

Bezpečnosť elektrických zariadení – ochrana pred zásahom elektrickým prúdom

Úvod

Pri prevádzke každého elektrického zariadenia, teda napr. aj zariadení informačnej techniky, sa musí zaistiť bezpečnosť osôb, hospodárskych zvierat a majetku. Požaduje sa:

- ochrana pred zásahom elektrickým prúdom,
- ochrana pred tepelnými účinkami,
- ochrana pred nadprúdom,
- ochrana pred poruchovými prúdmi,
- ochrana pred prepätím.

Terminológia

elektrické zariadenie (EZ) – akékoľvek zariadenie, ktoré sa používa na výrobu, premenu, prenos, distribúciu alebo využitie elektrickej energie, napr. stroje, transformátory, prístroje, meracie prístroje, ochranné prístroje, zariadenia pre elektrické rozvody, spotrebiče;

elektrická inštalácia – zostava vzájomne spolupracujúcich elektrických zariadení s koordinovanými vlastnosťami, ktoré slúžia na plnenie jedného alebo niekoľkých určených cieľov;

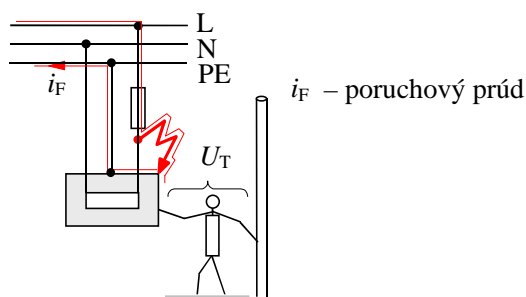
živá časť – vodič alebo vodivá časť EZ, ktorá je pri bežnej prevádzke pod napätím (napr. fázové vodiče);

neživá časť – vodivá časť EZ, ktorej sa možno dotýkať a ktorá zvyčajne nie je živá, ale sa môže stať živou pri zlyhaní izolácie (napr. kostra, kryt spotrebiča);

cudzia vodivá časť – vodivá časť, ktorá nie je súčasťou elektrickej inštalácie a ktorá môže priviesť elektrický potenciál (zvyčajne potenciál miestnej zeme; napr. kovové potrubie);

dotykové napätie – napätie vyskytujúce sa pri poruche izolácie medzi časťami súčasne prístupnými dotyku (pozri obrázok)

dotykové napätie (U_T ; z *anglického touch = dotyk*) – napätie, ktoré sa vyskytuje pri poruche izolácie medzi časťami súčasne prístupnými dotyku



zásah elektrickým prúdom – patofyziologický účinok elektrického prúdu prechádzajúceho telom človeka alebo zvieratá

ochrana pred priamym dotykom (ochrana pred dotykom živých častí) – ochrana pred úrazom elektrickým prúdom v stave bez poruchy

ochrana pred nepriamym dotykom (ochrana pred dotykom neživých častí) – ochrana pred úrazom elektrickým prúdom v podmienkach poruchy, napr. pri zlyhaní základnej izolácie

(elektrická) sieť – súhrn všetkých vzájomne prepojených prvkov s rovnakým napätím, určených na výrobu, prenos, premenu a spotrebu elektrickej energie;

trojfázová sústava – sústava troch harmonických napätí s rovnakou frekvenciou, ktoré majú voči sebe vzájomný fázový posun 120° ;

trojfázová sieť – sieť s trojfázovým zdrojom napätia zapojeným do hviezdy alebo do trojuholníka;

fázové napätie (trojfázovej siete) – napätie medzi fázovým vodičom (L1, L2 alebo L3) a neutrálnym vodičom (N);

združené napätie (trojfázovej siete) – napätie medzi dvoma fázovými vodičmi;

Poznámka: V u nás používanej rozvodnej trojfázovej sieti nízkeho napätia 3x230/400 V 50 Hz je fázové napätie $U_f = 230\text{ V}$, združené napätie $U_z = \sqrt{3} \cdot U_f \approx 400\text{ V}$.

neutrálny bod (N) – spoločný bod zdroja trojfázovej siete so spojeného do hviezdy;

neutrálny vodič (N) – vodič elektricky spojený s neutrálnym bodom schopný prispieť k distribúcii elektrickej energie;




fázový vodič (v trojfázovej sieti L1, L2, L3) – vodič v normálnej prevádzke pod napätím, ktorý je schopný prispieť k distribúcii elektrickej energie;

ochranný vodič (PE) – vodič slúžiaci na zaistenie bezpečnosti, napr. na ochranu pred úrazom elektrickým prúdom;

vodič PEN – uzemnený vodič, ktorý plní súčasne funkcie ochranného a neutrálneho vodiča;

Poznámka: Označovanie vodičov v schémach je podľa tabuľky 1

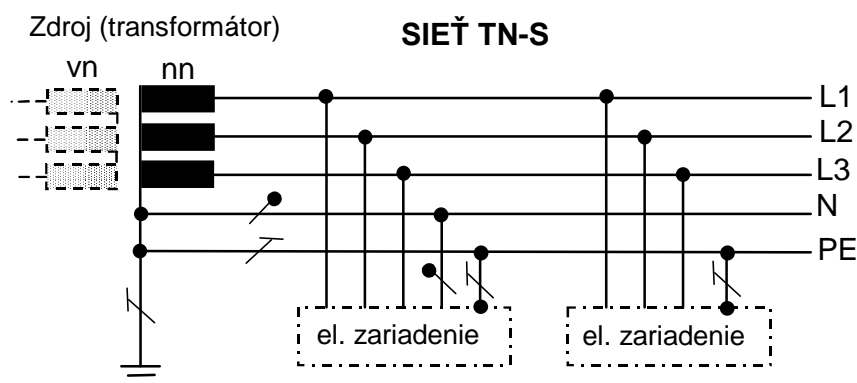
Tabuľka 1 Spôsob označovania vodičov v schémach:

	Neutrálny vodič (N)
	Ochranný vodič (PE)
	Kombinovaný neutrálny a ochranný vodič (PEN)

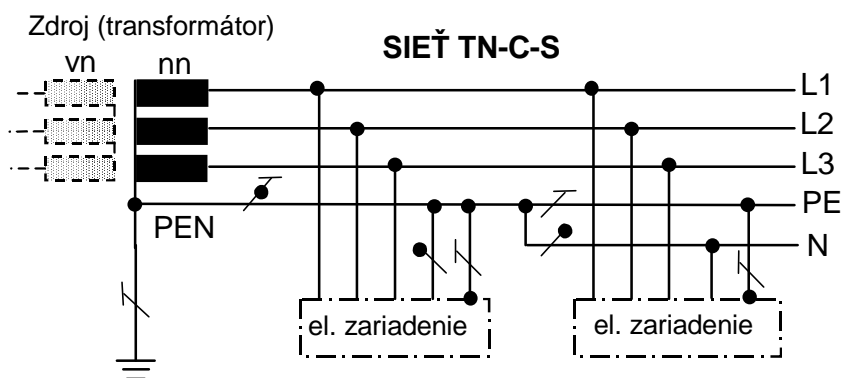
Druhy elektrických sietí nízkeho napätia

Podľa spôsobu uzemnenia existujú viaceré druhy sietí nízkeho napätia (od 50 V do 1000 V AC), ktoré sa označujú dvoj- až štvorpísmenovým kódom (napr. IT, TT, TN-C-S).

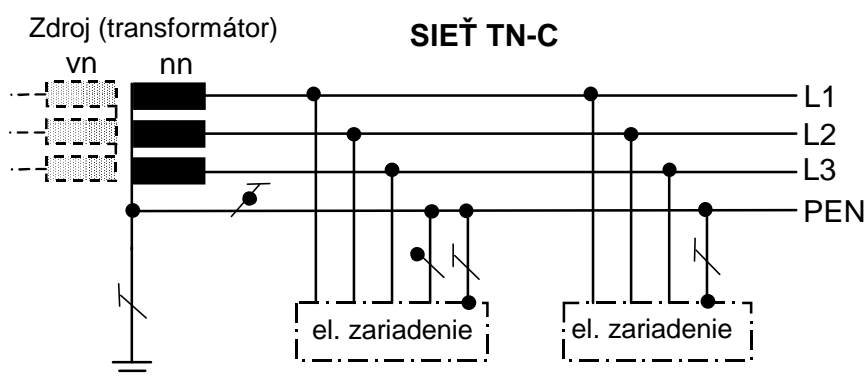
U nás sa používa sieť TN (prvé písmeno T znamená, že neutrálny bod zdroja je uzemnený, druhé písmeno N znamená, že neživé časti EZ sú spojené s uzemneným neutrálnym bodom). Podľa usporiadania neutrálneho vodiča a ochranného vodiča, resp. vodiča PEN, rozoznávajú sa tri druhy sietí TN, a to TN-S, TN-C-S a TN-C, podľa obrázkov 1 až 3.



Obr. 1. Sieť TN-S – Neutrálny vodič N a ochranný vodič PE sa vedú v celej sieti oddelene



Obr. 2 Sieť TN-C-S – Funkcie neutrálneho vodiča a ochranného vodiča sú v časti zlúčené do jedného vodiča PEN, od miesta rozdelenia sa neutrálny vodič N a ochranný vodič PE vedú oddelene



Obr. 3 Sieť TN-C – Funkcie neutrálneho vodiča a ochranného vodiča sú v celej sieti zlúčené do jedného vodiča

Ochrana pred úrazom

Nebezpečné účinky pri prevádzke elektrických zariadení v dôsledku zásahu elektrickým prúdom v sieťach nízkeho napätia môžu vzniknúť:

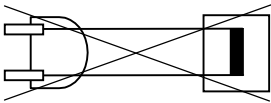

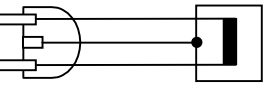

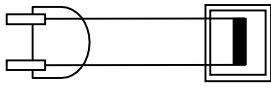

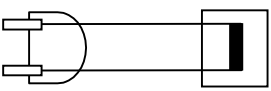
- pri priamom dotyku (dotyku živých častí) EZ s nebezpečným napätím,
- pri nepriamom dotyku (dotyku neživých častí) EZ, na ktorých môže pri poruche vzniknúť nebezpečné napätie (napr. pri poruche izolácie, skrate a pod.),
- pôsobením elektrického alebo magnetického poľa (napr. v blízkosti vyžarovacej antény),
- tepelným alebo iným žiarením,
- inak (napr. pád z výšky v dôsledku úľaku).

Každé elektrické zariadenie musí mať preto zaistenú ochranu pred priamym dotykcom (živých častí) a ochranu pred nepriamym dotykcom (neživých častí).

Triedy ochrany elektrických zariadení

Voľba určitej ochrany závisí najmä od triedy ochrany elektrického zariadenia. Podľa spôsobu zaistenia ochrany sa rozoznávajú triedy elektrických zariadení podľa tabuľky 2.

Tabuľka 2 Triedy ochrany elektrických zariadení

Trieda ochrany	Značka na EZ	Princíp ochrany	Poznámka
0			EZ nemá žiadne ochranné prostriedky na pripojenie ochranného vodiča. V SR nedovolené.
I	¹⁾ 		Spojenie neživých častí EZ s ochranným vodičom. Ochrana pred nepriamym dotykom je zaistená samočinným odpojením napájania.
II	²⁾ 		Dvojitá alebo zosilnená izolácia EZ. Neživé časti sa nespájajú s ochranným vodičom, ochrana je zaistená konštrukciou (izoláciou) EZ.
III	²⁾ 		Pripojenie EZ na zdroj malého bezpečného napätia. Zásuvka musí byť nezámenná. Ochrana je zaistená hodnotou bezpečného napätia.
<p>1) Značka sa umiestni na neodnímateľnej neživej časti EZ, pri svorke určenej na pripojenie ochranného vodiča.</p> <p>2) Značky sa umiestnia na povrch EZ, napr. na typový štítok.</p>			

Druhy ochrán pred zásahom elektrickým prúdom

Používajú sa viaceré druhy ochrán – jednak ochrany chrániace súčasne pred priamym aj nepriamym dotykom, jednak samostatné ochrany pred priamym dotykom, resp. nepriamym dotykom.

- **Ochrany chrániace súčasne pred priamym a nepriamym dotykom**

1. ochrana použitím zdroja s bezpečným napätím (tzv. napätie SELV alebo PELV),
2. ochrana obmedzením dotykového prúdu alebo náboja (zdroj nie je schopný dodávať do obvodu prúd, resp. náboj väčší ako bezpečný).

- **Ochrany pred priamym dotykom**

1. ochrana izolovaním živých častí (izolácia živých častí EZ),
2. ochrana zábranami alebo krytmi (zábrany a kryty sú súčasťou EZ),
3. ochrana prekážkami (prekážky nie sú súčasťou EZ),
4. ochrana umiestnením mimo dosahu,
5. doplnková ochrana prúdovými chráničmi,
6. ochrana doplnkovou izoláciou (izolačný koberec, izolačné pomôcky).

- **Ochrany pred nepriamym dotykom**

1. ochrana samočinným odpojením napájania (pri poruche ochranný prístroj samočinne odpojí napájanie príslušnej časti obvodu s poruchou),
2. ochrana použitím zariadení triedy ochrany II alebo rovnocennou izoláciou (EZ má dvojitú alebo zosilnenú izoláciu),
3. ochrana nevodivým okolím (v priestore nie sú vodivé časti spojené so zemou),
4. ochrana neuzemneným miestnym pospájaním (pospájaním sa dosiahne ekvipotencialita vodivých častí v danom priestore),
5. ochrana elektrickým oddelením (použije sa tzv. oddeľovací zdroj, ktorý zaisťuje galvanické oddelenie s dvojitou, resp. zosilnenou izoláciou živých častí oddeleného obvodu od ostatných obvodov; oddeľovacím zdrojom je napr. oddeľovací transformátor).

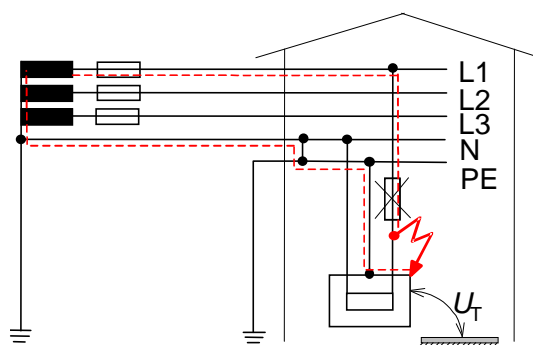
Ochrana pred nepriamym dotykom samočinným odpojením napájania

Je to najrozšírenejší spôsob ochrany pred nepriamym dotykom pre EZ triedy ochrany I. Podstatou ochrany je, že pri poruche, keď sa na neživú časť dostane nebezpečné napätie (napr. pri poruche izolácie EZ) najbližší predradený ochranný prístroj samočinne odpojí obvod alebo časť obvodu s poruchou od napájania.

Ochranným prístrojom môže byť

- nadprúdový ochranný prístroj (poistka, istič),
- prúdový chránič.

Princíp ochrany samočinným odpojením napájania je na obr. 4. Pri poruche izolácie (napr. ak dôjde k poruchovému spojeniu živej časti pod napätím s kostrou spotrebiča) poruchový prúd sa uzatvára tzv. poruchovou slučkou cez zdroj, fázový vodič, miesto poruchy, ochranný vodič PE, resp. vodič PEN (na obr. 4 je poruchová slučka vyznačená čiarkovane). Najbližší predradený ochranný prístroj (na obr. 4 preškrtnutá poistka) musí v požadovanom čase odpojiť napájanie vadného zariadenia, aby sa nebezpečné dotykové napätie U_T sa nevyskytovalo dlhšie, ako je dovolené.



Obr. 4 Princíp ochrany samočinným odpojením napájania v sieti TN-C-S

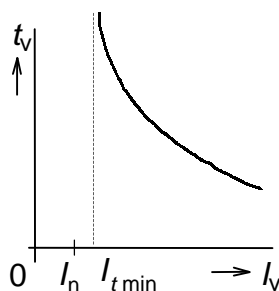
Hlavným rozdielom použitia nadprúdového ochranného prístroja (poistka, istič), resp. prúdového chrániča je to, že kým nadprúdové ochranné prístroje odpoja obvod s poruchou až pri veľkom nadprúde (prúd ktorý je väčší ako menovitý prúd v normálnej prevádzke), prúdový chránič vypína už pri veľmi malých poruchových prúdoch (rádovo desiatky mA) a tým poskytuje lepšiu ochranu.

Na druhej strane, nadprúdové istiacie prvky zaisťujú popri ochrane pred úrazom aj potrebnú ochranu vodičov pred preťažením (a tým pred nedovoleným oteplením). Prúdový chránič ochranu pred prúdovým preťažením neposkytuje – je to dané iným princípom funkcie prúdového chrániča.

Ochranné prístroje na ochranu pred úrazom elektrickým prúdom

Poistky

Poistka predstavuje umelo vytvorené najslabšie miesto elektrického obvodu. Základným funkčným prvkom každej poistky je *tavný vodič*, ktorý sa pri určitom prúde (I_v) a za určitý čas (t_v) pretaví. Vypínacia charakteristika poistky (závislosť času odpojenia od veľkosti prúdu) je na obr. 5. Pri väčšom poruchovom prúde (napr. skrate) poistka vypína skôr ako pri malom nadprúde (preťažení). Pri prúde, ktorý neprekročí menovitú hodnotu I_n , poistka, samozrejme, nesmie vypnúť.



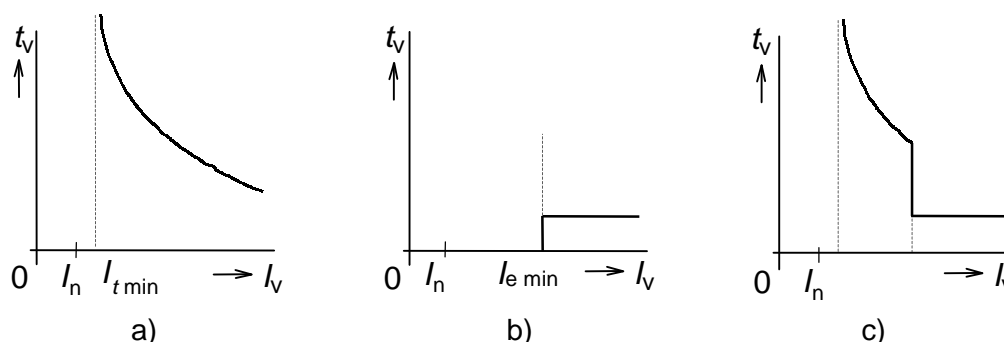
Obr. 5 Tavná charakteristika poistiek

Kvôli rýchlemu zhasnutiu elektrického oblúka je tavný drôtik alebo tavný pásik poistky umiestnený v jemnozrnnom kremennom piesku. Poistka je určená na jednorazové použitie, po pretavení tavného vodiča sa nesmie opravovať.

Ističe

Ističe sú konštruované tak, že umožňujú opakované vypnutie nadprúdu a po odstránení poruchy opätovné zapnutie obvodu. Vypnutie nadprúdov zabezpečujú masívne kontakty, ktoré sa pri vypnutí od seba oddialia. Oddialenie kontaktov pri nadprúde zaisťuje pružina, ktorá sa pri zapnutí ističa natiahne a v zapnutej polohe je zaistená zámkom voľnobežky. Pri nadprúde sa zámok uvoľní a pružina prudko oddiali kontakty. Uvoľnenie zámku sa dosiahne pôsobením *tepelnej (bimetalovej) spúšte*, ktorá reaguje na malé dlhotrvajúce preťaženia, resp. *elektromagnetickej spúšte*, ktorá reaguje veľmi rýchlo na veľké skratové prúdy.

Vypínacia charakteristika ističov je kombináciou vypínacích charakteristík tepelnej a elektromagnetickej spúšte. Vypínacia charakteristika tepelnej spúšte (obr. 6a) má podobný tvar ako tavná charakteristika poistky. Charakteristickým znakom elektromagnetickej spúšte je, že vypína až od určitej minimálnej hodnoty skratového prúdu $I_{e\ min}$, pričom tento krátky vypínací čas je približne konštantný v širokom rozsahu prúdov (obr. 6b). Výsledná vypínacia charakteristika ističa s tepelnou a elektromagnetickou spúšťou je na obr. 6c.



Obr. 6 Vypínacia charakteristika ističa

a) tepelná spúšť, b) elektromagnetická spúšť, c) výsledná charakteristika

V súčasnosti sú na trhu aj ističe, ktoré namiesto klasickej tepelnej a elektromagnetickej spúšte majú elektronické spúšte. Pri týchto ističoch možno obvykle veľmi jemne nastavovať tvar vypínacej charakteristiky v oblasti malých nadprúdov i skratových prúdov.

Prúdové chrániče

Prúdový chránič sa skladá zo súčtového transformátora, citlivého vypínacieho diferenciálneho relé a spínacieho mechanizmu. Primárny obvod súčtového transformátora tvoria všetky pracovné vodiče prechádzajúce vnútram magnetického obvodu (jadra) transformátora, obr. 7. Ak je súčet okamihových hodnôt prúdov v pracovných vodičoch nulový (normálny prevádzkový stav), v sekundárnom vinutí súčtového transformátora sa neindukuje napätie. Pri poruche je tento súčet nenulový (poruchový „spätný“ prúd neprechádza pracovnými vodičmi), v sekundárnom vinutí sa indukuje napätie, diferenciálne relé uvedie do činnosti spínací mechanizmus a tento odpojí obvod s poruchou od napájania.

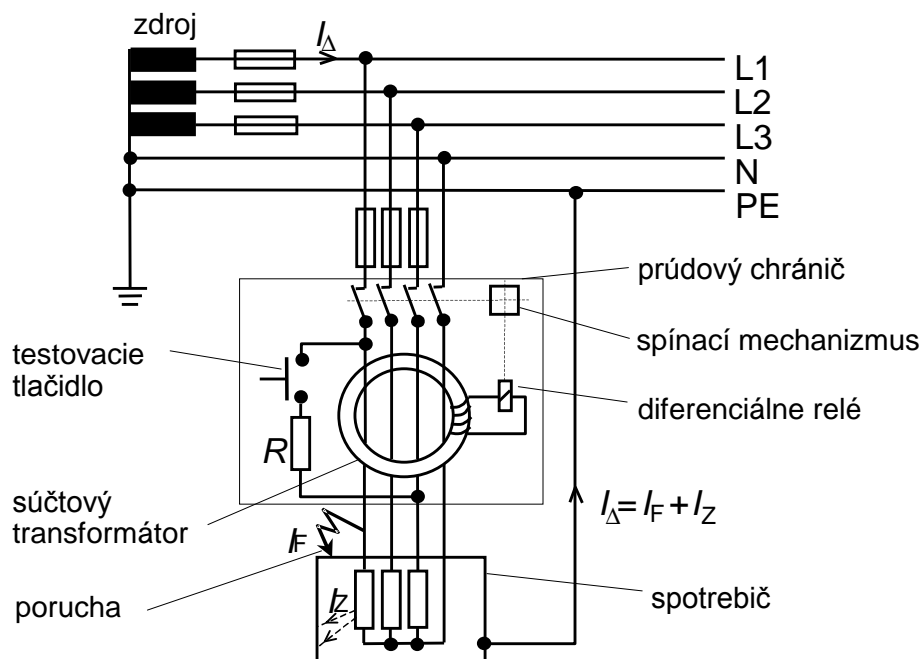
Testovacie tlačidlo zapojené v sérii s vhodným odporníkom R slúži na vytvorenie umelej poruchy a tým na testovanie funkčnosti prúdového chrániča v stanovených intervaloch.

Prúdový chránič vypína už pri veľmi malých poruchových prúdoch, kedy poistka alebo istič nereagujú. Vypína napr. aj pri priamom dotyku živej časti, kedy v dôsledku odporu ľudského tela (okolo $2\ k\Omega$) prechádza telom sice malý prúd, ktorý je však nebezpečný, môže byť aj smrteľný.

Ako už bolo uvedené, prúdový chránič nechráni obvod pred prúdovým preťažením, preto musí byť v obvode pred prúdovým chráničom zaradený príslušný istiaci prístroj (poistka istič).

Prúdové chrániče sa konštruujú ako jedнопólové, dvojpólové (do jednofázových obvodov), trojpólové a štvorpólové (do trojfázových obvodov). Na obr. 7 je štvorpólový prúdový chránič (jadrom súčtového

transformátora prechádzajú pracovné vodiče L1, L2, L3 a N). Prúdovým chráničom nesmie prechádzať ochranný vodič PE, ktorým pri poruche prechádza poruchový prúd, ktorý je vypínacím prúdom I_{Δ} chrániča.



R – odporník v obvode testovacieho tlačidla

I_{Δ} – vypínací prúd

I_F – poruchový prúd

I_Z – zvodový prúd (malý prúd prechádzajúci izoláciou aj v normálnom prevádzkovom stave; veľkosť rádovo μA až mA – pri poruche je obvykle zanedbateľný)

Obr. 7 Hlavné časti prúdového chrániča

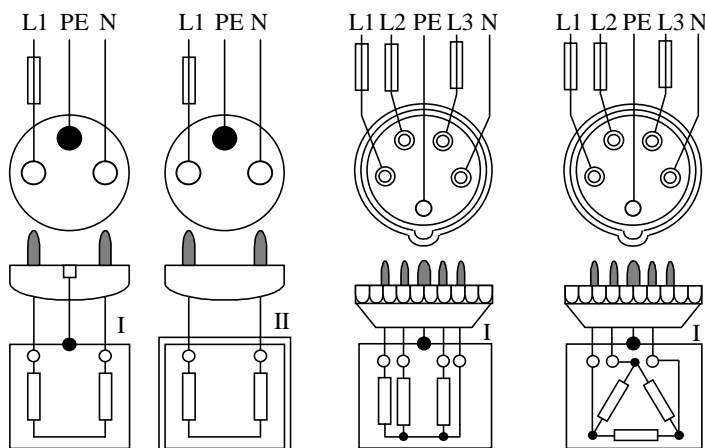
Pripájanie elektrických zariadení zásuvkami

Najväčší počet smrteľných úrazov elektrickým prúdom je spôsobený nesprávne zapojenými spotrebičmi a ich nesprávnym pripojením k elektrickej sieti. Najčastejšie používané spotrebiče triedy ochrany I majú ochranu pred nepriamym dotykom samočinným odpojením napájania. Tomu sú prispôsobené aj zásuvky pevného rozvodu, ktoré majú vždy ochranný kontakt, spojený s ochranným vodičom siete.

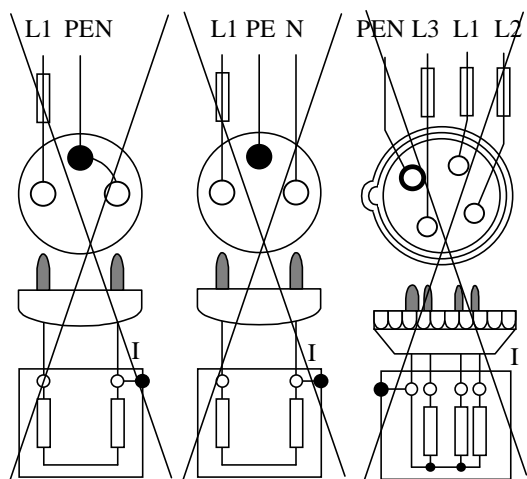
Jednofázové zásuvky sa v sieti TN-S inštalujú a pripájajú tak, aby ochranný kolík bol hore, fázový vodič sa pripojí k ľavej dutinke pri pohľade spredu, vodič PE sa pripojí k ochrannému kolíku, vodič N k pravej dutinke zásuvky (povolenú výnimku predstavujú zásuvkové rozvodky).

Správne zapojenia zásuviek a spotrebičov v súčasne budovaných sieťach TN-S, resp. TN-C-S (so samostatným ochranným vodičom PE a neutrálnym vodičom N) sú na obr. 8. Na obr. 9 sú nedovolené – nebezpečné spôsoby pripojenia spotrebičov zásuvkami.

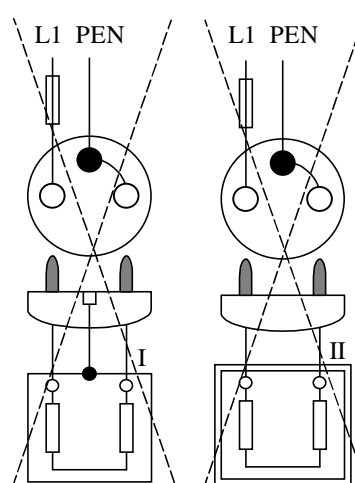
Donedávna sa u nás používal rozvod TN-C (s vodičom PEN). V existujúcich objektoch s rozvodom TN-C je na prechodnú dobu dovolené zapojenie zásuviek podľa obr. 10.



Obr. 8 Správne spôsoby pripojenia spotrebičov triedy ochrany I a II zásuvkami



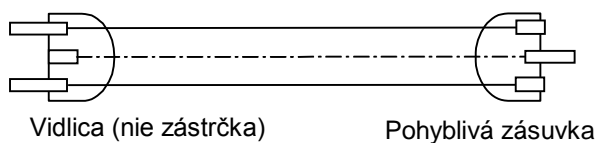
Obr. 9 Nedovolené spôsoby pripojenia spotrebičov zásuvkami



Obr. 10 Prípustné zapojenia v existujúcej inštalácii do jej najbližšej rekonštrukcie

Zapojenie predlžovacích prívodov

Predlžovacie prívody v jednofázovom rozvode musia mať vždy tri samostatné žily (aj keď sa nimi pripájajú spotrebiče triedy ochrany II, ktoré nemajú ochranný vodič), pozri obr. 11.



Obr. 11 Správne zapojenie jednofázového predlžovacieho prívodu

Poznámka: Slovo „zástrčka“, ktoré sa vo verejnosti používa namiesto správneho termínu „vidlica“, je nesprávny av odbornej terminológii sa nemá používať.

Označovanie vodičov farbami

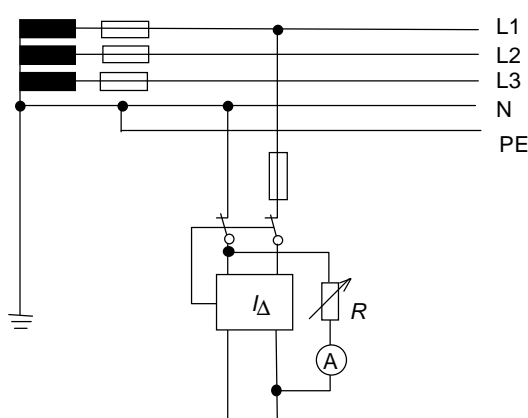
Na vzájomné rozlíšenie vodičov sa používajú poznávacie farby podľa tabuľky 3.

Tabuľka 3 Poznávacie farby vodičov

Vodič, žila kábla		Farba
L	fázový	čierna, hnedá
N	neutrálny	svetlomodrá
PE, PEN	ochranný	kombinácia zelená/žltá

Úlohy

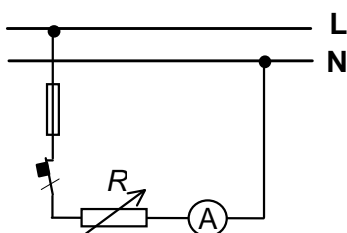
1. Overte činnosť prúdového chrániča v zapojení podľa obr. 12.



Obr. 12 Zapojenie na kontrolu činnosti prúdového chrániča

Postup pri meraní: Po pripojení obvodu k zdroju postupne znižujeme hodnotu odporu R , čím sa zvyšuje rozdielový prúd I_{Δ} . Ampérmetrom A kontrolujeme prúd, pri ktorom dôjde k vypnutiu prúdového chrániča.

2. Meraním určíte časť vypínacej charakteristiky ističa v zapojení podľa obr. 13.



Obr. 13 Zapojenie na meranie vypínacej charakteristiky ističa

Postup pri meraní: Po pripojení obvodu k zdroju nastavíme vhodnú hodnotu odporu R a meriame čas, za ktorý istič vypne pôsobením tepelnej spúšte. Meranie opakujeme pre rôzne nastavené hodnoty prúdu. Z nameraných hodnôt času a vypínacieho prúdu zostrojíme časť vypínacej charakteristiky ističa $t_v = f(I_v)$.