Při impulzních stejnosměrných reziduálních proudech se vlivem tohoto sériového rezonančního kondenzátoru z jednosměrně polarizované magnetizace transformátoru vytváří přibližně symetrický signál střídavého proudu, kterým je buzena cívka vybavovacího relé, viz Obr. 2.7. [2]

#### b) zvýšení odolnosti proti rázovému proudu

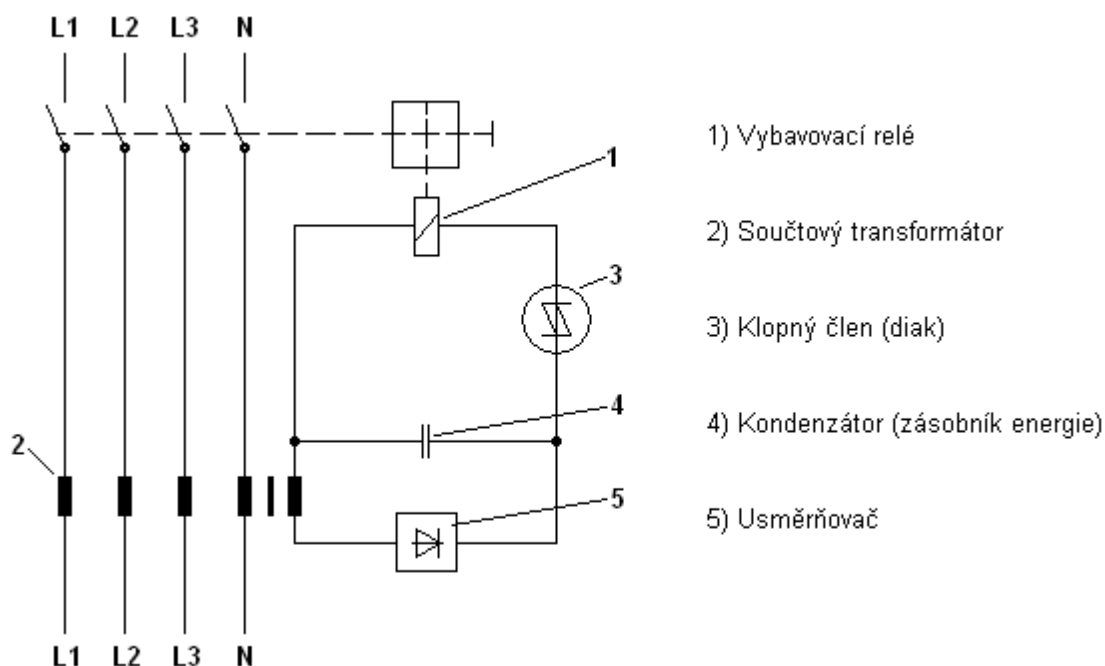
Útlumový člen na sekundární straně součtového transformátoru způsobí, že krátkodobé impulzy reziduálního proudu nezpůsobí nežádoucí vypnutí chrániče. [2]

Jako útlumový člen se mohou použít například dvě antiparalelně zapojené diody připojené na samostatné sekundární vinutí, které se při určité hodnotě rázového proudu dostávají do vodivého stavu a vytvoří v pomocném obvodu zkrat. Tím se vytvoří bočník, který sníží citlivost proudového chrániče tím, že spotřebovává část energie magnetického toku. Takto lze u běžných proudových chráničů (bez zpoždění) dosáhnout odolnosti do 250 A špičkové hodnoty rázového proudu, která je dnes povinně vyžadována. Pro vyšší odolnost než 250 A však již musí být použity složitější obvody, které současně zajišťují určité zpoždění vybavení. [2]

### c) zpoždění reakce proudového chrániče

Signál získaný ze sekundárního vinutí transformátoru se přivádí do elektronického modulu, který obsahuje zpožďovací obvod s kondenzátorem (*Obr. 2.8*). [2]

Výše popsaný modul je použit v proudových chráničích typu G. Stejným způsobem je řešen i selektivní typ S, který je nezbytný pro dosažení selektivního vypínání za sebou zapojených proudových chráničů. [2]



*Obr. 2.8 Schéma zapojení proudového chrániče se zpožděným vypínáním – typ G a S [2]*

### d) závislost na frekvenci

Elektronický filtr upravuje průběh vypínací charakteristiky proudového chrániče v závislosti na frekvenci, například pro obvody s jinou frekvencí než 50 Hz (např. 50 až 400 Hz). Další modifikací lze dosáhnout útlumu citlivosti pro určité frekvence, jež mají vliv

na nežádoucí vypínání. Jako příklad lze uvést speciální provedení proudových chráničů, které jsou určeny pro obvody s frekvenčními měniči (doplňkové označení U). Tyto typy mají zvláštní tvar frekvenční charakteristiky s potlačením citlivosti mimo oblast jmenovité frekvence 50 Hz. Tím je zohledněn režim provozu běžných frekvenčních měničů (unikající proudy filtrů). [2]

### **SM - spínací mechanismus**

Malá energie poskytovaná proudovým transformátorem pro iniciaci vybavovacího relé pochopitelně nepostačuje k přímému ovládní spínacího mechanismu, který vypíná kontakty. Potřebná energie nutná ke spínání kontaktů se nastřádá pomocí pružiny při ručním zapnutí ovládací páčky. V okamžiku reakce vybavovacího relé dojde k prolomení kloubu volnoběžky (případně u napětově závislých typů k odblokování zámku) a mechanický převod volnoběžky zajistí rozepnutí spínacího mechanismu. Celý spínací mechanismus je navržen tak, aby byla zajištěna spolehlivá funkce ve všech montážních polohách. [2]

### **KS – kontaktní systém a proudové dráhy chrániče**

Každá hlavní proudová dráha v proudovém chrániči musí být schopna vést po celou dobu životnosti zařízení jmenovitý proud, aniž by její části byly poškozeny nedovoleně vysokými teplotami. Spínací kontakty musí být schopné spínat jmenovitý proud, resp. 10násobek jmenovitého proudu tolikrát, kolikrát udávají příslušné předpisy (odolnost proti opálení a opotřebování). Vzdálenost rozpojených kontaktů musí zaručovat bezpečné elektrické odpojení, aby došlo nejen k provoznímu odpojení napájení, ale zároveň byla zaručena bezpečná vzdálenost vůči napětí zdroje. Izolace proudových drah musí zaručovat dielektrickou pevnost minimálně 2500 V střídavého napětí (50 Hz) a dále musí splňovat požadavek na impulzní výdržné napětí min. 6000 V s tvarem rázové vlny 1,2/50  $\mu$ s. [2]

### **Zkušební zařízení**

Všechny proudové chrániče musí být vybaveny zkušebním zařízením, které umožňuje prověřit jeho funkci pomocí tlačítka označeného symbolem T, popisem TEST (případně u typů HFI symbolem S, SERVICE). Stisknutím zkušebního tlačítka se přes zkušební odpor vyvolá reziduální proud, který teče mimo součtový proudový transformátor. U proudových chráničů s většími jmenovitými reziduálními proudy (obvykle nad 0,3 A) se pro testování nepoužívá přímého způsobu vybuzení přes pracovní vodič procházející proudovým chráničem, ale využívá se pomocného budicího vinutí, které slouží pouze pro účely testování funkce. Při jmenovitém napětí nesmí být magnetický tok indukovaný v součtovém proudovém transformátoru větší než 2,5násobek toku vyvolaného jmenovitým reziduálním

proudem  $I_{\Delta n}$ . Zkušební zařízení musí být účinné ještě při 0,8násobku jmenovitého napětí (pro 230 V). [2]

### **KR – kryt**

Kryt proudového chrániče poskytuje ochranu před přímým dotykem živých částí, které jsou pod napětím, tj. zejména svorek a musí splňovat požadavek na stupeň krytí.

Materiály krytu musí mít dostatečnou mechanickou i elektrickou pevnost, aby odolaly běžnému zacházení. Konstrukčně musí splňovat požadavky na povrchové cesty a vzdušné vzdálenosti a musí mít dostatečnou pevnost a odolnost proti vzniku plazivých proudů. Tepelná odolnost materiálu krytu zaručuje dostatečnou pevnost a odolnost proti všem běžným vnějším vlivům a mimo jiné musí odolávat i rozžhaveným částem, a to až do teplot několika set stupňů celsia (650, 860, příp. až 920 °C podle druhu zkoušky), aniž by došlo ke snížení pevnosti částí nesoucích živé části. [2]

Značení (potisk) na krytu informuje uživatele o typu, parametrech a dále o způsobu zapojení přístroje. Kvalita potisku je zkoušena na zkušebně předepsanými chemickými roztoky, které nahrazují lidský pot. Rozsah povinného značení, které musí být na přístroji uvedeno, předepisuje příslušná předmětová norma (*Tab. 2.1*). [2]

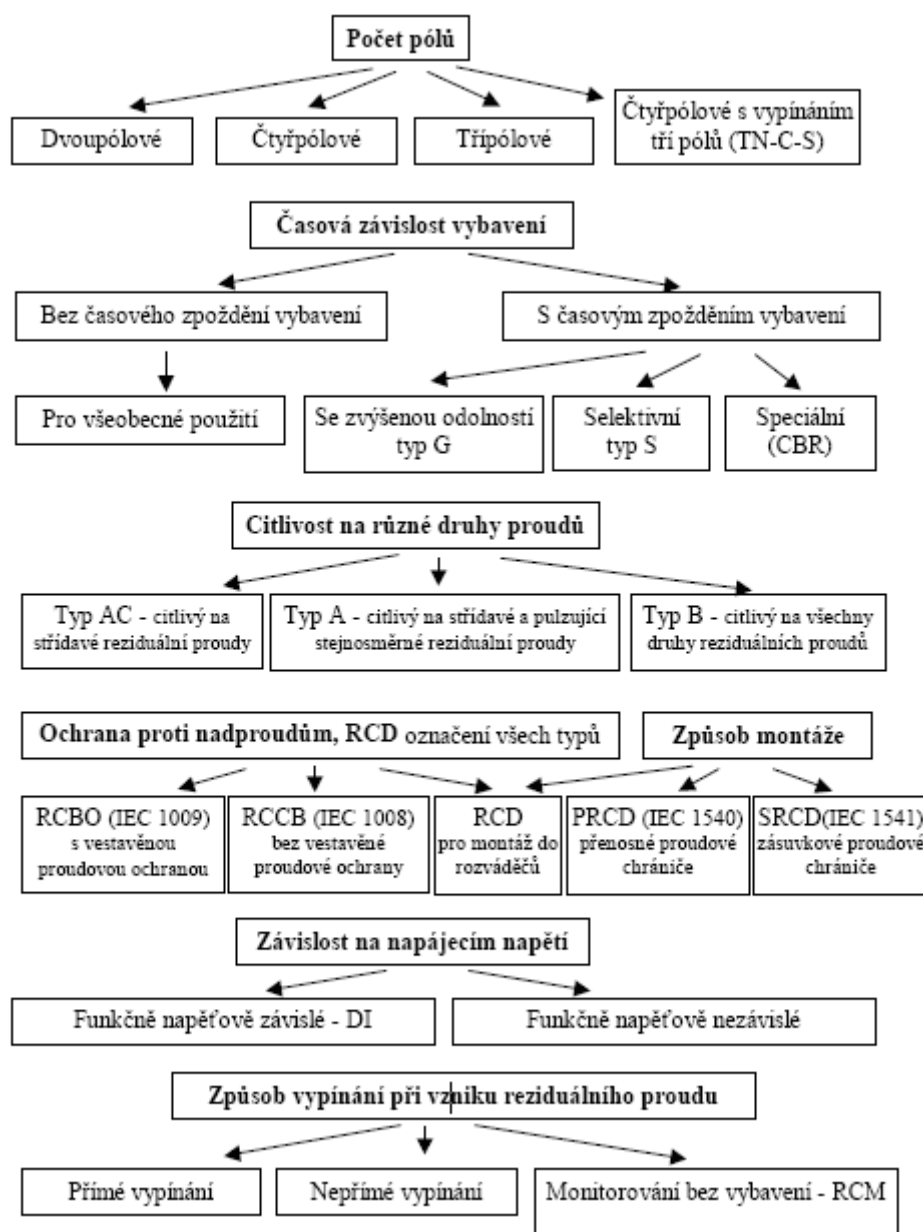
| Symbol | Popis  | Použití   |
|--------|--|---|
|        | 2pólový proudový chránič   | Pro jednotlivé spotřebiče   |
|        | 4pólový proudový chránič   | Pro 3fázové spotřebiče (při 2 a 3pólovém zapojení je nutné zajistit napájení pro testovací obvod) |
|        | Proudový chránič pro střídavé reziduální proudy  | Převážná většina obvodů   |
|        | Proudový chránič pro pulzující stejnosměrné a střídavé reziduální proudy                   | V obvodech usměrňovači, s podílem stejnosměrné pulzující složky proudu                            |
|        | Proudový chránič pro střídavé, pulzující a hladké stejnosměrné proudy                      | Průmyslové instalace s výkonovými řízeními usměrňovači, měniči atd.                               |
|        | Proudový chránič pro všeobecné použití odolný proti nežádoucímu vypnutí do 250 A (8/20 μs) | Běžné instalace bez nároků na odolnost proti nežádoucímu vybavení                                 |
|        | Selektivní, odolný proti rázovému proudu 5 kA (8/20 μs) – proud v pracovních vodičích      | Na začátku instalace před svodiči přepětí, selektivní řízení proud. chráničů                      |
|        | Zpožděný 10 ms, odolný proti rázovému proudu 3 kA – v pracovních vodičích                  | Pro všechny aplikace s vysokou odolností proti nežádoucímu vypnutí                                |
|        | Podmínečně rázově odolný 250 A (8/20 μs)   | Běžné instalace   |
|        | Pro všeobecné použití podmínečně rázově odolný   | Pro obvody s nárazovými proudy při zapnutí  |
|        | Proudový chránič, použitelný pro teploty do -25 °C (v příslušném krytu)                    | Zaručené parametry do udané teploty okolí   |
|        | Jmenovitá podmíněná zkratová odolnost 10 kA s předřazenou pojistkou 100 A                  | Jištění chráničů před zkraty  |
|        | Jmenovitý proud a jmenovité napětí chrániče při frekvenci 50 Hz                            | Volba podle jmenovitých hodnot elektrického zařízení  |
|        | Vypínací schopnost vestavěného jističe 10 kA třída selektivity 3                           | Ochrany před zkraty a přetížením  |
|        | Odolné proti nežádoucímu vybavení, které by mohly způsobit elektronické startéry zářivek   | (max. 20 zářivek v obvodu)  |

Tab. 2.1 Symboly používané na proudových chráničích a obvyklé kombinace symbolů pro různé typy proudových chráničů [2]

## 2.3 Typy a charakteristiky proudových chráničů

Proudové chrániče můžeme dělit z různých hledisek a je vhodné znát základní odlišnosti jednotlivých typů. Důležité vlastnosti proudových chráničů jsou zakódovány v údajích a symbolech potisku a při jejich znalosti většinou nepotřebujeme žádné další informace.

Přehled typů proudových chráničů podle různých hledisek je na Obr. 2.9. [2]



Obr. 2.9 Přehled typů proudových chráničů podle různých hledisek [2]

### 2.3.1 Počet pólů

Proudové chrániče se nejčastěji vyrábějí v dvoupólovém a ve čtyřpólovém provedení, což je pro praktické použití naprosto postačující.

**Funkce proudového chrániče není závislá na počtu pracovních vodičů**, a proto je možné provozovat čtyřpólový proudový chránič se čtyřmi, třemi nebo i dvěma pracovními vodiči. Pokud nemá spotřebič zapojen střední vodič, procházejí čtyřpólovým proudovým chráničem pouze fázové vodiče. To je případ třífázového spotřebiče bez vyvedeného středu, což je běžné v obvodu s asynchronním motorem. Jediný problém může nastat se správnou funkcí zkušebního obvodu, kdy musí být vhodně propojeny volné svorky pro zachování

funkce tlačítka TEST. Běžně se počítá s tím, že zkušební zařízení proudového chrániče navržené pro sdružené napětí (400 V) bude bez problému pracovat i s fázovým napětím (230 V). Protože se zapojení zkušebního obvodu může lišit i u různých typových řad od téhož výrobce (zapojení mezi fázemi nebo proti střednímu vodiči), lze doporučit univerzální řešení – do vstupních svorek vždy zapojit všechny pracovní vodiče a výstupní svorky zapojit pro požadovaný počet vodičů. [2]

Proudové chrániče musí být zkonstruovány tak, aby pól N zapínal v předstihu a vypínal se zpožděním. Toto opatření zajistí přednostní odpojení fázových vodičů, což má význam u čtyřpólových chráničů, kde se tímto opatřením omezí vznik přepětí při odpínání spotřebiče s větším příkonem. Podobně je řešeno odpínání pólu N u dvoupólových přístrojů. [2]

### 2.3.2 Funkční závislost na napájecím napětí

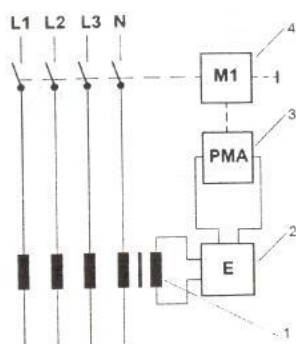
Podle funkční závislosti na napájecím napětí se v normách pro proudové chrániče uvádějí dvě skupiny:

- a) proudové chrániče funkčně nezávislé na napájecím napětí (typ FI),
- b) proudové chrániče funkčně závislé na napájecím napětí (typ DI).

#### a) Proudové chrániče funkčně nezávislé na napájecím napětí

Proudové chrániče funkčně nezávislé na napájecím napětí (FI) nepotřebují ke své činnosti žádnou pomocnou energii a využívají pouze nastrádanou mechanickou energii pružiny získanou při zapínání. Energie potřebná pro iniciaci vypnutí spínacího mechanismu se odebírá přímo z výstupního signálu součtového proudového transformátoru. Na *Obr. 2.10* je schéma napěťově nezávislého typu proudového chrániče. Jediná závislost na napájecím napětí se týká zkušebního zařízení, které dokáže vyvolat potřebný reziduální proud jen v určitém rozmezí napětí. Ochranná funkce je však stále v pohotovosti, a to při libovolné hodnotě napětí sítě. [2]

Je zřejmé, že velice citlivé vybavovací relé a precizní mechanismus jsou i přes svoji technickou vyspělost limitujícím faktorem pro další zvyšování provozní spolehlivosti celého přístroje. [2]



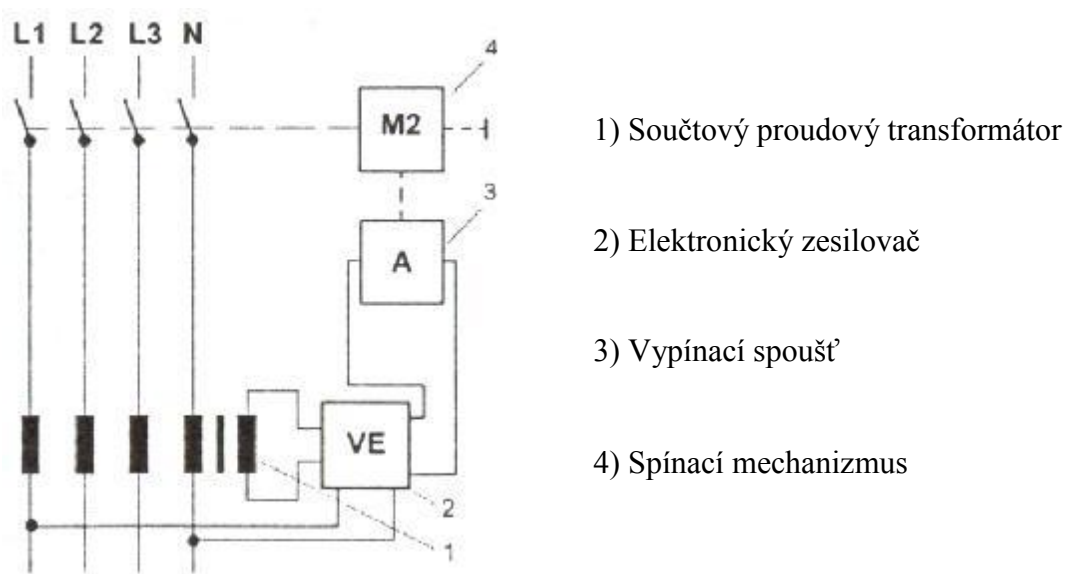
- 1) Součtový proudový transformátor
- 2) Elektronický zpoždovací obvod pro typy G, S
- 3) Vybavovací relé (PMA)
- 4) Citlivý spínací mechanismus

Obr. 2.10 Schéma zapojení proudového chrániče funkčně nezávislého na napájecím napětí (FI) [2]

## b) Proudové chrániče funkčně závislé na napájecím napětí

U proudových chráničů funkčně závislých na napájecím napětí (DI) se napětí z vinutí součtového transformátoru zesílí pomocí elektronického zesilovače a takto získaný výkon se použije pro aktivaci robustního vybavovacího relé (spouště). Pro spolehlivou funkci přitom postačuje podstatně menší průřez magnetického materiálu součtového transformátoru, než je tomu u napětově nezávislých typů. Zde totiž stačí pouze detekovat signál s nepatrným výkonem nutným pouze pro vybuzení vstupu zesilovače. Elektronický zesilovač je trvale připojen na napájecí síť a poskytuje dostatečný výkon pro vybavovací spoušť. Díky malému sycení součtového proudového transformátoru je proudový chránič odolnější proti přesycení stejnosměrným pulzujícím proudem. [2]

Obr. 2.11 znázorňuje hlavní konstrukční celky proudového chrániče závislého na napájecím napětí. Výkonová vybavovací spoušť působí přímo na volnoběžku, případně na jednoduchý zámek, což umožní použít robustní konstrukci spínacího mechanismu s vysokou spolehlivostí srovnatelnou se spolehlivostí mechanismů malých jističů. [2]

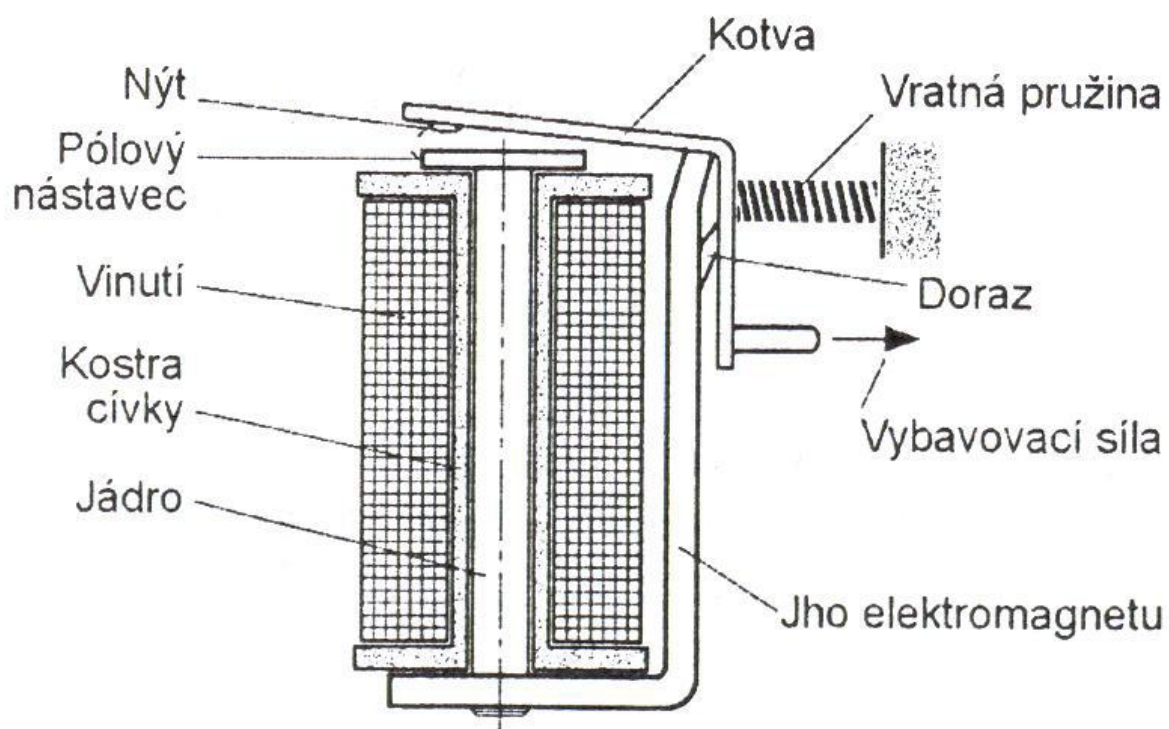


Obr. 2.11 Schéma zapojení proudového chrániče funkčně závislého na napájecím napětí (DI) [2]

Kritickým konstrukčním dílem napětově závislých chráničů stále ještě zůstává elektronický zesilovač, jehož dlouhodobá provozní spolehlivost je ovlivněna trvalým připojením na napájecí napětí. Pro zajištění odolnosti a stability elektronického zesilovače se do chráničů integrují prvky proti poruchovým vlivům, jakými jsou změny teploty, vlivy spínacích a atmosférických přepětí atd. Nejnovější typy napětově závislých chráničů mají již srovnatelnou spolehlivost jako napětově nezávislé typy, a to díky jednoduché a vysoce spolehlivé konstrukci spínacího mechanismu a robustního vybavovacího relé. [2]



Abychom si mohli objasnit, co funkčně napěťově závislé typy umožňují, musíme si všimnout právě jejich **chování při výpadku napájení**. Z konstrukčního hlediska přicházejí v úvahu dvě možnosti, a to že chránič při výpadku napájení samočinně vypne, nebo zůstane v zapnuté poloze i při výpadku napájecího napětí. Tato vlastnost vybavení či nevybavení závisí na účelu použití a na konstrukci, zejména na provedení vybavovacího relé. Vybavovací spoušť může být provedena dvojím způsobem podle toho, o jaké provedení se jedná. Buď je v zapnutém stavu bez proudu a reaguje pouze na přivedené napětí ze zesilovače, nebo jí za klidového stavu trvale protéká proud a jeho velký pokles nebo úplná ztráta vyvolá vybavení chrániče. V obou případech se jedná o spoušť s funkcí na přítah – viz *Obr. 2.12*. [2]



*Obr. 2.12* Řez vybavovací spouští s funkcí na přítah [2]

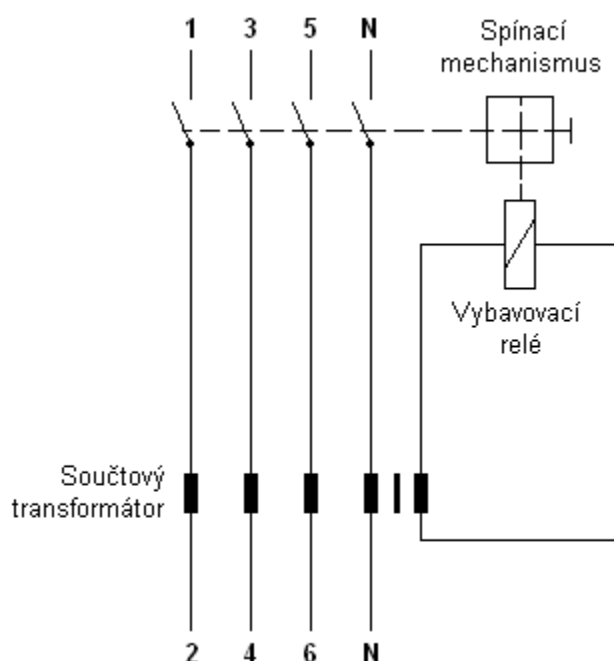
**Proudové chrániče vypínající při výpadku napájecího napětí** nejsou v pevných instalacích prakticky použitelné. I po obnovení napájení zůstane chránič vypnutý a musí být zapnut obsluhou. Tato vlastnost se však s výhodou využije u skupin chráničů určených pro pohyblivou montáž, kde se tímto opatření zamezí nežádoucímu rozběhu pracovního stroje nebo ručního elektrického nářadí po krátkodobém výpadku napájení. Stejně tak ji lze využít pro ochranu před podpětím v síti, kde je nastavená hranice vybavení například na 170 V, případně při úplném výpadku. Takto jsou řešeny proudové chrániče pro pohyblivou montáž (PRCD). [2]

**Proudové chrániče nevypínající při výpadku napájecího napětí** mají tu vlastnost, že při ztrátě nebo výpadku napájení zůstávají v zapnutém stavu, ale vypínají jen při vzniku reziduálního proudu. Takto jsou řešeny typy určené pro montáž do rozvaděčů. [2]

Funkční závislost proudových chráničů na napájecím napětí bývá obecně považována za hlavní nevýhodu této konstrukce. Z pohledu bezpečnosti provozu však tato vlastnost není příliš na závadu, protože chránič DI neplní svoji funkci jen tehdy, není-li přítomno napájecí napětí. Jinými slovy, není-li přítomno napětí, nemůže dojít ani k úrazu elektrickým proudem. Skutečně podstatným argumentem, který znevýhodňuje napěťově závislé typy, je jejich omezený pracovní rozsah napájecího napětí. Stanovené závazné rozmezí, kdy chránič musí spolehlivě pracovat, je od 85 V až do  $1,1 U_n$  u dvupólových chráničů. U vícepólových chráničů je spodní hranice  $0,7 U_n$ . [2]

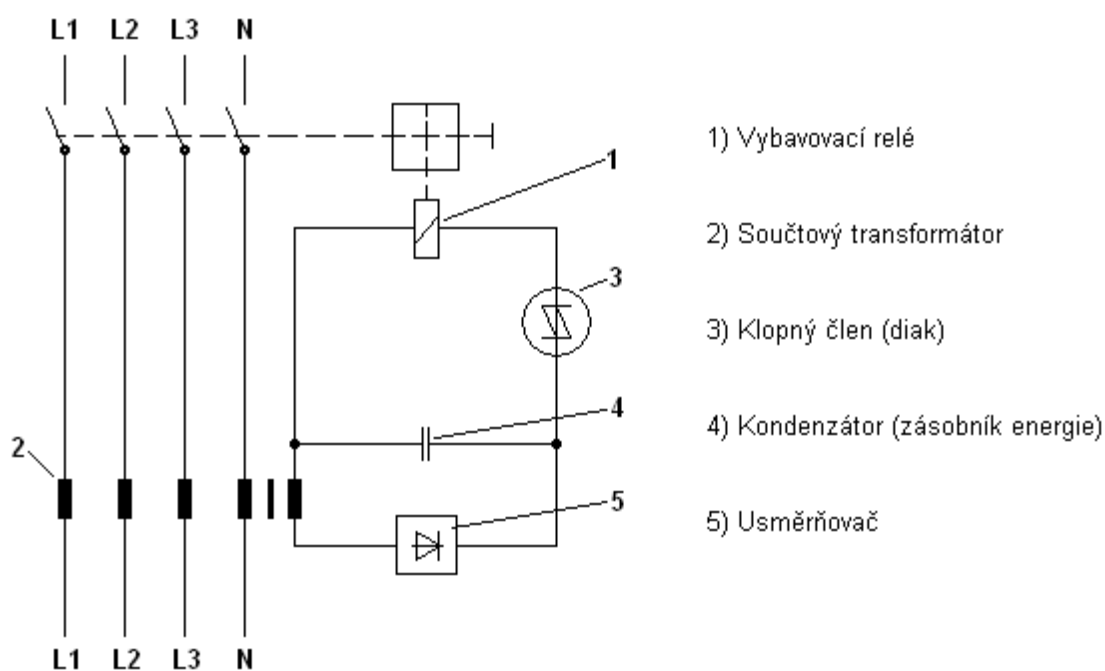
### 2.3.3 Časová závislost vypnutí proudového chrániče

Na Obr. 2.13 je znázorněn nejpoužívanější typ proudového chrániče bez zpoždění, který vypíná ihned po vzniku reziduálního pracovního proudu potřebného pro vypnutí (reziduální pracovní proud je vždy nižší nebo rovný jmenovitému reziduálnímu proudu). Vypínací čas je téměř stálý pro různě velké násobky reziduálního proudu a je nezávislý na době jeho trvání. [2]



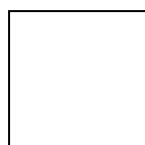
Obr. 2.13 Schéma zapojení proudového chrániče pro všeobecné použití – bez zpožděného vypínání [2]

Na Obr. 2.14 je znázorněn **proudový chránič se zásobníkem energie**, který zajistí zpožděné vypnutí chrániče až po určité době po dosažení reziduálního pracovního proudu. Zásobníkem energie je kondenzátor zapojený přes usměrňovač paralelně k sekundárnímu vinutí součtového transformátoru. Při vzniku napětí v sekundárním vinutí se začne nabíjet kondenzátor. V okamžiku, kdy napětí dosáhne prahového napětí klopného členu (diak), se klopný člen stane vodivým a kondenzátor se vybije do vinutí vybavovacího relé, které spustí volnoběžku vypínacího mechanismu. Smyslem tohoto zapojení je zamezit nežádoucímu vypínání proudového chrániče krátkými pulzy reziduálního proudu. Při průchodu krátkého pulzu proudu chráničem nestačí jeho energie dostatečně nabít kondenzátor, a tudíž nedojde k vybavení relé. Vypínací čas je tedy nepřímou závislostí na době trvání reziduálního proudu a vypínací charakteristika má proto klesající průběh. [2]



Obr. 2.14 Schéma zapojení proudového chrániče se zpožděným vypínáním – typ G a S [2]

### Označení typu chrániče podle časové závislosti vypnutí



Proudový chránič pro všeobecné použití – nezpožděný.

Podmínečně odolný proti rázovému proudu 250 A při tvaru vlny 8/20  $\mu$ s.

Vypínací čas není zdola omezen, proto reaguje i na krátké proudové rázy.

Splňuje podmínky ochrany osob před přímým i nepřímým dotykem.

**G**

Proudový chránič s dobou nepůsobení nejméně 10 ms (se zpožděním 10 ms).

Zvýšená odolnost proti rázovým proudům do 3 kA - 8/20  $\mu$ s.

Horní hranice vypínací doby je stejná jako u chráničů pro všeobecné použití (bez zpoždění).

Splňuje podmínky ochrany osob před přímým i nepřímým dotykem.

Užívá se všude, kde je třeba omezit nežádoucí vypínání proudových chráničů krátkými proudovými rázy (svodiče přepětí D atd.).

**S**

Proudový chránič s dobou nepůsobení nejméně 40 ms – selektivní

(se zpožděním 40 ms).

Vysoká odolnost proti rázovému proudu 5 kA, u typů FN až 6 kA - 8/20  $\mu$ s.

Splňuje podmínky i pro rychlost vypnutí 0,4 a 0,2 s pro ochranu neživých částí.

Typ S se užívá jako hlavní chránič, případně se svodiči přepětí třídy C.

Výrazně omezuje nežádoucí vypínání.

V Tab. 2.2 jsou uvedeny vypínací časy pro proudové chrániče při různých reziduálních proudech  $I_{\Delta}$ .

Dále je předepsáno, že proudový chránič nesmí vybavit, nepřekračuje-li střídavý reziduální proud hodnotu  $0,5 I_{\Delta n}$ . Při hodnotách  $I_{\Delta}$  v rozmezí od  $0,5$  do  $1 I_{\Delta n}$  má dojít k vybavení a při hodnotě  $I_{\Delta n}$  a více musí proudový chránič vybavit. [5]

| Typ chrániče             |                                       | Vypínací čas [s] pro        |                              |                              |                     |
|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
|                          |                                       | $I_{\Delta} = I_{\Delta n}$ | $I_{\Delta} = 2I_{\Delta n}$ | $I_{\Delta} = 5I_{\Delta n}$ | $I_{\Delta} = 500A$ |
| <input type="checkbox"/> | Pro všeobecné použití<br>bez zpoždění | < 0,3                       | < 0,15                       | < 0,04                       | < 0,04              |
| <b>G</b>                 | Se zpožděním min.<br>10 ms            | 0,01 – 0,3                  | 0,01 – 0,15                  | 0,01 – 0,04                  | 0,01 – 0,04         |
| <b>S</b>                 | Selektivní se<br>zpožděním min. 40 ms | 0,13 – 0,5                  | 0,06 – 0,2                   | 0,05 – 0,15                  | 0,04 – 0,15         |

Tab. 2.2 Meze vypínacích časů proudových chráničů při zkoušce střídavým reziduálním proudem [5]

### 2.3.4 Citlivost na různé druhy proudů

Podle citlivosti na různé druhy reziduálních proudů se rozlišují proudové chrániče typu AC, A a B.

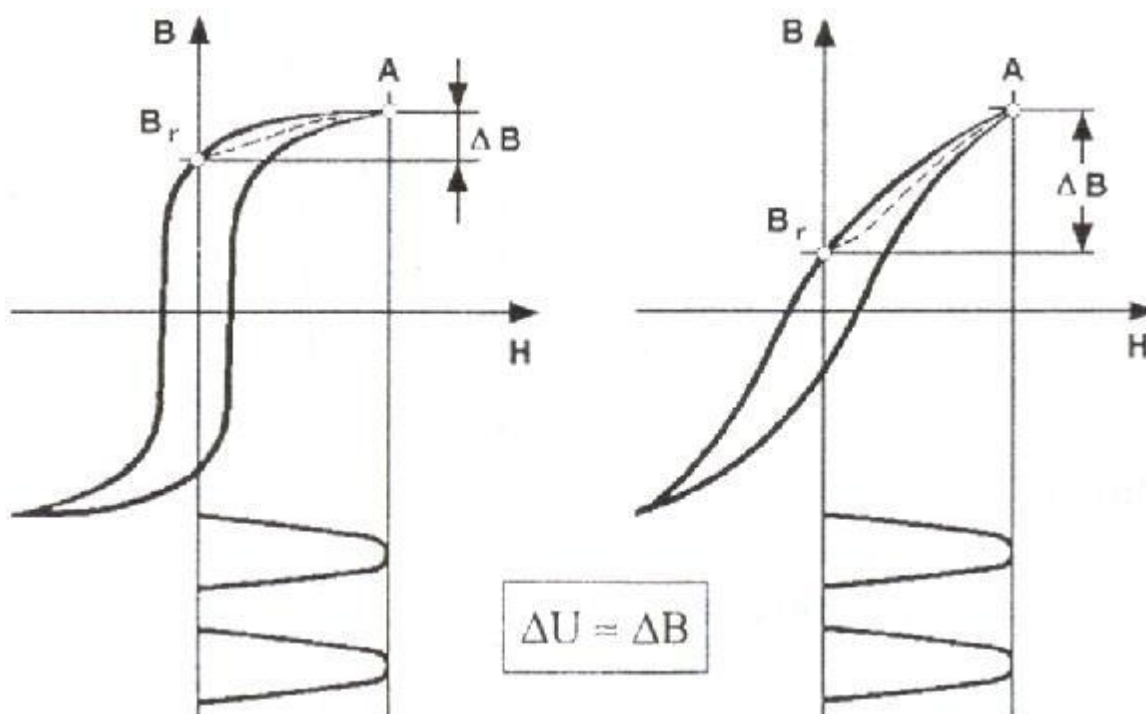
**Proudové chrániče typu AC** jsou vhodné pro ochranu všech druhů elektrických zařízení, je-li zajištěno, že se v chráněném obvodu vyskytují jen střídavé reziduální proudy. Pulzující stejnosměrné (DC) složky reziduálního proudu mohou mít za následek snížení reakční citlivosti. [2]

**Proudové chrániče typu A** jsou vhodné pro použití v elektrických zařízeních, v nichž se vyskytují jak střídavé, tak i pulzující stejnosměrné reziduální proudy, případně s přítomností malé hodnoty hladkého podílu stejnosměrného reziduálního proudu. [2]

Pro porovnání jsou na *Obr. 2.15* zobrazeny tvary magnetizačních charakteristik materiálů pro chrániče typu AC a A. Z *Obr. 2.15a* je zřejmý malý indukční zdvih  $\Delta B$ , který je závislý na vysoké remanentní indukci  $B_r$ . To vede k již zmíněnému snížení reakční citlivosti u typu AC při výskytu pulzujícího stejnosměrného reziduálního proudu. [2]

a) materiál s vyšší remanencí – pro typ AC

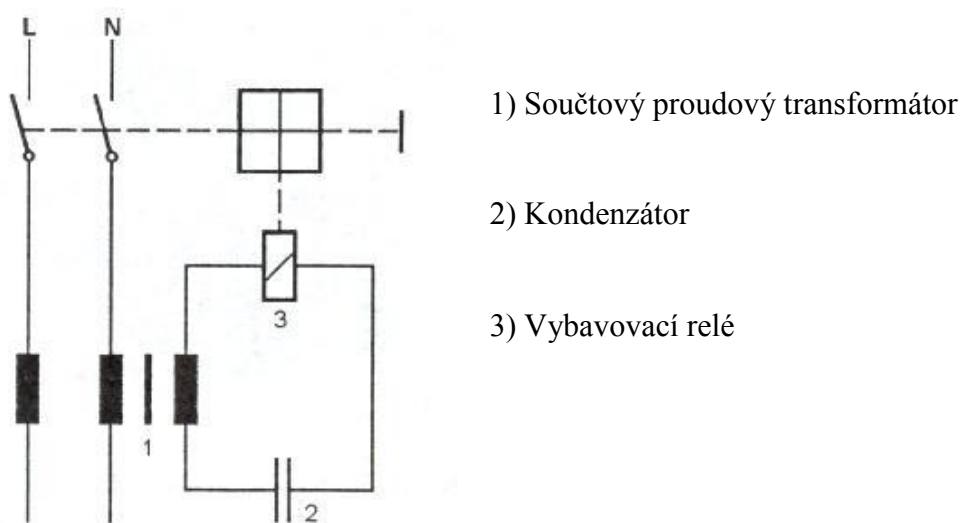
b) materiál s nižší remanencí – pro typ A



*Obr. 2.15* Tvar magnetizační křivky materiálu součtového proudového transformátoru [2]

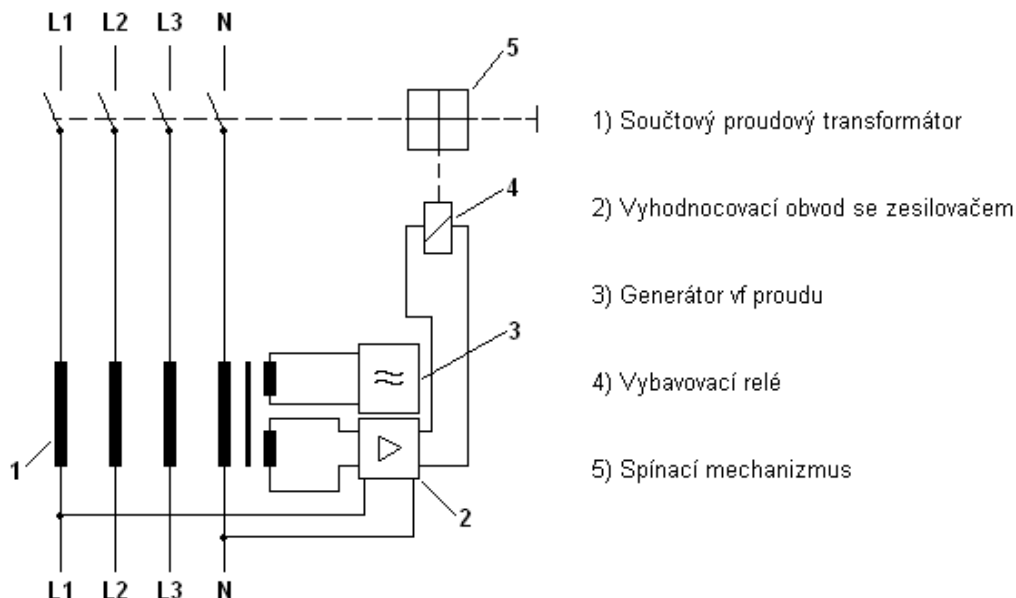
Velikost indukovaného napětí v sekundárním vinutí závisí především na změně magnetického toku v jádru transformátoru. Největší indukované napětí vzniká, jestliže při

sinusovém střídavém reziduálním proudu probíhá magnetizační charakteristika materiálu transformátoru přibližně až k hranici maximální indukce ( $B_{MAX}$ ). Protože je u proudových chráničů citlivých na impulzní proud buzení jádra transformátoru pólováno, tzn. budící reziduální proud působí jen jedním směrem, musí použitý materiál jádra vykazovat nízký remanentní bod  $B_R$ , aby byl indukční zdvih  $\Delta B$  co největší, a tedy aby indukované napětí v sekundárním vinutí bylo co největší. Dalším opatřením ke zlepšení citlivosti na pulzující složku proudu DC se dosahuje tím, že se signál mezi sekundárním vinutím součtového měřicího transformátoru a vybavovacího relé přizpůsobuje pomocí sériově zařazeného kondenzátoru (Obr. 2.16). [2]



Obr. 2.16 Úprava zapojení sekundárního obvodu kondenzátorem u typu A [2]

**Proudové chrániče typu B** reagují na střídavé reziduální proudy, pulzující stejnosměrné proudy a také hladké stejnosměrné reziduální proudy. Jejich konstrukční řešení je odlišné od běžných proudových chráničů, protože již z principu funkce transformátoru vyplývá, že nelze detekovat hladký stejnosměrný reziduální proud. Při určitém zjednodušení lze říci (viz Obr. 2.17), že proudové chrániče typu B sestávají ze speciálního součtového transformátoru, který je doplněn přídatnou částí obsahující vysokofrekvenční generátor. Generátor budí toroidní transformátor konstantním proudem a tím v něm vytváří střídavý magnetický tok. Vyhodnocovací elektronický obvod sleduje změnu hodnoty napětí, která se mění s hodnotou intenzity magnetického pole jádra transformátoru. Pokud se vlivem reziduálního proudu změní magnetické poměry v toroidu, změní se hodnota sekundárního napětí  $U_2$ . Je-li tato změna významná, je vyhodnocena jako porucha a elektronický obvod dá popud k vybavení spínacího mechanismu. [2]



Obr. 2.17 Princip vyhodnocování hladkého stejnosměrného reziduálního proudu (typ B) [2]

Druhou možností pro vyhodnocení vzniku stejnosměrného reziduálního proudu je udržování sekundárního napětí na konstantní hodnotě pomocí zpětné vazby budicího generátoru s tím, že jsou vyhodnocovány změny budicího proudu  $I_1$ , které jsou ovlivněny změnou intenzity magnetického pole  $H$  ( $H = N \cdot I_1$ ). [2]

## 2.4 Parametry proudových chráničů

### 2.4.1 Jmenovitý reziduální proud a odvozené parametry

#### Jmenovitý reziduální proud $I_{\Delta n}$

Je hlavním parametrem proudového chrániče, k němuž jsou vztaženy podmínky pro ochranu před nebezpečným dotykem. Hodnota reziduálního proudu určená výrobcem, při které musí proudový chránič za předepsaných podmínek vybavit. Jedná se o údaj vyznačený na chrániči, k němuž se vztahují vypínací charakteristiky. [2]

#### Reziduální proud $I_{\Delta}$

Efektivní hodnota výsledného vektoru okamžitých hodnot proudů tekoucích hlavním obvodem proudového chrániče. Rozdílový proud  $I_{\Delta}$  je jakákoliv hodnota proudu, která je nižší, rovna nebo vyšší než  $I_{\Delta n}$ . [2]

### Reziduální vybavovací proud $I_{\Delta a}$

Hodnota vybavovacího reziduálního proudu, při které dojde za specifikovaných podmínek k uvedení proudového chrániče do činnosti. Pro tuto konkrétní hodnotu je rovněž možné označení minimální vybavovací proud. [2]

### Reziduální nevybavovací proud $I_{\Delta no}$

Hodnota reziduálního proudu, při které (včetně hodnot nižších) chránič za předepsaných podmínek nevybaví. Je určen hranicí  $0,5 I_{\Delta n}$ . Hodnoty nepracovního a pracovního proudu jsou ve výrobě nastavovány na cca  $0,75 I_{\Delta n}$ . [2]

### Mezní doba nepůsobení $t_{\Delta n}$

Maximální doba, po kterou může na proudový chránič působit vyšší hodnota reziduálního proudu než je hodnota jmenovitého reziduálního proudu  $I_{\Delta n}$ , aniž by ho skutečně uvedla do činnosti. Tento údaj charakterizuje proudové chrániče se zpožděním typu G a S, kde je předepsána mezní doba nepůsobení 10 ms pro typ G a 40 ms pro typ S. [2]

## 2.4.2 Jmenovitý proud kontaktů

Jmenovitý proud kontaktů určuje pouze proudovou zatížitelnost proudového chrániče. Při instalaci musí být respektovány údaje výrobce. [2]

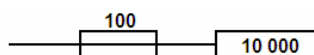
## 2.4.3 Odolnost chráničů proti zkratu a přetížení

Hlavní parametry vztahující se k odolnosti před nadproudy (přetížení a zkrat) jsou:

**Jmenovitá zapínací a vypínací schopnost  $I_{\Delta m}$ :** efektivní hodnota střídavé složky předpokládaného reziduálního proudu určená výrobcem, který může proudový chránič zapínat, přenášet a vypínat za stanovených podmínek. Tento parametr se vztahuje ke zkratovému proudu v pracovních vodičích.

**Jmenovitá reziduální zapínací a vypínací schopnost  $I_{\Delta m}$ :** efektivní hodnota střídavé složky předpokládaného reziduálního proudu určená výrobcem, který může proudový chránič zapínat, přenášet a vypínat za stanovených podmínek. Tento parametr se vztahuje ke zkratovému proudu mezi pracovním a ochranným vodičem.

Hodnota jmenovitého proudu předřazeného jisticího prvku podmiňuje zatížení kontaktů a zkratovou odolnost proudového chrániče (označení podmíněná zkratová odolnost, viz *Obr. 2.18*). [2]



*Obr. 2.18 Označení pro podmíněnou zkratovou odolnost 10 kA (zkratová odolnost proudového chrániče do předpokládaného zkratového proudu 10 kA je podmíněna předřazenou pojistkou 100 A) [2]*



Proudový chránič bez vestavěné nadproudové ochrany musí být jištěn před zkratem a přetížením, stejně jako tomu je u ostatních spínacích přístrojů.

#### 2.4.4 Jmenovité napětí

Jmenovité napětí udává, pro jaké napětí sítě je proudový chránič konstruován. Převážná většina proudových chráničů v Evropě je konstruována pro napětí 230/400 V. U proudového chrániče funkčně nezávislého na napájecím napětí (typu FI) je určujícím prvkem předřadný odpor testovacího obvodu (zkušebního zařízení). Pokud je nutné používat chránič pro snížené napětí, je nutné odzkoušet funkci testovacího obvodu, případně proudový chránič doplnit vnějším testovacím obvodem navrženým pro snížené napětí. Hodnota zkušebního proudu nemá překročit  $2,5 I_{\Delta n}$ . Pro použití proudového chrániče funkčně závislého na napájecím napětí (DI), je jmenovité napětí jednoznačně dané a tento typ nelze použít pro jiné napětí. Běžně udávané rozmezí jmenovitých napětí je například 127 až 240 V, případně u novějších provedení například 70 až 240 V AC. [2]

#### 2.4.5 Teplota okolí

Ve vnitřních instalacích se standardně považuje za dostačující rozsah okolních teplot od  $-5$  do  $+40$  °C. Tento pracovní rozsah není na potisku uváděn žádnou značkou. Pro náročnější aplikace je však nutno použít vyšší odolnost. V předpisech pro proudové chrániče se uvádí i nižší teplota  $-25$  °C, pro kterou se používá značka ve tvaru sněhové vločky s tímto číselným údajem teploty okolního vzduchu – viz *Obr. 2.19*. Hodnota  $-25$  °C je dostačující pro montáž ve venkovním prostředí samozřejmě při zachování příslušného krytí přístroje (umístění ve vhodném krytu nebo v rozvaděči s vyšším krytím). Pokud je proudový chránič použit v prostředí s teplotou mimo uvedený pracovní rozsah, dochází k posunu parametrů přístroje. [2]



*Obr. 2.19 Označení proudových chráničů pro okolní teplotu od  $-25$  °C [2]*

#### 2.4.6 Frekvence

Naprostá většina proudových chráničů je konstruována pro frekvenci 50 Hz (příp. 60 Hz) a všechny parametry jsou vztaženy k této hodnotě. Pro výjimečné případy, kde se používá vyšší frekvence (200 nebo 400 Hz např. pro pohony náradí s asynchronními motorůky), je nezbytné posoudit vhodnost použití speciálního typu proudového chrániče určeného i pro

vyšší frekvence. Jak vyplývá z principu funkce, pro přenos energie se používá indukční vazba součtového proudového transformátoru, která je silně závislá na frekvenci. [2]

## 2.5 Třídění podle způsobu instalace

Podle účelu použití a typu instalace lze vybrat vhodný typ proudového chrániče. Přestože se jedná o různá konstrukční provedení, platí pro ně společná pravidla pro konstrukci a použití (vypínací charakteristiky, citlivost na různé druhy proudů, jmenovitý proud, ochrana před nadproudy atd.). [2]

### 2.5.1 Proudové chrániče bez nadproudové ochrany (RCCB)

Proudové chrániče bez nadproudové ochrany jsou nejčastěji používanými typy. Nezbytnou podmínkou pro spolehlivou funkci proudových chráničů bez vestavěné nadproudové ochrany je zajištění ochrany před nadproudy. Pokud jsou dodrženy podmínky výrobce na hodnotu předřazené pojistky, nevzniká riziko poškození kontaktů při zkratu, protože propuštěná energie pojistkou nebo omezujícím jističem je poměrně malá. Použití neomezujících (výkonových) jističů nespĺňuje požadavky na předjističení, i když hodnota jmenovitého proudu zdánlivě vyhovuje (propuštěná energie je příliš velká). [2]

### 2.5.2 Proudové chrániče s vestavěnou nadproudovou ochranou (RCBO)

Proudové chrániče s vestavěnou nadproudovou ochranou jsou nejčastěji navrženy jako kompaktní přístroje, které sdružují funkci proudového chrániče a jističe. Vestavěný jistič řeší problém ochrany před nadproudy, a to jak pro kontakty spínacího mechanismu, tak pro instalaci. Spínací mechanismus je využit i pro proudový chránič. Elektrické a mechanické vlastnosti jsou proto dány kombinací vlastností proudového chrániče (citlivost na reziduální proud, vypínací charakteristika chrániče) a jističe (jmenovitý proud, vypínací schopnost, vypínací charakteristika). [2]

### 2.5.3 Jistič zahrnující proudový chránič (CBR)

Jednou z modifikací přístrojů, které mají společné rysy s proudovými chrániči s vestavěnou nadproudovou ochranou (RCBO), je jistič zahrnující proudový chránič (CBR). CBR mohou mít všechny obvyklé varianty, a to z pohledu funkční závislosti na napájecím napětí, citlivost na různé druhy proudů, typu vypínací charakteristiky proudového chrániče, podle časového zpoždění, typu vypínací charakteristiky jističe atd. [2]

Podle účelu použití lze skupinu proudových chráničů CBR dělit na přístroje určené pro domovní instalace a dále na přístroje pro větší jmenovité proudy. [2]

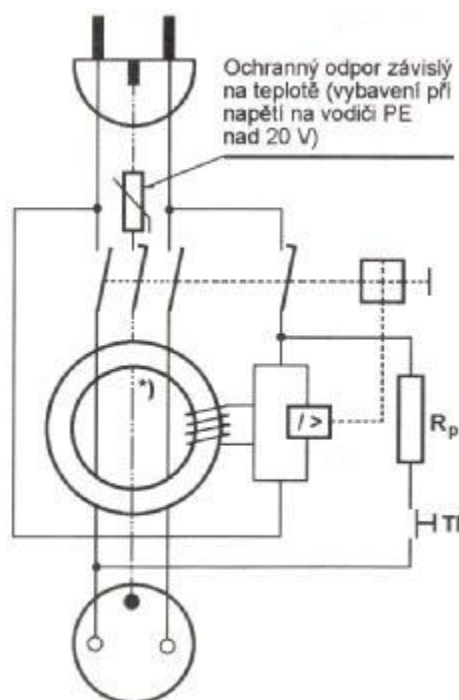
#### 2.5.4 Proudové chrániče pro pohyblivou montáž (PRCD)

Velmi zajímavým provedením jsou proudové chrániče pro pohyblivou montáž neboli přemístitelné proudové chrániče. Ty slouží ke zlepšení úrovně ochrany osob při práci s elektrickými spotřebiči, zejména s ručním elektrickým náradím a spotřebiči, které se používají v prostředí se zvýšeným rizikem úrazu (venkovní prostředí). Konstrukční provedení je řešeno jako zásuvkový adaptor, případně jako přístroj pro vřazení do přívodní šňůry ke spotřebiči (například pro malý pracovní stroj). Citlivost je běžně 30 mA, zcela výjimečně někteří výrobci nabízejí i provedení 10 mA (problémy s unikajícími proudy). [2]

Proudové chrániče typu PRCD jsou funkčně napět'ově závislé (DI) vypínající při poklesu napájecího napětí pod určitou hranici (například pod 170 V). Opětovné zapnutí po výpadku napájení musí provést obsluha, což je výhodou u malých pracovních strojů, kde je takto zajištěna ochrana obsluhy proti samovolnému spuštění stroje po přechodné ztrátě napětí. [2]

Jmenovitý proud nepřekračuje 16 A. V převážné většině se jedná o chrániče typu A citlivé na pulzující stejnosměrné proudy. [2]

Oproti běžným dvoupólovým proudovým chráničům se PRCD vyznačuje tím, že ochranný vodič prochází jádrem součtového proudového transformátoru, což je v pevné instalaci zakázáno. **Průvlak vodiče PE má opačnou orientaci** oproti pracovním vodičům L a N – viz *Obr. 2.20*. Toto řešení je výhodné tím, že při záměně fázového a ochranného vodiče za proudovým chráničem dochází při průchodu pracovního proudu ochranným vodičem k okamžitému vybavení. Proudový chránič typu PRCD není součástí pevné instalace, ale musí zajistit ochranu při všech poruchách na přenosných zařízeních s pohyblivým přívodem včetně možných závad prodlužovacích přívodů. Další výhodnou vlastností typu PRCD je samočinné vybavení v případě zavlečení napětí na neživou část z cizí poruchy, pokud toto napětí překročilo 20 V. Za tímto účelem je v obvodu ochranného vodiče instalován termistor (odpor za studeného stavu je cca 0,5  $\Omega$ ), jehož pomocí je průběžně porovnáváno napětí na vstupu a výstupu PRCD. [2]



Obr. 2.20 Schéma zapojení proudového chrániče pro pohyblivou montáž [2]

Odpínání ochranného vodiče spínačem je v pevné instalaci obecně zakázáno, ovšem v tomto zvláštním případě je zajišťována funkce i pro případy přítomnosti nebezpečného dotykového napětí na ochranném vodiči. Rozpojení ochranného vodiče proběhne se zpožděním oproti pracovním vodičům a při zapínání proběhne sepnutí v předstihu. [2]

Proudové chrániče pro pohyblivou montáž jsou často používanými ochrannými přístroji při řemeslných pracích venku, kde se pro napojení přenosných elektrických spotřebičů a ručního elektrického nářadí používají zásuvky bez proudových chráničů (rozvody TN-C). [2]

### 2.5.5 Proudové chrániče pro dodatečné zabudování do instalační krabice (SRCD)

Samostatnou skupinku přístrojů tvoří proudové chrániče pro dodatečné zabudování do instalační krabice (SRCD), které je možné použít i ve starších instalacích s dvojvodičovým rozvodem. Výhodou je snadná montáž a zajištění zvýšené ochrany na úroveň doplňkové ochrany živých částí ( $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ ). [2]

Konstrukčně se jedná o typ bez zpoždění, bez závislosti (případně se závislostí) na napájecím napětí (DI), nevypínající při ztrátě napájecího napětí. Přesto by se dalo říci, že toto provedení je ideální, například pro zvýšení ochrany v koupelnách. Všeobecně se typy SRCD a výše zmíněné typy PRCD (přenosné provedení) nedoporučují pro trvalé používání v pevných instalacích a měly by sloužit po nezbytně dlouhou dobu jako vhodné, ale pouze dočasné řešení. Jistá dávka nedůvěry zřejmě vyplývá z toho, že se často jedná o typy závislé na

napájecím napětí. Proudové chrániče typu SRCD mohou nebo nemusí mít průvlak vodiče PE skrze proudový transformátor. S tím souvisí i způsob měření při revizi. [2]

### 2.5.6 Proudové chrániče s nepřímým vypínáním

Kompaktní proudové chrániče se jmenovitým proudem nad 100 A jsou vyráběny v malých sériích a cena těchto přístrojů je proto poměrně vysoká. Pro tyto případy jsou nabízeny levnější, ale přitom technicky srovnatelné proudové chrániče s nepřímým vypínáním. Takovýto proudový chránič sestává ze samostatného průvlakového transformátoru, samostatného chráničového relé a výkonového spínače. Jednotlivé komponenty se instalují podle možností na různá, ne příliš vzdálená místa, nejlépe v jednom rozvaděči a jednotlivé části se vzájemně propojují vodiči. V nabídce výrobců se vyskytují proudové transformátory s různými průměry otvorů (od několika desítek až do stovek mm), a to jak v základním uzavřeném provedení (pro provlečení vodičů), tak i dělené transformátory (pro dodatečnou montáž). Proudové chrániče s nepřímým vypínáním jsou dle příslušné normy zařazeny do zvláštní třídy, pro kterou jsou povoleny vyšší vypínací časy (5 s pro  $I_{\Delta n}$ , 300 ms pro  $2 I_{\Delta n}$  a 150 ms pro  $5 I_{\Delta n}$ ). [2]

Chráničová spoušť je nejčastěji selektivního typu, funkčně nezávislá na napájecím napětí. Proudový chránič s nepřímým vypínáním lze zapojit dvojím způsobem. Při použití stykače dojde při ztrátě napětí k vypnutí a po obnovení napájení k zapnutí, kdežto jistič (případně vypínač) se spouští na podpětí zajistí spolehlivé vypnutí při ztrátě napětí. [2]

U proudových chráničů s většími jmenovitými reziduálními proudy (cca nad 0,3 A) se pro testování nepoužívá přímého způsobu vybuzení, protože zkušební proudy vyžadují poměrně velký příkon. Pro testování vybavení je proto použito pomocné vinutí, které je přes testovací tlačítko a předřadný odpor buzeno ze sítě. Tím se vyvolá stejná magnetizace jádra transformátoru, jakou by vytvořil poměrně velký zkušební proud protékající jedním pracovním vodičem. Zkušební proud, a tedy i ztrátový výkon zkušebního obvodu, se takto mnohonásobně sníží v poměru ampéřzávitů pomocného vinutí. S tímto způsobem se můžeme setkat i v miniaturním provedení u chráničů s funkční závislostí. [2]

## 2.6 Selektivita proudových chráničů

V instalacích, kde jsou proudové chrániče instalovány za sebou, je nutné vyžadovat jejich selektivní vypínání tak, aby byla odpojena pouze ta část instalace, na níž vznikla porucha. Selektivita mezi proudovými chrániči znamená, že ze sériově zapojených chráničů vypne pouze ten, který chrání elektrické zařízení, u něhož došlo ke vzniku reziduálního proudu.

Má-li být selektivita zajištěna v každém případě, tj. při různých hodnotách reziduálního proudu a zároveň při pomalém i rychlém nárůstu reziduálního proudu (navlhání izolace či zkrat proti zemi), je nutné provést odstupňování citlivostí chráničů a současně odstupňování podle doby nepůsobení (časového zpoždění). **Úplná selektivita** mezi předřazeným a přiřazeným chráničem (chrániči) je zaručena při současném splnění těchto dvou podmínek:

1. předřazený proudový chránič je typu S, resp. typu s větší dobou nepůsobení než má přiřazený proudový chránič (časová selektivita),
2. předřazený proudový chránič má vyšší hodnotu jmenovitého reziduálního proudu než přiřazený proudový chránič, resp. přiřazené proudové chrániče (proudová selektivita).

Protože jsou hodnoty jmenovitých reziduálních proudů u nejčastěji používaných citlivostí odstupňovány v řadě s násobkem tří, tj.  $I_{\Delta n} = 10, 30, 100, 300, (500), 1000$  mA atd., lze napsat obecné pravidlo pro selektivní řazení:

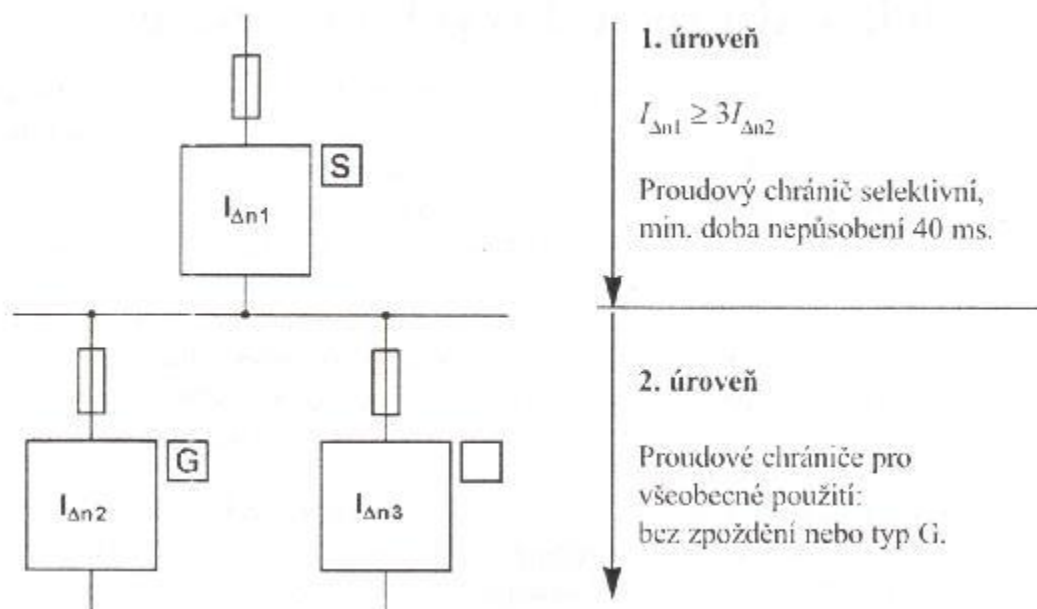
$$I_{\Delta n1} \geq 3 \cdot I_{\Delta n2}$$

kde:

$I_{\Delta n1}$ ...selektivní proudový chránič (typ S),

$I_{\Delta n2}$ ...proudový chránič pro všeobecné použití (bez opoždění nebo typ G). [2]

Těmto ustanovením vyhovuje odstupňování chráničů, které je znázorněno na *Obr. 2.21*.



*Obr. 2.21* Selektivní řazení proudových chráničů v obvyklé instalaci (dvě úrovně selektivity) [2]

Ve zcela speciálních případech (rozsáhlé instalace v sítích TT) je nutné provést selektivní odstupňování tří úrovní proudových chráničů. Je nezbytné celé instalaci předřadit proudový chránič s ještě nižší citlivostí a větší dobou nepůsobení než má chránič typu S. Minimální doba nepůsobení pak musí být větší než 150 ms, případně je nutné zvolit vhodný typ vypínací

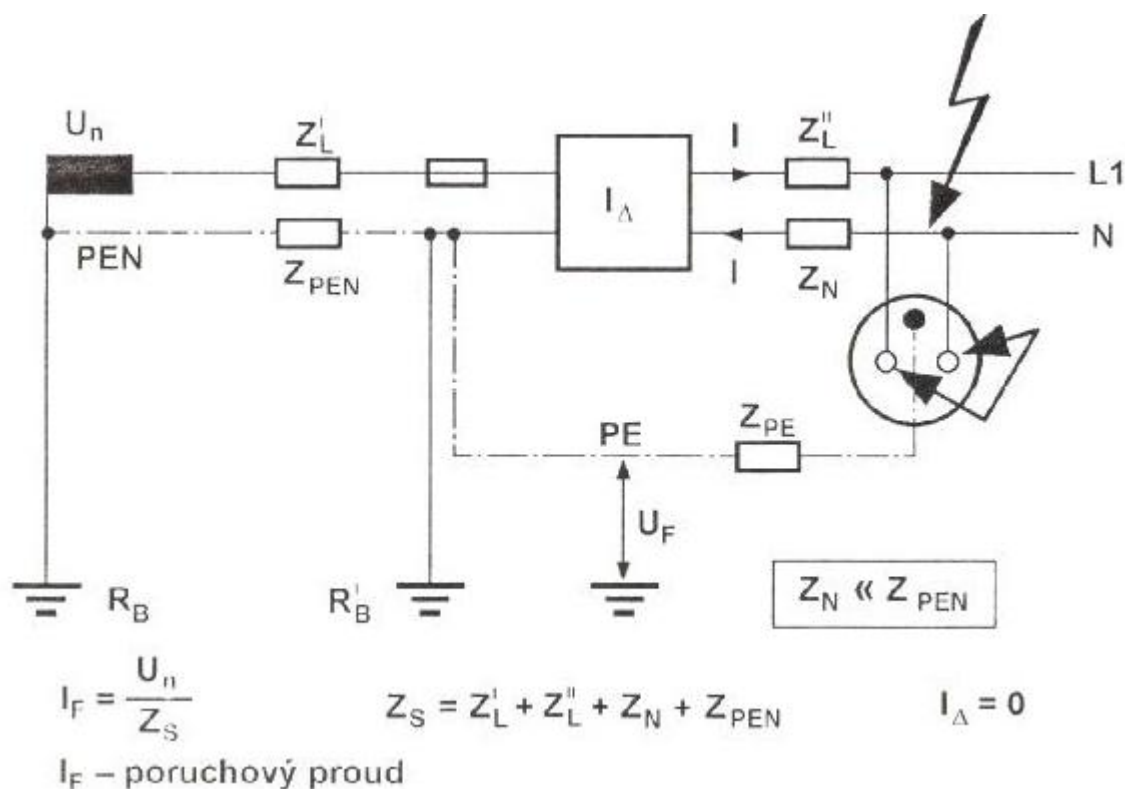
charakteristiky. Pro tento případ lze použít jističe s proudovým chráničem s nastavitelnými parametry (CBR). [2]

## 2.7 Hranice použitelnosti proudových chráničů

Použitelnost proudového chrániče má jistá omezení, která vyplývají z principu funkce. V následujících bodech jsou zmíněny nejčastější případy, kdy není možné počítat s použitím proudového chrániče jakéhokoli typu a ochrana musí být řešena jiným způsobem.

### Zkrat mezi pracovními vodiči

Na Obr. 2.22 je znázorněn případ zkratu mezi pracovními vodiči, tj. mezi fází (fázemi) L a středním vodičem N, kdy proudový chránič nereaguje. Tato porucha musí být vypnuta nadproudovým jisticím prvkem, tj. jističem nebo pojistkou, případně nadproudovou ochranou vestavěnou v proudovém chrániči. V síti TN vznikají velké zkratové proudy, a proto je nutné zajistit odolnost kontaktů proti zkratu. [2]



Obr. 2.22 Zkrat mezi pracovními vodiči za proudovým chráničem nezajistí jeho vybavení [2]

### Dotyk osoby s pracovními vodiči

Dotyk osoby s vodivými částmi pod napětím můžeme dělit na jednopólový, dvoupólový a dvoupólový s přechodovým odporem stanoviště (smíšený jednopólový a dvoupólový dotyk). [2]

**a) jednopólový dotyk**

Je zde pouze pro úplnost, aby byly zřejmé rozdíly mezi dalšími případy dotyku. Nastává vždy, když je osoba některou částí těla spojená s potenciálem země a jinou částí těla se dotkne vodivé části pod napětím (*Obr. 2.23a*). Při citlivosti do 30 mA je splněna podmínka pro doplňkovou ochranu. Jako jednopólový dotyk lze označit i případ průchodu proudu dráhou ruka – ruka proti potenciálu země, kdy je osoba velmi dobře izolovaná od země, jednou rukou se dotýká části pod napětím a druhou vodivé části, například uzemněného krytu rozvaděče. [2]

Občas se setkáme s případy, kdy člověk při jednopólovém dotyku dostane elektrickou ránu, a přesto nedojde k vybavení prokazatelně funkčního proudového chrániče. Příčina tkví v relativně malém tělovém proudu, který je již pocíťován jako rána (například 5 až 10 mA), ale tento proud ještě nepostačuje k vybavení proudového chrániče. Přestože zde nehrozí smrtelný úraz, nejedná se o příliš příjemný zážitek. [2]

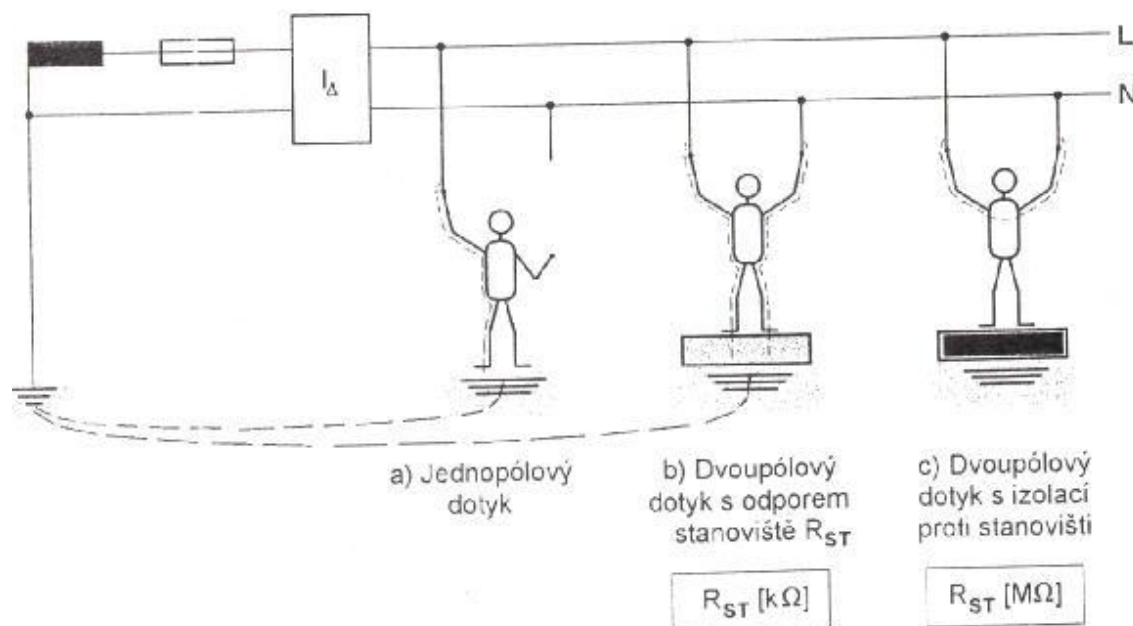
**b) dvoupólový dotyk s přechodovým odporem stanoviště**

Případem, který je z pohledu funkce proudového chrániče již problémový, je dvoupólový dotyk s přechodovým odporem stanoviště (smíšený jednopólový a dvoupólový dotyk), například má-li obuv jen částečně vodivou podrážku (*Obr. 2.23b*). Zasaženou osobou protéká poruchový proud mezi pracovními vodiči daný odporem těla a současně tělem protéká i malý reziduální proud do země. Vybavení chrániče není vždy zaručeno, protože velikost reziduálního proudu závisí na odporu stanoviště  $R_{ST}$ . Tento stav je velmi nebezpečný, protože je zde velká pravděpodobnost průchodu značného tělového proudu bez toho, že by vznikl dostatečný reziduální proud nutný pro vybavení proudového chrániče. [2]

**c) dvoupólový dotyk**

Dvoupólový dotyk je smrtelně nebezpečný, protože nevzniká reziduální proud (tj. zemní poruchový proud) a proudový chránič není schopen na tento stav zareagovat. Proud protéká mezi oběma rukama (*Obr. 2.23c*), které jsou v dotyku s pracovními vodiči, a vzniká velké riziko zásahu srdce elektrickým proudem. Velmi důležitou roli hraje doba průchodu proudu, protože s časem dochází k nárůstu tělového proudu. Tento případ nastane například ve chvíli, kdy elektromontér pracuje na elektrickém zařízení pod napětím, dotýká se středního (nulového) vodiče a současně se náhodně dotkne fázového vodiče. Pokud rychle „neucukne“ a proud ho „chytí“, jeho záchranou ze „sevření elektřiny“ může být jen pád na zem nebo pomoc dalšího člověka. [2]





Obr. 2.23 Činnost proudového chrániče při jednopolovém a dvoupólovém dotyku [2]

### Omezené vodivé prostory

Pro zvlášť nepříznivé případy, např. práce v omezených prostorách s vodivým okolím, nesmí proud ani krátkodobě překročit hodnotu 0,5 A. Tělovému proudu 0,5 A odpovídá impedance těla 460  $\Omega$ , kdy se pracovník současně dotýká vodivé části například zády nebo několika vodivých částí současně. Z toho vyplývá, že v případech, kdy je dotyk osoby s potenciálem země poměrně těsný a impedance lidského těla mezi živou a neživou částí je malá, nemůže být pro zvýšenou ochranu použit proudový chránič. Jedná se o práce s elektrickými spotřebiči ve zvlášť nepříznivých podmínkách, jakými jsou například zmíněné omezené prostory s vodivým okolím. **Tělové proudy nad cca 0,5 A mohou způsobit smrt i při velmi krátkých vypínacích časech.** V těchto případech musí být použito pouze takové opatření, které zabrání průchodu proudu tělem. Použití citlivého proudového chrániče je v tomto zvláštním případě dovoleno pouze pro ochranu přívodů k upevněným spotřebičům. [2]

### Odolnost proti rázovému proudu

Určité omezení použitelnosti proudových chráničů nastává v obvodech s velkými rázovými proudy v pracovních vodičích (nad 5 kA). Proudové chrániče bez zpoždění mají v těchto případech nedostatečnou odolnost, jsou proto nepoužitelné v obvodech před svodiči přepětí a pro spínání spotřebičů s velkými rázovými proudy (transformátory, rentgeny, motory, dlouhé kabely, atd.). Ve většině případů je řešením použití zpožděných proudových chráničů, tj. typů G, S, případně typů R (rentgeny). [2]

V obvodech se zvláště vysokými rázovými proudy, které produkují svodiče přepětí, je limitující hodnotou odolnost 5 kA u selektivního typu, zatímco obvyklé hodnoty jmenovitých svodových proudů svodičů přepětí třídy C jsou 10 až 15 kA. Pro ochranu zásuvek se svodiči přepětí třídy D (1,5 až 3 kA) vyhovují pouze proudové chrániče typu G s citlivostí  $I_a = 30 \text{ mA}$ . [2]

### **Přerušeni vodiče PEN před proudovým chráničem**

Pokud dojde k přerušeni vodiče PEN, případně vodiče PE před proudovým chráničem, není schopen vybavit ani proudový chránič s citlivostí  $I_a = 30 \text{ mA}$ , protože proud vyvolaný dotykem osoby s neživou částí pod napětím je proudovým chráničem vyhodnocen jako pracovní proud. Uvedenému stavu se dá do jisté míry předejít přizemňováním vodičem PEN a vodičů PE v posledním místě rozdělení, kterými jsou rozvodnice nebo instalační krabice. [2]

Ve zvláštních případech, kdy je použit proudový chránič s kontrolou ochranného vodiče (PRCD,SRCD), je ochrana zajištěna i při porušení vodiče PEN, protože ochranný vodič prochází proudovým transformátorem v opačném směru a jakýkoli proud v ochranném vodiči způsobí vybavení chrániče. U těchto typů však může dojít k žádoucímu vybavení i z důvodů často zatracované funkční napěťové závislosti, protože není přítomno napětí. [2]

### **Trvale unikající proudy**

Pokud se v obvodu za proudovým chráničem vyskytují unikající proudy, které jsou větší než  $0,5 I_n$ , je jisté, že v této instalaci nebude možné proudový chránič použít. V těchto případech se musí problémový obvod rozdělit na menší okruhy s menšími unikajícími proudy nebo ochrana vyřešit jiným vhodným způsobem. [2]

Častou příčinou vybavení citlivých proudových chráničů je nadměrná vlhkost, která se vyskytuje v utěsněných rozvaděčích, krytech nebo instalačních krabicích. [2]

### **Nedostatečné krytí**

Pokud je proudový chránič nasazen v horších podmínkách, než které jsou uvedeny ve výrobní (katalogové) dokumentaci, nelze zaručit dlouhodobě spolehlivý provoz. Naprostá většina proudových chráničů je konstruována pro stupeň krytí IP 20. Velmi často se stává, že požadované podmínky krytí v daném provozu nejsou ani zdaleka splněny. [2]

Ve většině případů, kdy se vzniklá závada jeví jako nevysvětlitelný jev, dojdeme ke zjištění, že došlo k navlhnutí, namočení nebo k orosení elektrického zařízení (novostavba, staveniště, venkovní instalace atd.). [2]

## 2.8 Ochrana před úrazem elektrickým proudem

Ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí (nepřímý dotyk) – jako ochrana v případě poruchy mezi živou částí a neživou vodivou částí nebo ochranným vodičem samočinným odpojením od zdroje může-li v případě poruchy vzniknout nebezpečí škodlivých patofyziologických účinků elektrického proudu na člověka v důsledku velikosti a trvání dotykového napětí. [2]

Při použití proudových chráničů s  $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$  se dosáhne doplňkové ochrany při nebezpečném dotyku živých částí (přímý dotyk) – jako doplňková ochrana v případě, že selžou ostatní ochranná opatření nebo v případě neopatrnosti uživatelů. [2]

### Ochranné působení

Zatímco přístroje s jmenovitým reziduálním pracovním proudem  $I_{\Delta n} > 30 \text{ mA}$  poskytují ochranu při nepřímém dotyku, při použití přístrojů s  $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$  je dosaženo i značné ochrany při náhodném přímém dotyku živých částí. [2]

Proudové chrániče pro jmenovitý reziduální pracovní proud 10 mA, resp. 30 mA poskytují spolehlivou ochranu, když při náhodném přímém dotyku živých částí protéká proud lidským tělem. Tak dokonalého účinku nelze dosáhnout žádným jiným srovnatelným způsobem ochrany. [2]

## 2.9 Protipožární ochrana

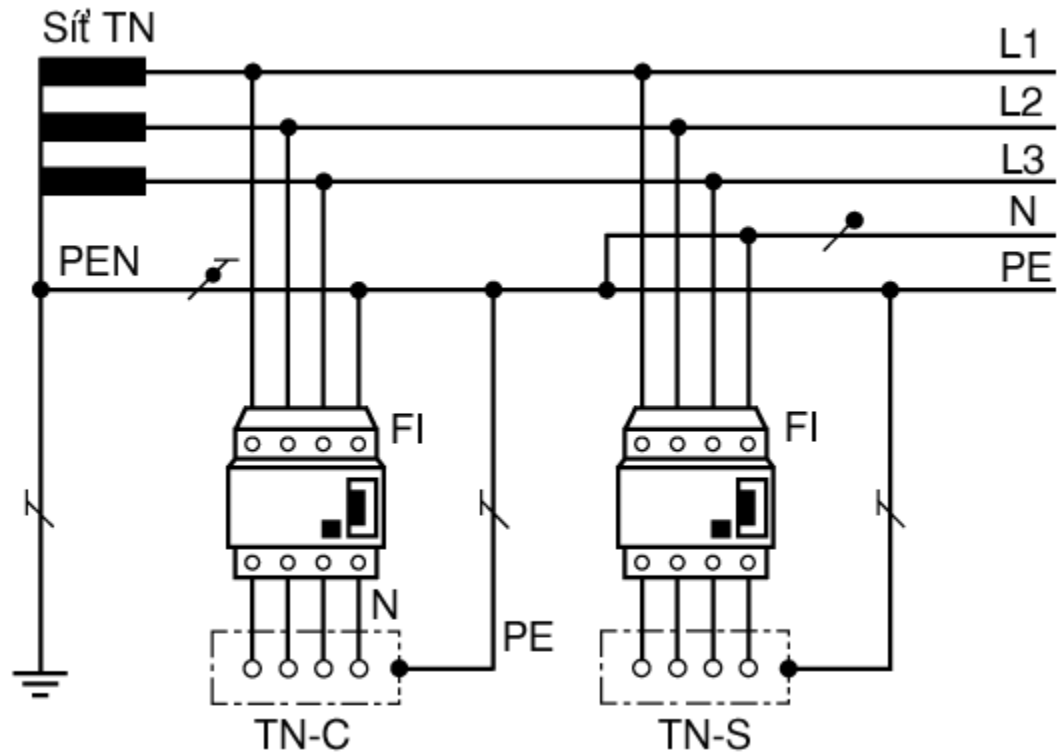
Při použití proudových chráničů s  $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$  (500 mA) lze dosáhnout značné ochrany proti vzniku požárů v důsledku vadné izolace. [2]

Přitom se požaduje, aby byly instalovány jen proudové chrániče pro maximální reziduální pracovní proud do 0,5 A. Tato horní hranice by neměla být využita. Optimální ochrany lze dosáhnout s přístroji do hodnoty max. 0,3 A. Dodatečná protipožární ochrana proudovými chrániči by se neměla omezovat jen na provozy s nebezpečím požáru, ale měla by se používat všeobecně. Vyžaduje se v prostorách se zvýšeným rizikem nebo nebezpečím požáru, např. zemědělské objekty. [2]

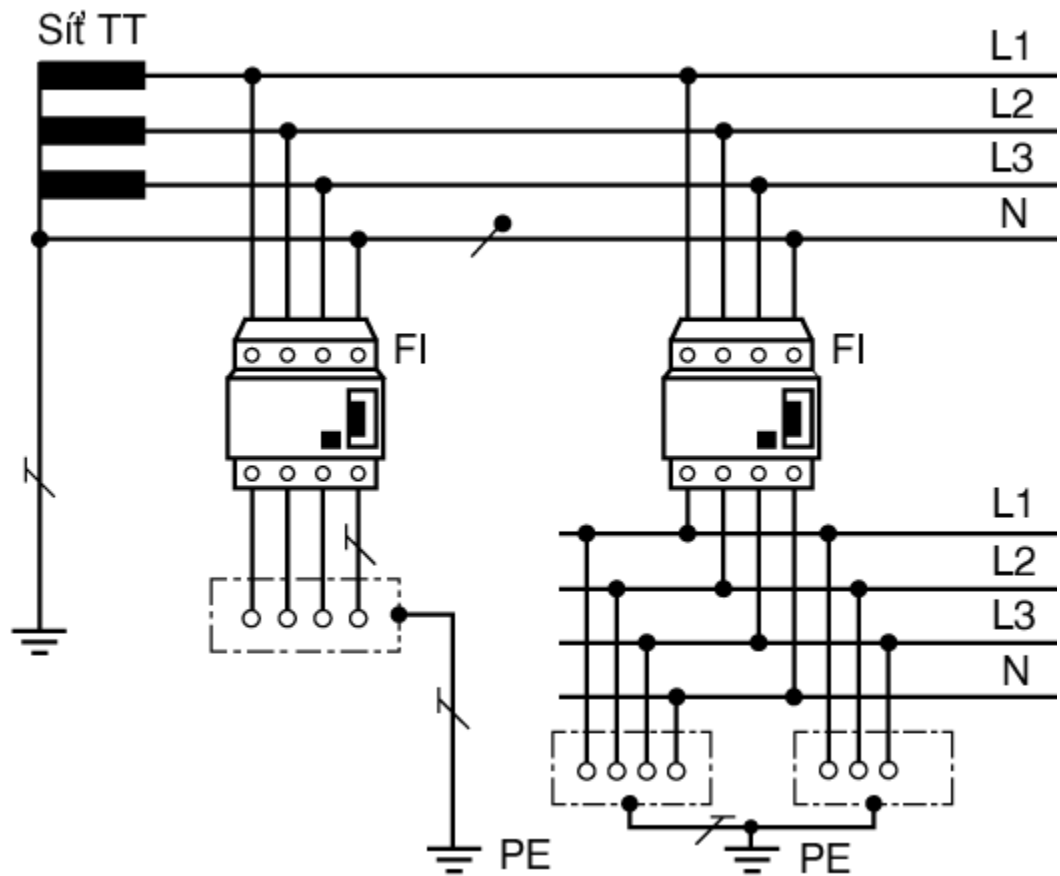
## 2.10 Použití

Proudové chrániče lze použít ve všech třech druzích sítí (TN, TT i v IT). U sítě TN-C, která je u nás běžně používána, je nutné provést rozdělení vodiče PEN na PE a N před chráničem. Lze použít proudový chránič i v síti IT za podmínky, že má síť dostatečnou

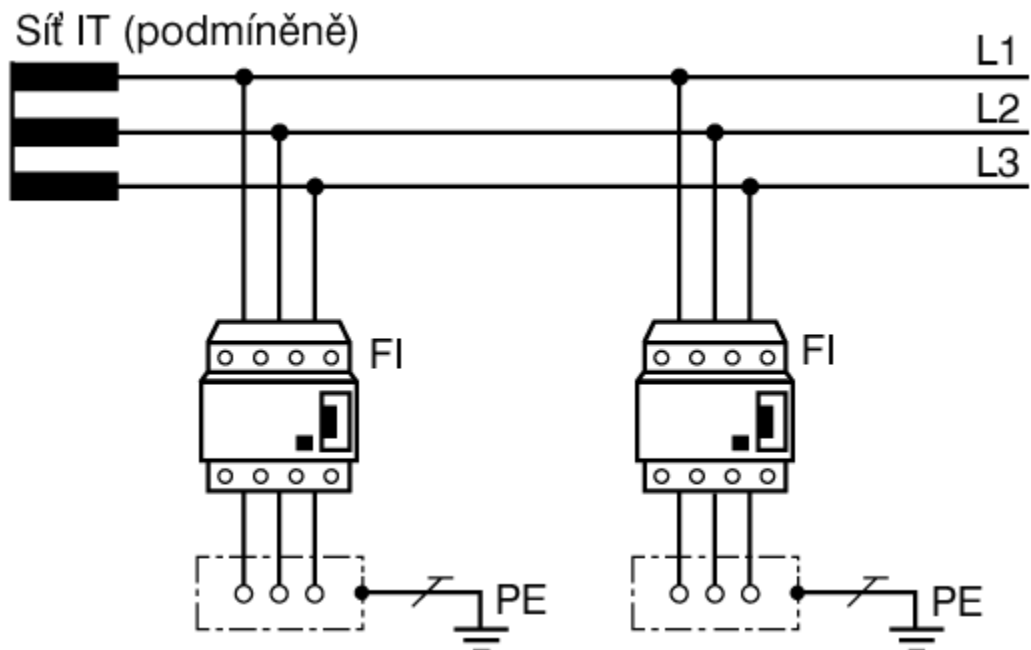
kapacitu proti zemi, aby v případě poruchy došlo k průchodu proudu alespoň o velikosti jmenovitého reziduálního pracovního proudu. Síť IT lze navíc ještě kontrolovat hlídačem izolace. Obě ochranná opatření se navzájem neovlivňují. [2]



Obr. 2.24 Proudový chránič v síti TN [6]



Obr. 2.25 Proudový chránič v síti TT [6]

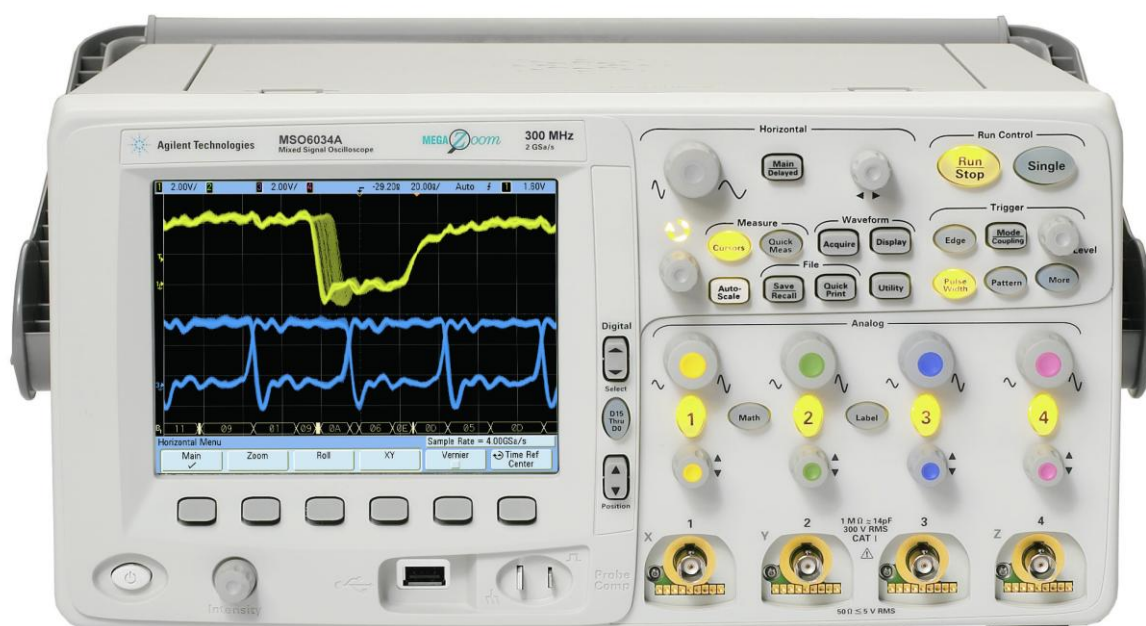


Obr. 2.26 Proudový chránič v síti IT [6]

### 3 Ověření vypínací schopnosti proudového chrániče

Ověření vypínací schopnosti bylo provedeno na dvou vzorcích proudových chráničů. Prvním vzorkem byl dvoupólový proudový chránič od firmy Merlin Gerin. Tento chránič se vyznačuje citlivostí na sinusový průběh proudu, jedná se tedy o chránič typu AC. Jmenovitý proud je 40 A a jmenovitý reziduální proud je 300 mA. Chránič je funkčně nezávislý na napájecím napětí a vybavuje bez časové prodlevy. Druhým vzorkem byl čtyřpólový proudový chránič od stejné firmy. Tento chránič se též vyznačuje citlivostí na sinusový průběh proudu, jedná se tedy také o chránič typu AC. Jmenovitý proud je 25 A a jmenovitý reziduální proud je 500 mA. I tento chránič je funkčně nezávislý na napájecím napětí a vybavuje bez časové prodlevy.

Jako napájecí zdroj byl při měření použit regulovatelný zdroj napětí Sparstelltrafo Typ: LSS 610. K měření proudu byl použit digitální multimetr METEX M-3870 D. Vybavovací čas proudových chráničů byl měřen osciloskopem firmy Agilent Technologies řady MSO6054A.

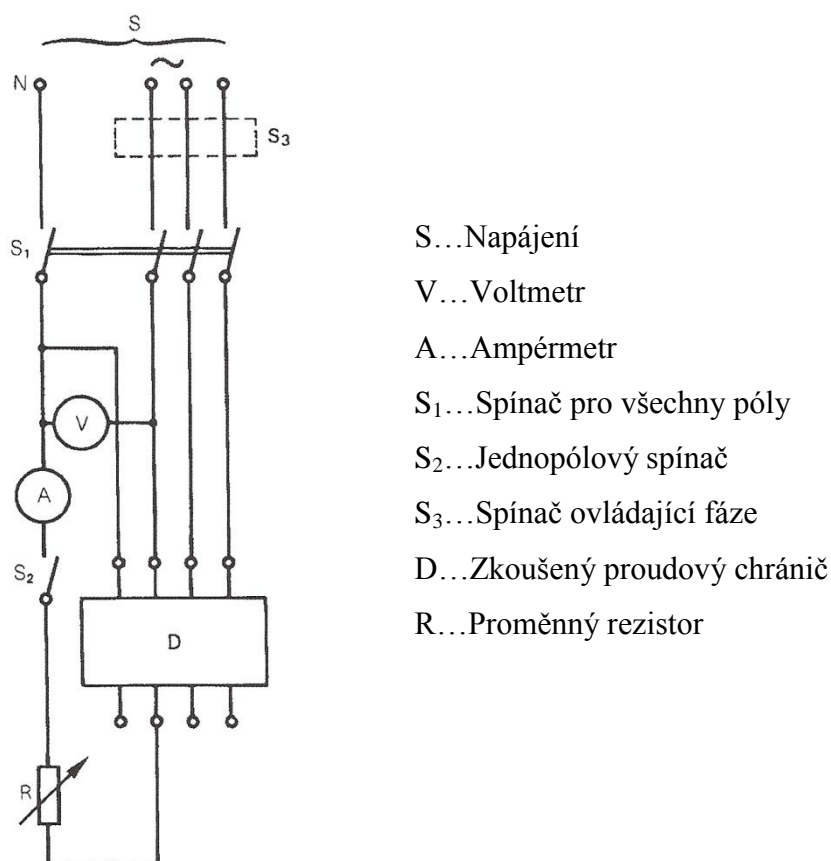


Obr. 3.1 Agilent Technologies MSO6054A Mixed Signal Oscilloscope 500 MHz [7]

#### 3.1 Ověření skutečné hodnoty vybavovacího reziduálního proudu

Princip měření vybavovacího reziduálního proudu je zřejmý z Obr. 3.2. Proměnným odporem (potenciometrem) je vyvolán reziduální proud, jehož hodnota je měřena ampérmetrem. Postupným snižováním odporu narůstá měřený proud a v okamžiku vybavení chrániče je odečtena hodnota vybavovacího reziduálního proudu.

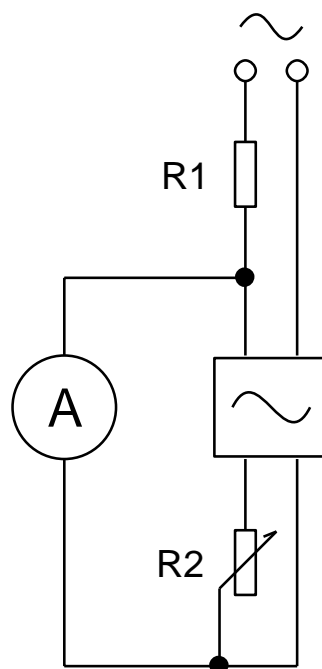
Dle příslušné výrobkové normy pro proudové chrániče musí měřený reziduální proud začínat nejvýše na  $0,2 I_{\Delta n}$  a po dobu 30 sekund postupně nabíhat na hodnotu  $I_{\Delta n}$ . Všech pět naměřených hodnot musí být v rozmezí od 50 % do 100 %  $I_{\Delta n}$ . Přístroje pro měření reziduálního proudu musí být minimálně třídy 0,5 a musí ukazovat skutečnou efektivní hodnotu (nebo umožňovat stanovení této hodnoty). Zkušební obvod musí mít zanedbatelnou indukčnost. [8]



Obr. 3.2 Princip měření proudových chráničů [8]

### 3.1.1 Měření vybavovacího reziduálního proudu

Při zapojení obvodu je nutné zvolit vhodné velikosti odporů, aby bylo možné měřit reziduální proud od hodnoty  $0,2 I_{\Delta n}$  do  $I_{\Delta n}$ . Dále je nutno předem vypočítat hodnoty proudů tekoucích přes jednotlivé rezistory a ujistit se, že jmenovité hodnoty proudu jednotlivých rezistorů jsou větší než vypočítané proudy tekoucí přes rezistory. Velikost odporu rezistoru R1 je  $580 \Omega$  a velikost odporu potenciometru R2 je  $105 \Omega$ . Velikost měřeného vybavovacího reziduálního proudu byla nastavována napájecím napětím a proměnným odporem R2.



Obr. 3.3 Schéma zapojení pro měření vybavovacího reziduálního proudu

| $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$ | $I_{\Delta n} = 500 \text{ mA}$ |
|---------------------------------|---------------------------------|
| $I_{\Delta a} \text{ [mA]}$     | $I_{\Delta a} \text{ [mA]}$     |
| 253                             | 312                             |
| 255                             | 314                             |
| 250                             | 303                             |
| 251                             | 314                             |
| 250                             | 307                             |

Tab. 3.1 Změřené hodnoty vybavovacího reziduálního proudu

Pokud bychom měli hodnotit důležitost měření vybavovacího reziduálního proudu  $I_{\Delta a}$  a jeho přínos k ověření bezpečnosti ochrany, je nutné říci, že tímto měřením ověříme pouze citlivost ochrany, případně jako vedlejší údaj dotykové napětí. Reziduální vybavovací proud nám indikuje pouze to, jak citlivý je použitý proudový chránič a v které části povoleného tolerančního pole vybavuje (od 50 % do 100 %  $I_{\Delta n}$ ). Užitečným zjištěním bývá to, že změřený chránič je zbytečně citlivý, což přináší větší problémy než proudový chránič pracující v horní hranici tolerančního pásma. Z hlediska bezpečnostních předpisů [9], které požadují odpojení poruchy v předepsaném čase a jinak všechny podmínky ochrany vztahují k hodnotě jmenovitého reziduálního proudu, nemá proto tento parametr ( $I_{\Delta a}$ ) o moc větší váhu, než kdyby se prověřilo vybavení pouze při jmenovitém reziduálním proudu ( $I_{\Delta n}$ ).



Měření reziduálního vybavovacího proudu může být výhodné při opakovaných měřeních v časovém odstupu několika měsíců, protože můžeme mít průběžnou kontrolu stavu ochrany. Mnohem větší význam pak má povinné pravidelné ověřování funkce zkušebním tlačítkem, avšak reálný stav je často takový, že kontrola funkce se provádí pouze jednou za celou životnost chrániče při výchozí revizi (jako je tomu například v rodinných domech apod.).

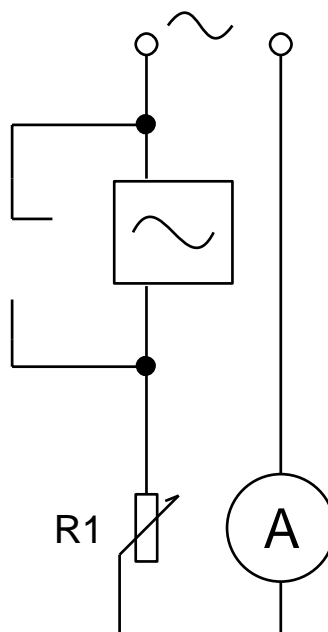
## 3.2 Ověření skutečné hodnoty vybavovacího času

Nejdůležitější vlastností proudových chráničů jsou krátké vypínací časy, které jsou u dnešních typů natolik krátké, že splňují požadované vypínací časy s poměrně velkou rezervou. To byl také důvod, proč donedávna ani nebylo požadováno ověřování vypínacích časů při revizích. To platí beze zbytku u nových proudových chráničů. Protože však není zaručeno, v jakých provozních podmínkách jsou proudové chrániče dlouhodobě používány, zavádí se změnou ČSN 33 2000-6 povinnost měřit vybavovací časy proudových chráničů. Vzhledem k tomu, že vybavovací čas je hlavním parametrem proudových chráničů, je užitečné, že je tato povinnost zavedena.

Základní měření vybavovacího času, tak jak požaduje příslušná norma [10], se provádí jmenovitým reziduálním proudem  $I_{\Delta n}$  (tj. konstantním proudem). Celková doba vypínání se měří pětikrát. Změřený čas nesmí překročit stanovenou mez. Pro typ bez zpoždění a typ G je to 300 ms a pro selektivní typ 500 ms. Pomocí různých režimů měření, například měření při násobcích  $I_{\Delta n}$ , můžeme navíc ověřit, jestli proudový chránič vykazuje shodu vypínací charakteristiky a o jaký typ vypínací charakteristiky chrániče se jedná. V *Tab. 2.2* nalezneme požadované hranice vypínacích a nevypínacích proudů i pro násobky  $I_{\Delta n}$  ( $I_{\Delta n}$ ,  $2 I_{\Delta n}$ ,  $5 I_{\Delta n}$ ).

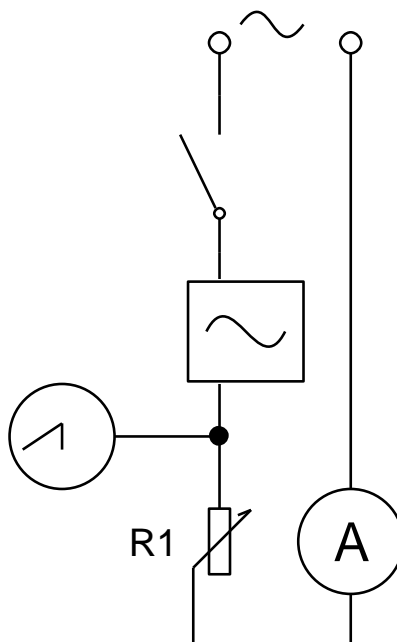
### 3.2.1 Měření vybavovacího času

Při měření vybavovacího času proudového chrániče se obvod zapojí nejprve podle *Obr. 3.4*. Napájecí napětí a velikost odporu potenciometru R1 se nastaví tak, aby obvodem protékal požadovaný vybavovací reziduální proud.



Obr. 3.4 Schéma zapojení pro nastavení požadovaného vybavovacího reziduálního proudu

Po nastavení požadovaného vybavovacího reziduálního proudu se obvod zapojí podle Obr. 3.5. V okamžiku sepnutí spínače se pomocí osciloskopu začíná měřit vybavovací čas proudového chrániče.



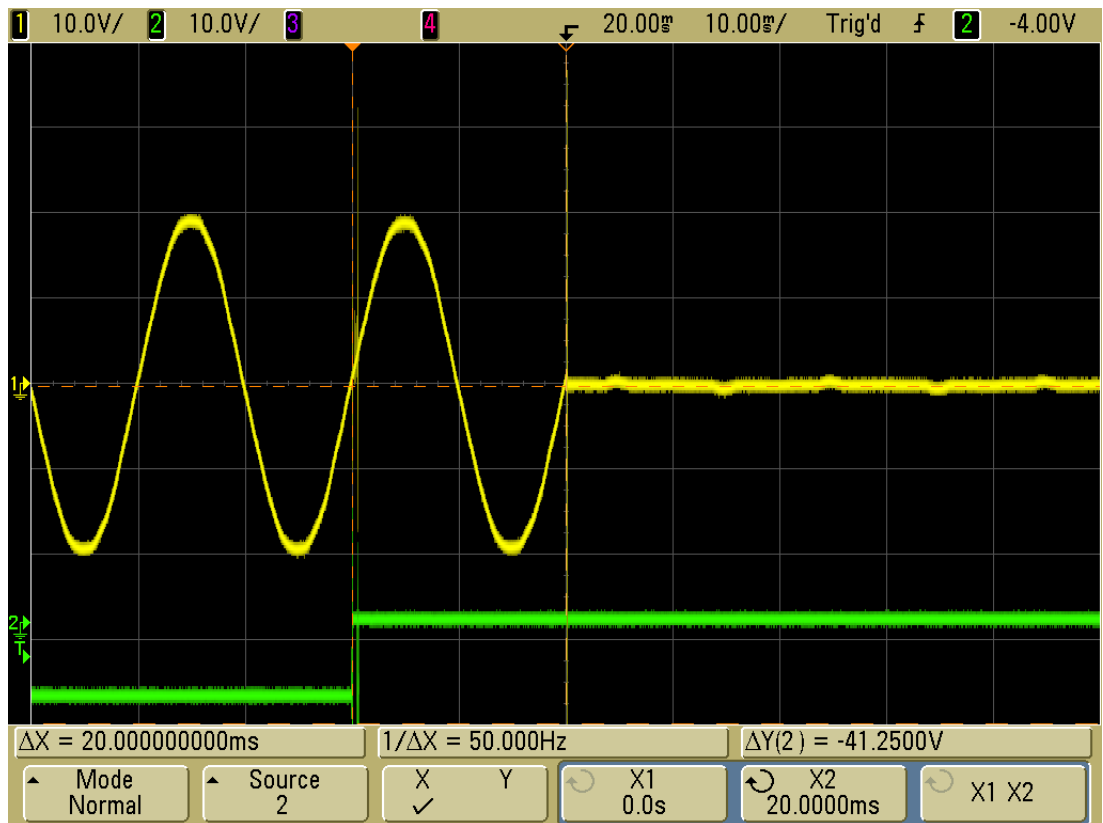
Obr. 3.5 Schéma zapojení pro měření vybavovacího času

Přesné určení okamžiku, kdy se začíná měřit vybavovací čas proudového chrániče, umožňuje tzv. trigger (triggering) osciloskopu. Je to nastavení okamžiku, od kdy je vykreslován signál. Buď může být odvozen od úrovně vstupního napětí, u vícevstupových

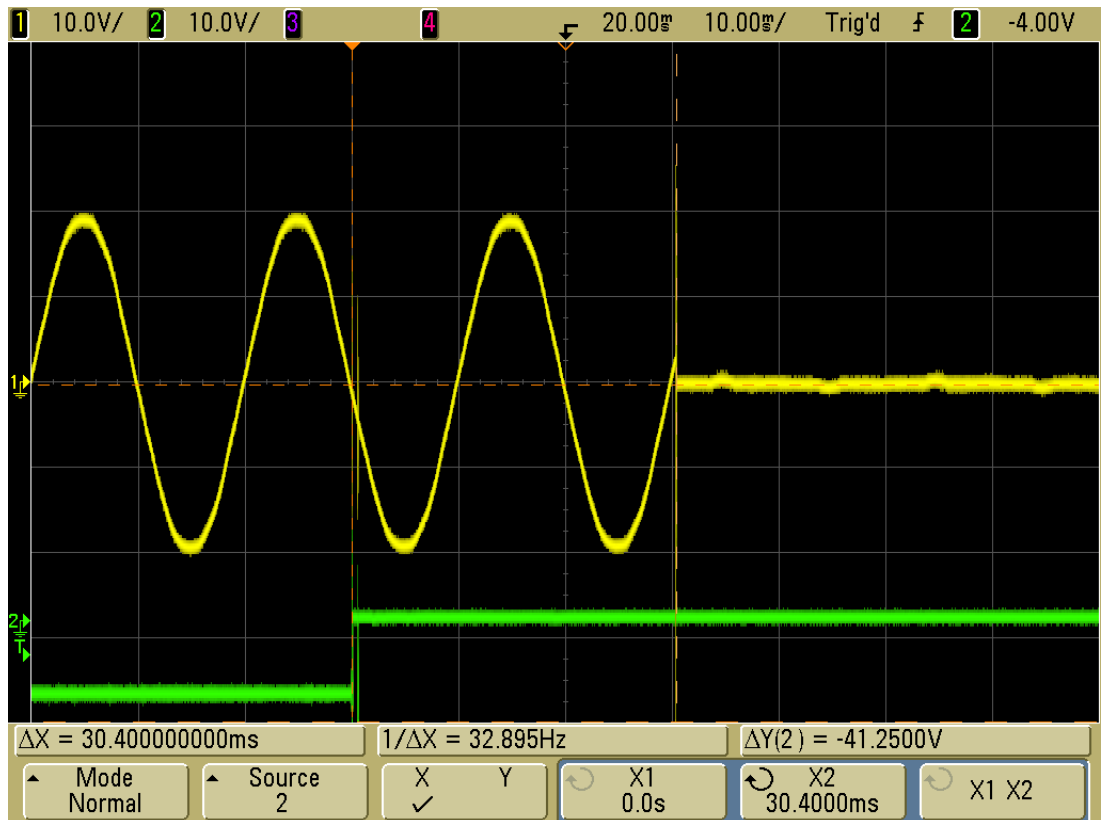
osciloskopů i od libovolného vstupu, stejně tak je možné nastavit i časový okamžik zvoleného začátku na libovolné místo osy x, takže je možné zobrazit nejen průběh po triggeru, ale i před ním. Tento interní trigger je možné nahradit externím zdrojem napětí, od kterého je potom trigger vytvořen. Často se používá u průběhů, které nejsou cyklické, tedy zobrazení jednoho náhodného průběhu. Osciloskop čeká na nastavený trigger a poté zastaví načítání a zobrazí průběh. Při měření této bakalářské práce byl použit externí zdroj stejnosměrného napětí (9 V baterie), od kterého byl trigger vytvořen. Spínač na *Obr. 3.5* je dvojitý, jeho sepnutím začne ověřovaným proudovým chráničem procházet vybavovací reziduální proud a zároveň je spouštěn trigger osciloskopu.

| <b><math>I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}</math></b> |                                 |                                 | <b><math>I_{\Delta n} = 500 \text{ mA}</math></b> |                                 |                                 |
|---|---------------------------------|---------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|
| $I_{\Delta a} = I_{\Delta n}$                     | $I_{\Delta a} = 2 I_{\Delta n}$ | $I_{\Delta a} = 5 I_{\Delta n}$ | $I_{\Delta a} = I_{\Delta n}$                     | $I_{\Delta a} = 2 I_{\Delta n}$ | $I_{\Delta a} = 5 I_{\Delta n}$ |
| $t_{vyb} \text{ [ms]}$                            | $t_{vyb} \text{ [ms]}$          | $t_{vyb} \text{ [ms]}$          | $t_{vyb} \text{ [ms]}$                            | $t_{vyb} \text{ [ms]}$          | $t_{vyb} \text{ [ms]}$          |
| 23,8  | 13,2                            | 11,2                            | 31  | 25,8                            | 11,4                            |
| 32  | 22,2                            | 28,4                            | 33,8  | 19                              | 11,2                            |
| 20  | 16,8                            | 18,6                            | 17,2  | 14,8                            | 23,4                            |
| 18,4  | 19,8                            | 22,6                            | 20,6  | 18,6                            | 26,4                            |
| 30,4  | 21,8                            | 18,2                            | 28,8  | 16,6                            | 17,8                            |

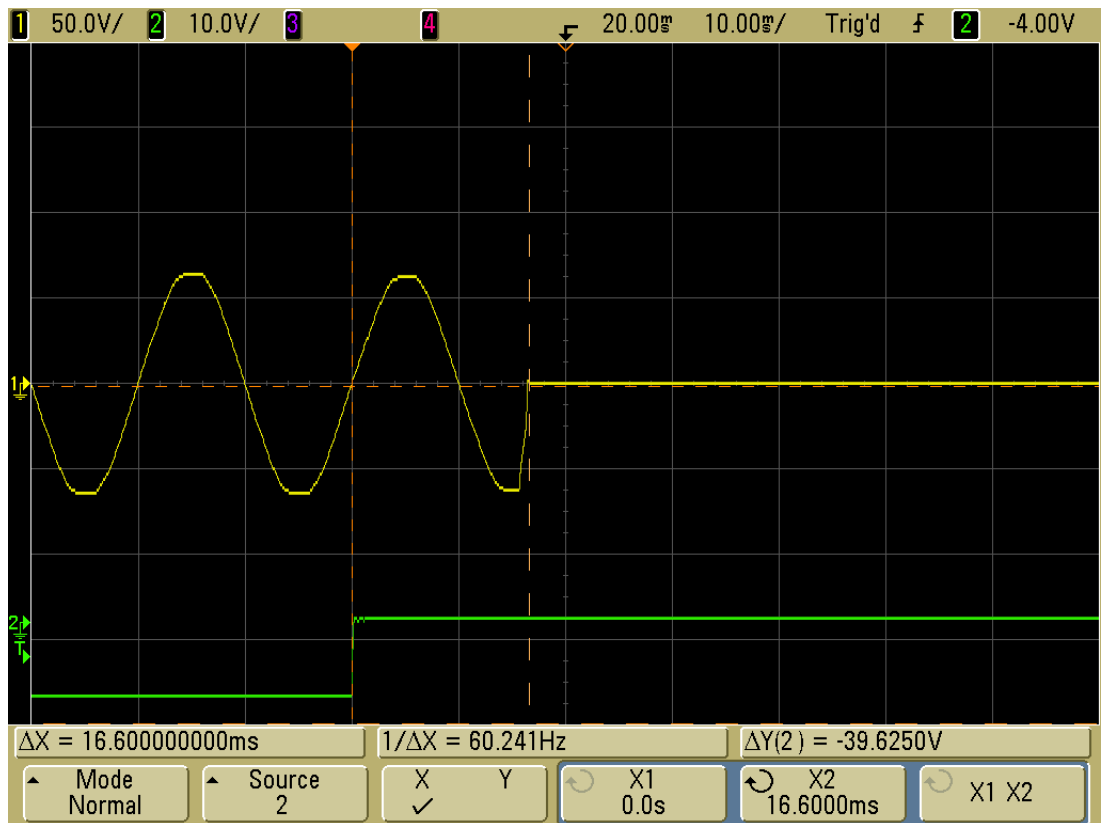
Tab. 3.2 Změřené hodnoty vybavovacího času



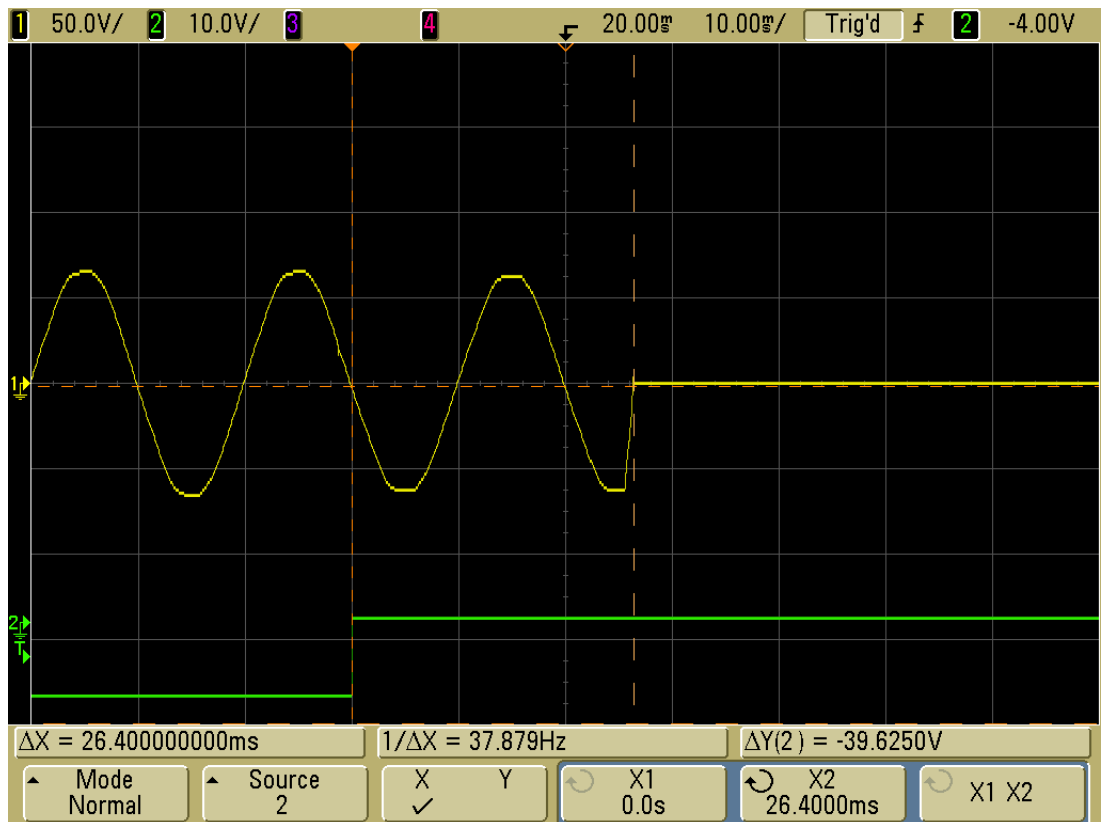
Obr. 3.6 Pracovní obrazovka osciloskopu při měření vybavovacího času proudového chrániče  $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$  při  $I_{\Delta a} = I_{\Delta n}$  (začátek měření kladnou polaritou)



Obr. 3.7 Pracovní obrazovka osciloskopu při měření vybavovacího času proudového chrániče  $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$  při  $I_{\Delta a} = I_{\Delta n}$  (začátek měření zápornou polaritou)



Obr. 3.8 Pracovní obrazovka osciloskopu při měření vybavovacího času proudového chrániče  $I_{\Delta n} = 500 \text{ mA}$  při  $I_{\Delta a} = 2 I_{\Delta n}$  (začátek měření kladnou polaritou)



Obr. 3.9 Pracovní obrazovka osciloskopu při měření vybavovacího času proudového chrániče  $I_{\Delta n} = 500 \text{ mA}$  při  $I_{\Delta a} = 5 I_{\Delta n}$  (začátek měření zápornou polaritou)

## Závěr

Z naměřených hodnot vybavovacího reziduálního proudu uvedených v *Tab. 3.1* můžeme konstatovat, že oba ověřované proudové chrániče vypínají v dovoleném tolerančním pásmu od 50 % do 100 %  $I_{\Delta n}$ . Proudový chránič se jmenovitým vybavovacím reziduálním proudem  $I_{\Delta n} = 300$  mA vybavoval při cca. 80 %  $I_{\Delta n}$ . Proudový chránič se jmenovitým vybavovacím reziduálním proudem  $I_{\Delta n} = 500$  mA vybavoval již při cca. 60 %  $I_{\Delta n}$ .

Proudový chránič je elektromechanický přístroj a při opakovaných měřeních se jeho konstrukční díly a elektrické části opakovaně nenalézají v naprosto stejném stavu. To je také důvod, proč ani nelze docílit naprosto stejných naměřených hodnot (zejména u typu bez zpoždění s velmi krátkými vybavovacími časy), navíc, připočítáme-li přípustný rozptyl chyb měřících přístrojů.

Z naměřených hodnot vybavovacího času uvedených v *Tab. 3.2* můžeme konstatovat, že oba ověřované proudové chrániče vypínají v dovoleném tolerančním pásmu (viz *Tab. 2.2*). Oba proudové chrániče vybavují poměrně s velkou časovou rezervou a to platí zejména pro vybavovací reziduální proudy  $I_{\Delta a} = I_{\Delta n}$  a  $I_{\Delta a} = 2 I_{\Delta n}$ . Při  $I_{\Delta a} = I_{\Delta n}$  byla průměrná změřená hodnota vybavovacího času pro oba chrániče cca. 26 ms, přičemž vybavovací čas nesmí překročit 300 ms. Při  $I_{\Delta a} = 2 I_{\Delta n}$  byla pro oba chrániče průměrná změřená hodnota vybavovacího času cca. 20 ms, přičemž vybavovací čas nesmí překročit 150 ms. Při  $I_{\Delta a} = 5 I_{\Delta n}$  byla průměrná změřená hodnota vybavovacího času cca. 18 ms též pro oba proudové chrániče, přičemž vybavovací čas nesmí překročit 40 ms.

Měření s různou počáteční polaritou vykazuje rozdíly v naměřených hodnotách vypínacího času (viz polarizované vybavovací relé). Avšak i při měření se stejnou polaritou měřícího proudu dojde u nezpožděných chráničů k rozptylu naměřených vypínacích časů o 10 ms (půlvlna síťového kmitočtu). Vysvětlení tohoto jevu souvisí s hysterezní křivkou materiálu součtového transformátoru. Při vypnutí proudového chrániče totiž zůstává v jádru transformátoru remanentní magnetismus  $B_r$ , a pokud je jeho polarita opačná než indukce  $B$  vybuzená pomocí měřícího proudu  $I_n$ , dochází k posunutí vybavovacího času o 10 ms (část energie nutné k vybavení relé se spotřebuje na odbuzení remanentního magnetizmu).

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Elektroinstalatér: Časopis pro všechny, kteří podnikají v oboru elektro*. Praha: ČNTL, 2011, č. 3. ISSN 1211-2291.
- [2] ŠTĚPÁN, František. *Proudové chrániče*. 2. doplněné vyd. Praha: IN-EL, 2001, 184 s. ISBN 80-862-3020-1.
- [3] VĚTROVSKÁ, Marcela. *Problematika technického zabezpečení ochrany před nebezpečným dotykem živých a neživých částí elektrických zařízení*. Plzeň, 2007. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická.
- [4] MAREŠ, Pavel. *Vliv výkonových měničů na funkci proudových chráničů*. Plzeň, 2005. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická.
- [5] ČSN IEC 755. *Všeobecné požadavky pro proudové chrániče*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [6] Katalog firmy Siemens – Proudové chrániče [online]. [cit. 10-05-2013]. Dostupné z: [http://www.siemens.cz/siemjetstorage/files/1862\\_03\\$proudove\\$chranice.pdf](http://www.siemens.cz/siemjetstorage/files/1862_03$proudove$chranice.pdf)
- [7] Data Sheet Agilent Technologies InfiniiVision 6000 Series Oscilloscopes [online]. [cit. 10-05-2013]. Dostupné z: [http://www.testunlimited.com/pdf/agilent\\_infi\\_6000.pdf](http://www.testunlimited.com/pdf/agilent_infi_6000.pdf)
- [8] ČSN EN 61008-1 ed. 2. *Proudové chrániče bez vestavěné nadproudové ochrany pro domovní a podobné použití (RCCB) - Část 1: Všeobecná pravidla*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [9] ČSN 33 2000-4-41 ed. 2. *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [10] ČSN 33 2000-6. *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 6: Revize*. Praha: Český normalizační institut, 2007.