

ČÁST I: JIŠTĚNÍ ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ

Úvod

Každé elektrické zařízení v menší nebo větší míře spotřebovává elektrickou energii. Proto, pokud nemá vlastní zdroj, vyžaduje, aby se do něj elektrická energie přiváděla.

Správně pracující elektrické zařízení je charakterizováno kromě jiného tím, že se jeho spotřeba elektrické energie za jednotku času, tj. jeho příkon, pohybuje v předem daných mezích. Nejjednodušší způsob, jakým se porucha v elektrickém zařízení projeví, je obvykle dramatický, velmi silný, jindy ale postupný, nicméně posléze již nebezpečný nárůst příkonu, tj. nárůst přiváděné elektrické energie. K nárůstu příkonu dochází také v důsledku nadměrných nároků na zařízení. Zařízení je přetěžováno. Toto přetěžování dále způsobuje nadměrné tepelné namáhání zařízení, především jeho izolace, což může vést k jejímu poškození, průrazu a konečně ke zkratu. Nárůst příkonu se projeví především nárůstem proudu, který zařízení odebírá. Ten pak v druhé řadě způsobí pokles napětí v místě připojení spotřebiče i fázový posun proudu vůči napětí. V případě velkého, déle trvajícího nárůstu proudu, je třeba zařízení co nejdříve odpojit, aby nedošlo k poškození chráněného zařízení. K odpojení slouží v principu dva prvky, jeden zvýšení příkonu, tj. proudu, zjistí, druhý na základě tohoto zjištění – na základě této informace – zařízení odpojí. Toto rozložení na čidlo a vlastní výkonné zařízení se uplatňuje zejména u výkonných zařízení vn. (Prvkem, který zvýšení proudu zjistí a vyhodnotí, je tzv. ochrana zařízení či vedení. Prvkem, který na základě popudu z této ochrany zařízení odpojí, je výkonový vypínač.)

V praxi jsou u běžných jističích zařízení nn uvedené dva prvky obsaženy v jednom přístroji. V jističi jsou obsaženy dokonce dva prvky zjišťující nadproud. Jeden je magnetická spoušť zjišťující zkrat, druhý je bimetal reagující na dlouhodobější přetížení. Oba prvky při poruše zapůsobí na spínací prvek rozpojující přívod. V pojistce je jediný prvek – tavný vodič – slučující funkci obou výše uvedených prvků. Tavný vodič zároveň – tím, že se ohřeje – zjišťuje nadproud a při překročení přípustné hodnoty nadproudu způsobuje odpojení – tím, že se přetaví.

U složitějších a dražších zařízení, jako jsou generátory pro výrobu elektrické energie, vedení vvn a zvn, velké výkonové transformátory nebo jiné velké elektrické stroje pro motuhtné pohony, je účelné chránit tato zařízení také citlivějšími a dražšími přístroji. Tyto přístroje, kterých může být celá řada, a to podle složitosti a ceny zařízení, bývají sestaveny do souborů. Jedná se jednak o čidla, která zjišťují různé veličiny charakteristické pro chod elektrického zařízení, tj. nejen proud, napětí, ale i fázový posun proudu a napětí nebo přímo i oteplení vinutí elektrických strojů. Dalším zařízením z uvedeného souboru je zařízení vyhodnocující údaje jednotlivých čidel. Toto vyhodnocovací zařízení dá nakonec popud výkonovému vypínači, který zajišťuje např. odpojení chráněného elektrického stroje. Zařízení zjišťující a vyhodnocující stavy elektrického zařízení z hlediska jeho bezpečné a spolehlivé funkce se nazývá ochrana elektrického zařízení. Její jednoduché schéma je na obr. 1 (str. 16).

Je zřejmé, že i pro ochranu jednodušších zařízení je možné uplatnit složitější a přesnější techniku. Ekonomické zákonitosti nás však nutí k tomu, abychom na ochranu jednoduchých zařízení používali jednoduché a poměrně levné přístroje. Proto je tato publikace

2. PRINCIP JIŠTĚNÍ

Abychom se lépe vyznali v tom, co od jisticího prvku požadujeme, řekněme si pár slov o principu jištění, o charakteristikách jisticích prvků a o tom, jak by tyto charakteristiky měly vypadat.

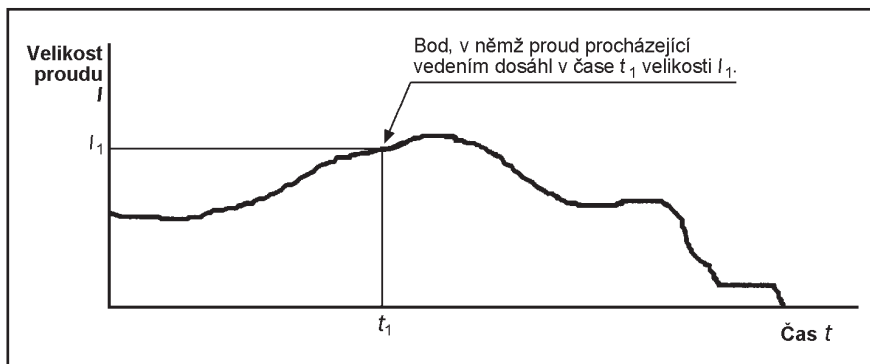
Princip jištění spočívá v tom, že jisticí prvek způsobí odpojení přívodu elektrické energie do chráněného elektrického zařízení dříve, než by přiváděná elektrická energie, např. při přetížení zařízení, mohla zařízení poškodit. Protože přiváděná energie je, za předpokladu prakticky konstantního napětí, úměrná odebíranému proudu, musí doba odpojení záviset na tom, jak velký je nadproud, tj. proud větší než jmenovitý. V závislosti na velikosti nadproudu zajišťuje jisticí prvek vypnutí v dostatečně krátkém čase. V zásadě je možné říci, že čím větší je nadproud, tím kratší musí být doba odpojení. Závislost doby odpojení na velikosti nadproudu se nazývá vypínací charakteristika jisticího prvku „čas – proud“.

Charakteristika „čas – proud“ je matematická vzájemná závislost dvou veličin – času a proudu. Pro srozumitelnost, větší názornost a snadnější odečítání veličin se tato závislost obvykle vyjadřuje graficky. Jinak může být samozřejmě vyjádřena i formou tabulky nebo matematického vztahu – funkční závislost doby odpojení na velikosti proudu $t = f(I)$ nebo naopak velikosti proudu na době odpojení $I = f(t)$.

2.1 Charakteristika „čas – proud“

Ještě předtím, než si rozvedeme, jak by měla charakteristika jisticího prvku „čas – proud“ vypadat, si řekneme, co tato charakteristika není. V žádném případě neznázorňuje časový průběh proudového zatížení např. motoru, spotřebiče, vedení nebo i objektu či provozu.

Příklad takového průběhu je uveden na obr. 6. Co má tento průběh společného s charakteristikou jisticího prvku „čas – proud“? Nesmíme se nechat mýlit tím, že na obr. 6 existuje bod o souřadnicích I_1 , t_1 . Bod o těchto souřadnicích pouze vypovídá o tom, že v čase t_1 protékal vodičem proud o velikosti I_1 . I kdyby tyto souřadnice byly větší než souřadnice na charakteristice „čas – proud“ jisticího prvku, nemuselo by to vůbec znamenat, že proud procházející vedením bude tímto prvkem vypnut. To záleží na předchozím průběhu proudu.



Obr. 6 Časový průběh proudového zatížení elektrického zařízení

Obdobně pro maximální charakteristiky postačí, jestliže:

- víme, jak velký trvalý proud by již zařízení poškodil – pak musí být tento proud větší, než je maximální hodinový nebo dvou či vícehodinový proud jisticího prvku (podle velikosti jmenovitého proudu jištění), který tento jisticí prvek musí vypnout,
- rovněž víme, jak velký zkratový proud by již zařízení poškodil – pak musejí být zkratová spoušť jističe nebo maximální proud pojistky pro přípustnou dobu trvání zkratu níže, než je uvedený poškozující zkratový proud zařízení.

Ještě je třeba upozornit na jednu věc. V charakteristikách „čas – proud“ jsou na osách času t i proudu I velikosti proudu i doby jeho trvání vyneseny v logaritmických souřadnicích. V lineárních souřadnicích by totiž největší hodnoty časů a proudů byly na stupnicích velmi vzdálené od počátku a zajímavá oblast menších nadproudů a kratších časů by zaujímal pouze malou oblast charakteristik. Body z této oblasti by se pak poměrně těžko z charakteristiky odečítaly.

2.2 Charakteristiky jisticích prvků

Různorodost elektrických zařízení vyžaduje, aby jim byly přiřazeny jisticí prvky s různou charakteristikou. Pokud není charakteristika jisticího prvku vhodně zvolena, nemůže být ani chráněné elektrické zařízení optimálně zatěžováno, i když jeho nebezpečným nebo i nepřípustným stavům je zabráněno. Například u elektromotoru sice nedojde k přetížení, což je základní požadavek, ale není využit optimální záběrový moment, protože ještě před jeho dosažením dojde k vypnutí způsobenému jisticím prvkem. Optimální charakteristiky jisticích prvků tedy vyplývají z maximálních přípustných charakteristik zatěžování chráněného elektrického zařízení.

Následující obrázky ukazují příklady vypínacích charakteristik jisticích prvků sloužících k různým účelům. Za povšimnutí stojí to, že čím větší elektrické zařízení se chrání, tím déle může být přetěžováno. Tento poznatek je odůvodněn tím, že většímu, a tedy i hmotnějšímu elektrickému zařízení trvá déle, než se zahřeje. Z toho vyplývají i delší časy odpojení jisticích prvků na větší jmenovité proudy.

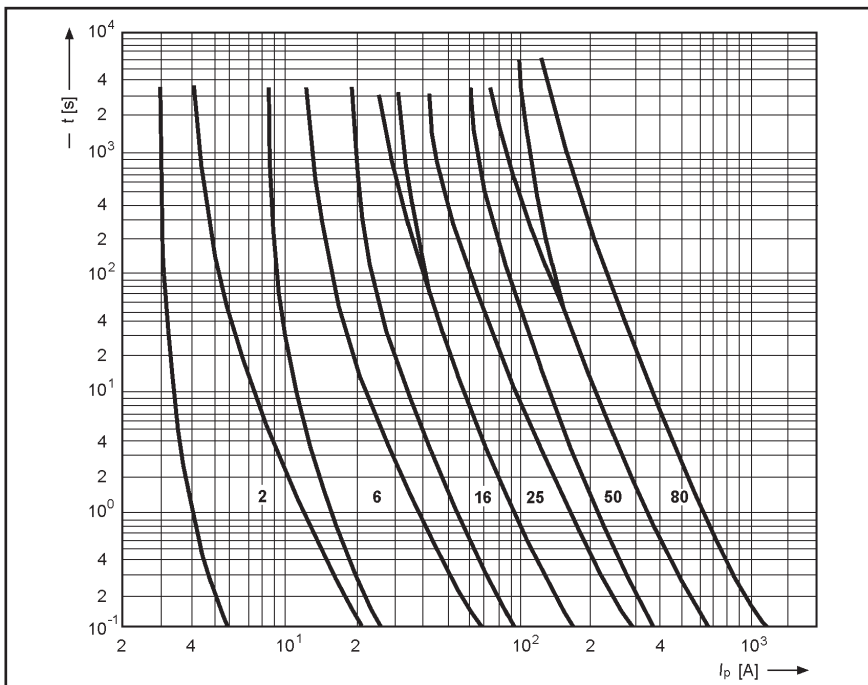
Na obr. 15 (str. 33 a 34) vidíme charakteristiky pojistkových vložek typu gG do závitových pojistek a gF1 optimálních pro jištění kabelů s izolací PVC, na obr. 16 (str. 35) miniaturních pojistek, na obr. 17 (str. 36) je charakteristika jističe BA51G33 jednak se zkratovou spouští pro vedení, jednak se zkratovou spouští pro ochranu motoru.

Na obr. 18 (str. 37 a 38) jsou uvedeny dosud používané charakteristiky jističů U (normální) a L (rychlá) podle starší normy ČSN 354171 a ještě méně obvyklá charakteristika H, a dále pak charakteristiky jističů B, C a D podle souboru ČSN EN 60898.

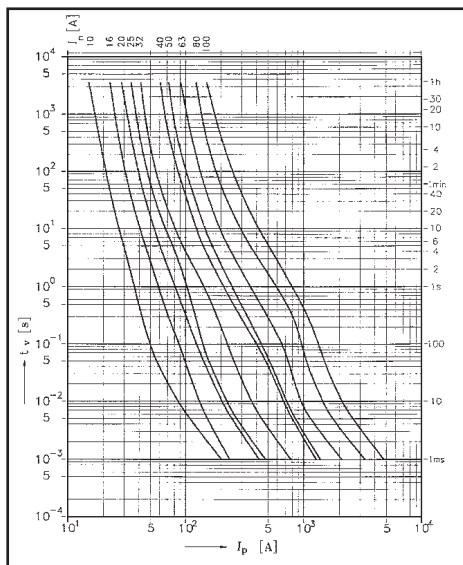
Charakteristiky B, C a D mají předepsáno shodné nastavení tepelné spouště. Rozdíly mezi těmito charakteristikami spočívají v nastavení zkratové (okamžité) spouště.

Charakteristika B, jejíž zkratová spoušť je nastavena na hodnoty vybavovacích proudů mezi 3 až 5 I_n je vhodná pro ochranu vedení a sítí tak, aby byla bez problémů zajištěna i ochrana automatickým odpojením.

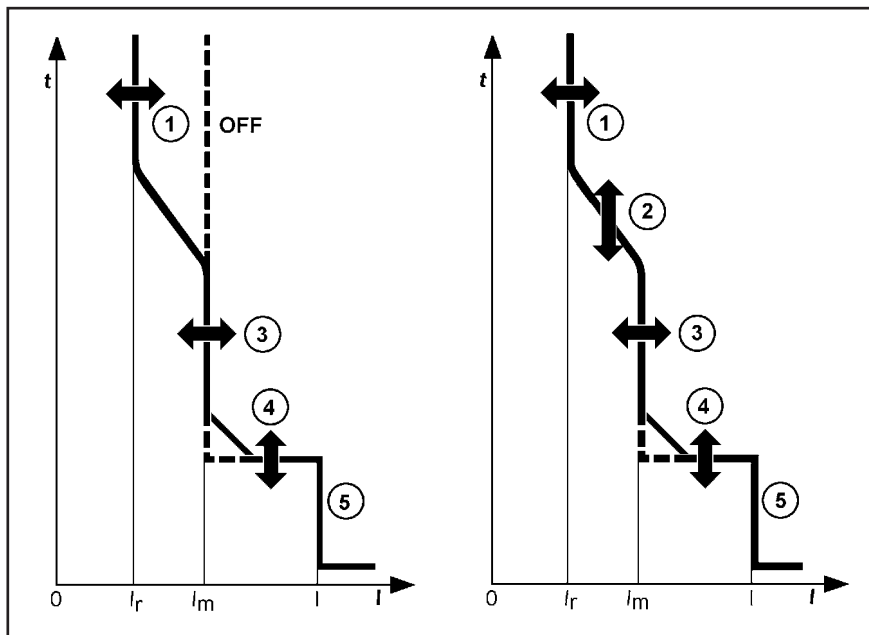
Charakteristika C, jejíž zkratová spoušť je nastavena na hodnoty vybavovacích proudů mezi 5 až 10 I_n (liší se tedy od charakteristiky B pouze vyšší hodnotou tohoto nastavení), je určena pro ochranu vedení v obvodech s velkými špičkami zapínacího (nebo spouštěcího) proudu (např. u motorů nebo světelných obvodů se žárovkami).



Obr. 15b Charakteristiky pojistkových vložek typu gG do závitových pojistek



Obr. 15c Příklad charakteristik
pojistkových vložek
typu gF1



Obr. 21 Charakteristiky jističů na větší proudy, u nichž je možno nastavovat jak jmenovitý proud I_n , tak vybavovací proudy i doby vypnutí v jednotlivých částech charakteristiky

2.3 Zkratová odolnost

Při přímém spojení mezi fázemi nebo mezi fází a nulovým vodičem vznikne zkrat. V jeho důsledku vznikne zkratový proud. Průběh tohoto zkratového proudu je znázorněn na obr. 22 (str. 44). Příklad, kdy je maximální hodnota zkratového proudu odvozena z jeho efektivní hodnoty představované prostým podílem napětí a impedance obvodu, v němž ke zkratu došlo tak, že se tato efektivní hodnota násobí prostě konstantou rovnou $\sqrt{2} = 1,41$, vidíme na obr. 22c. (Uvedená konstanta $\sqrt{2} = 1,41$ představuje obecně poměr mezi maximální a efektivní hodnotou veličiny sinusového průběhu.) K takové situaci dochází zejména tehdy, jestliže má v impedanci obvodu se zkratem převahu především činná složka – činný odpor (neboli rezistance).

Na obr. 22a vidíme obvyklejší případ, kdy maximální hodnota zkratového proudu nemusí být za určitých okolností vyjádřena jenom 1,41násobkem efektivní hodnoty zkratového proudu, ale může být oproti uvedenému násobku značně větší a podle normy je možné předpokládat, že dosáhne hodnoty až 2,2. K tomu dochází obvykle tehdy, jestliže má v impedanci obvodu se zkratem převahu především jalová – induktivní – složka (neboli indukance). Ke zkratu pak obvykle dojde v maximu napětí. Protože se ale proud v tomto okam-

3. JIŠTĚNÍ VEDENÍ A ZAŘÍZENÍ PŘED PŘETÍŽENÍM A ZKRATEM

Na jakémkoliv zařízení je nutné zajistit ochranu před nadproudy, které by mohly mít na zařízení, osoby nebo i hospodářská zvířata škodlivé účinky (zvýšenou teplotou nebo elektromechanickými silami).

Ochrana musí být zajištěna některým z těchto způsobů:

- automatickým odpojením jakmile vznikne nadproud, a to ještě předtím, než tento nadproud a doba jeho trvání dosáhnou nebezpečné hodnoty,
- omezením nejvyššího nadproudu na bezpečnou hodnotu a bezpečnou dobu trvání.

3.1 Jištění vedení

Pracovní vodiče musí být chráněny před přetížením a před zkratovými proudy kromě případů, kdy jsou nadproudy omezeny na bezpečnou hodnotu. To se provádí tak, že jsou napájeny ze zdroje s takovou vnitřní impedancí, která nedovolí, aby proud vzrostl nad dovolenou hodnotu. Kromě toho se ochrana vedení před proudovým přetížením může vynechat v případech, kdy je vedení určeno pro napájení zařízení sloužící v případě nouze.

3.1.1 Umístění prvků chránících vedení před přetížením a zkratem

Odpověď na otázku, kde se umísťují tyto prvky, navazuje na kapitulu o selektivitě. Tam jsou uvedeny důvody, proč má jisticí prvek koncového obvodu vypnout pokud možno dříve než jisticí prvek předřazeného obvodu. V elektrickém rozvodu musí být tedy jisticí prvky umístěny odstupňovaně. V zásadě musí být prvek jisticí před přetížením i před zkratem umístěn tam, kde změna charakteristik – obvykle snížení průřezu, ale i změna materiálu vodiče, jeho uložení nebo seskupení – způsobuje snížení hodnot dovoleného proudu vodičů. Z tohoto pravidla existují z praktických důvodů některé výjimky. Jisticí prvek se totiž umísťuje vždy za místo odbočení. To znamená, že od místa odbočení až do místa, kde je instalován jisticí prvek, by měl být průřez vodiče stejný jako průřez vedení, ze kterého odbočka vychází. To je nepraktické. Kromě toho přetížení není způsobováno vedením samotným, ale napájeným zařízením, které může být přetíženo. Na vedení může dojít pouze ke zkratu.

Jištění před přetížením jinde než na začátku vedení (obr. 31 – str. 60 a 61)

Z výše uvedených důvodů ČSN 33 2000-4-43 ed. 2 připouští, že prvek zajišťující ochranu před přetížením může být umístěn kdekoli na trase chráněného vedení. Musí ale platit podmínka, že mezi místem, kde dochází ke změně průřezu, druhu, způsobu uložení nebo materiálu vodičů, a místem, kde je umístěn jisticí prvek, nemá toto vedení ani odbočku, ani zásuvku. Přitom musí být vedení ještě chráněno před zkratovým proudem předřazeným jisticím prvkem, který jistí obvykle vedení, ze kterého odbočka vychází. Abychom si uvědomili, co uvedená podmínka – zajištění ochrany před zkratem – znamená, připomeňme si zde (již dříve na str. 46 uvedený) vztah (3), kterému – z hlediska zkratu – musí charakteristika jištění a vedení, kterému je toto jištění předřazeno, vyhovovat.

4. JIŠTĚNÍ STROJNÍCH ZAŘÍZENÍ

4.1 Obecně

Stroje a pohony musí být jištěny takovým způsobem, aby byla zaručena jejich bezpečnost za všech předpokládaných provozních stavů.

Jištění před nadproudy se musí provést tam, kde proud v obvodu stroje může překročit jmenovitou hodnotu proudové zatížitelnosti buď některé součásti, nebo kteréhokoliv z vodičů.

4.2 Jištění přívodu a silových obvodů

Pokud se týká jištění přívodu ke strojnímu zařízení, není za ně dodavatel elektrického zařízení zodpovědný. Dodavatel elektrického zařízení stroje však musí na zapojovacím schématu jasně uvést všechny údaje pro volbu jištění přívodu před nadproudy. V této otázce je nutná dohoda mezi dodavatelem a odběratelem. Vodiče ve strojním zařízení (mezi které se počítají i vodiče řídicích obvodů připojené přímo k přívodu i příводы k transformátorům řídicích obvodů), se chrání v souladu s výše uvedenými obecnými zásadami jištění vodičů a kabelů. Jmenovitý proud nebo nastavení přístroje jisticího proti nadproudům jsou určeny proudovou zatížitelností vodičů, které mají být chráněny, obobně jako je uvedeno dále (především v kapitolách 12 a 13). Zatížitelnosti vodičů a kabelů jsou však nižší, protože se obvykle uvažuje s teplotou prostředí 40 °C, jak je uvedeno v ČSN EN 60204-1 ed. 2 i ed. 3. Tyto hodnoty musí být zvoleny také tak, aby byly dostatečné pro předpokládané nadproudy (např. během spouštění motorů nebo při připojování transformátorů pod napětí).

4.3 Jištění řídicích obvodů

Vodiče řídicích obvodů připojené přímo k napájecímu napětí a vodiče obvodů napájejících transformátory řídicích obvodů musí být jištěny proti nadproudům stejně jako silové obvody.

V řídicích obvodech za transformátorem, u kterých je jeden konec sekundárního vinutí spojen s ochranným obvodem (tj. s pospojováním a s ochranným vodičem přívodu nebo s uzemněním celého zařízení), se vyžaduje vybavit jisticím prvkem pouze neuzeštěný vodič těchto obvodů.

V řídicích obvodech nepřipojených k ochrannému obvodu:

- kde jsou použity ve všech řídicích obvodech vodiče stejného průřezu, vložením přístroje jisticího před nadproudy na začátek spínaného vodiče, a
- kde jsou použity v různých podružných obvodech vodiče různého průřezu, vložením přístrojů jisticích před nadproudy jak do spínaného, tak do běžného vodiče každého podružného obvodu.

4.4 Jištění zásuvek, osvětlení a transformátorů

Obvody napájející univerzální zásuvky určené především pro údržbu, musí být jištěny před nadproudy. Jištění musí být v každém neuzeštěném živém vodiči takovýchto obvodů.

U obvodů místního osvětlení musí být před zkratem jištěny všechny neuzeštěné vodiče, a to jističi oddělenými od jističů ostatních obvodů.

5. KDY A PROČ NENÍ TŘEBA A KDY SE NESMÍ ZAŘÍZENÍ JISTIT?

5.1 Vynechání jištění před přetížením

Důrazně se doporučuje vynechat prvek jisticí před přetížením u obvodů napájejících přístroje, jestliže by nečekané rozpojení obvodu mohlo vyvolat nebezpečí. Je to např.:

- v budících obvodech rotačních strojů (nebezpečí nekontrolované prudké změny otáček),
- v napájejících obvodech zvedacích elektromagnetů (nebezpečí pádu břemene),
- v sekundárních obvodech proudových transformátorů (nebezpečné napětí).

Od jištění má být upuštěno u motorů a spotřebičů, u nichž by náhlé vypnutí způsobené zapůsobením jištění vyvolalo jakékoliv nebezpečí pro provoz příslušného zařízení (týká se to např. brzd). Lepší řešení je nebezpečný stav signalizovat předtím, než dojde k vypnutí zařízení v důsledku přetížení.

V některých konkrétně určených případech, např. u pohonu ventilátorů, odstředivých čerpadel apod., rovněž u motorů pro ručně ovládaná zařízení, která jsou pod trvalým dohledem obsluhy, lze předpokládat, že nemůže dojít k přetížení. V těchto případech je možno jištění před přetížením vynechat.

Dále se doporučuje vynechat prvek jisticí před přetížením u zařízení, která slouží v případě nebezpečí a u nichž by přerušení jejich chodu mohlo znamenat ohrožení záchranné akce (evakuace osob apod.). Je to např.:

- v obvodech napájejících součásti hasicích zařízení (čerpadla apod.),
- u zařízení sloužících v případě nouze, tj. zařízení pro napájení prostředků zajišťujících v podstatné míře bezpečnost osob nebo sloužících k záchraně jejich životů (evakuační výtahy, ventilační a čerpací zařízení, poplachové prvky, nouzové osvětlení). U těchto obvodů je třeba o vynechání ochrany rozhodnout na základě toho, zda je uvedené zařízení využíváno skutečně pouze pro případ krajní nouze, kdy přerušení jeho chodu by znamenalo vážné ohrožení bezpečnosti, nebo zda je užíváno též při neobvyklých, ale jinak nijak mimořádných situacích, které bezpečnost podstatně neohrožují (výpadek distribuční sítě a napájení nouzového osvětlení).

5.2 Vynechání jištění před přetížením i zkratem

Ochrana před přetížením a před zkratovými proudy není nutná:

- u elektrochemických, elektrometalurgických, svářecích a podobných zařízení (s velkými proudy). Musí se však zajistit, aby se vedení od zdrojů (transformátorů, generátorů, měničů apod.) nebezpečně nezahřívalo;
- u obvodů s velkými krátkodobými proudy, jako jsou obvody baterie pro startování spalovacích motorů. Rovněž u těchto obvodů je třeba zajistit, že se vedení nebude nebezpečně zahřívat.

6. JIŠTĚNÍ Z HLEDISKA OCHRANY PŘED ÚRAZEM ELEKTRICKÝM PROUDEM

Jištění elektrického vedení z hlediska zajištění správné funkce ochrany před úrazem elektrickým proudem musí být kontrolováno v případech ochrany automatickým odpojením od zdroje. Je to tehdy, když jsou jako prvky zajišťující automatické odpojení od zdroje použity nadproudové jisticí prvky, tj. pojistky nebo jističe. Přiřazení jisticího prvku k danému vedení musí vyhovovat z hlediska splnění podmínky ochrany automatickým odpojením od zdroje. Tyto podmínky jsou různé pro sítě TN, TT a IT.

V síti TN musí být splněna podmínka:

$$Z_S \cdot I_a \leq U_0, \quad (10)$$

kde:

Z_S je impedance poruchové smyčky [Ω] zahrnující zdroj, pracovní vodič k místu poruchy a ochranný vodič mezi místem poruchy a zdrojem,

I_a je proud [A] zajišťující automatickou funkci odpojovacího přístroje ve stanovené době (ta je pro koncové obvody s $U_0 = 230$ V rovna 0,4 s, pro ostatní napětí jsou doby odpojení stanoveny dále – viz též tab. 40 na str. 154).

U_0 je jmenovité střídavé napětí sítě proti zemi [V].

Maximální doby odpojení v sítích TN pro koncové (zásuvkové) obvody, které nepřekračují 32 A, jsou uvedeny v tab. 40 (na str. 154).

Pro distribuční obvody i pro koncové obvody nad 32 A se připouští delší doba odpojení nepřesahující ale 5 s.

Správné, nebo lépe řečeno vyhovující přiřazení jisticího prvku je třeba zkontrolovat podle charakteristik jisticích prvků – pojistek a jističů. Z charakteristik jisticího prvku daného vedení (kterou udá výrobce nebo se nalezne v katalogu) se pro příslušný čas odečte velikost proudu. To je proud, který způsobí odpojení v daném čase. Proud, který při zkratu protéká danou smyčkou poruchového proudu, musí být tomuto proudu roven nebo musí být větší. V souladu s tím musí být i impedance smyčky poruchového proudu, jak odpovídá i výše uvedenému vzorci. To znamená, že impedance smyčky musí být menší nebo alespoň rovna impedanci vypočtené z výše uvedeného vzorce. Přitom je však třeba počítat s impedancí vodičů za teplého stavu. Jak se s ní počítá a jak se přiřazují pojistky a jističe z hlediska ochrany automatickým odpojením v síti TN, je uvedeno v části II (kap. 14).

V sítích TT se obvykle ochrana automatickým odpojením zajišťuje pomocí proudových chráničů. Je to proto, že smyčka poruchového proudu prochází nejen fázovým vodičem, ale i zemí, jejíž elektrický odpor složený z odporu uzemnění chráněného zařízení a uzlu zdroje dosahuje obvykle hodnot několika, ale spíše až několika desítek ohmů. To je hodnota podstatně větší než hodnota impedance smyčky v sítích TN složené v podstatě pouze z impedancí vodičů a dosahující obvykle hodnoty do jednoho ohmu.

Nuže, pro úplnost si uvedeme podmínku pro automatické odpojení v sítích TT, jestliže je pro ochranu při poruše použit proudový chránič. Tato podmínka, která dříve platila i v přípa-

8. DIMENZOVANÍ VEDENÍ Z HLEDISKA JEHO OTEPLENÍ

Elektrická energie se k místu spotřeby přenáší prostřednictvím elektrického vedení. Elektrické vedení je tvořeno vodičem, kterým je veden elektrický proud, a izolací, jejímž účelem je udržovat rozdíl potenciálů (napětí) mezi vodičem a okolím. Protože vodiče používané v praxi nejsou dokonalé, tj. ideální supravodiče, vznikají průchodem elektrického proudu ztráty, a tím se vyvíjí teplo (vodiče se zahřívají). Tuto skutečnost je třeba respektovat při dimenzování vodičů a kabelů.

V této kapitole nebudeme uvádět podrobný způsob výpočtu proudové zatížitelnosti vodičů a kabelů. Tato problematika byla ve značně zjednodušené formě uvedena již v [17], rozebírala ji i jiná literatura a podrobně je pro různé typy kabelů a vodičů rozvedena v soubo-ru mezinárodních technických norem IEC 60287 (viz ČSN IEC 60287-1-1+A1). Uvedeme si jen princip, na jehož základě se proudová zatížitelnost vodičů a kabelů určuje. Na obr. 39 je znázorněn vodič se svými izolacemi uložený v prostředí (ve vzduchu, ve zdi, v zemi apod.). Ztrátový výkon P [W] vznikající průchodem elektrického proudu I [A] vodičem o odporu R [Ω] se rozptyluje do okolního prostředí (jak je na obr. 39 rovněž znázorněno). Přechodem ztrátového výkonu do okolního prostředí se zvýšila teplota nejen ve vodiči, ale i v jeho okolí. Ta však směrem od jádra vodiče klesá, až se v určité vzdálenosti (v okruhu, který je na obrázku vyznačen) již téměř rovná teplotě vzdáleného okolí.

Snad není třeba připomínat, že k ohřátí okolí vodiče dochází teplem, které vychází z jeho jádra a které vzniká průchodem proudu. Přitom se vodič zahřeje tím více, čím větší proud jím prochází a čím více tepelně izolační látky brání v přechodu tepla z vodiče do okolního prostředí. Tepelně izolačními látkami, které jsou na obr. 39 patrné, jsou izolace vodiče i samotné okolní prostředí. Míra toho, jak tyto látky brání v přechodu tepla (tepelného výkonu) do okolí, je vyjadřována jako tepelný odpor T mezi jádrem vodiče a okolím. Teplo (tepelný výkon) P [W] přecházející do okolí zjistíme tak, že teplotní rozdíl mezi jádrem vodiče a okolním prostředím $\Delta\theta$ [K, popř. $^{\circ}\text{C}$] dělíme právě uvedeným tepelným odporem T [K/W, popř. $^{\circ}\text{C}/\text{W}$]. To je ostatně znázorněno na poněkud pro elektrotechniky upraveném schématu na obr. 40. Z uvedených úvahy i z obr. 40 vyplývá:

$$P = \Delta\theta/T. \quad (15)$$

Uvědomíme-li si, že v ustáleném stavu je tento výkon roven:

$$P = R \cdot I^2, \quad (16)$$

vychází nám

$$R \cdot I^2 = \Delta\theta/T \quad (17)$$

a z toho

$$I = [\Delta\theta/(R \cdot T)]^{1/2}. \quad (18)$$

Porovnání uvedených vztahů je znázorněno na obr. 41. Vlevo je závislost ztrátového (tepelného) výkonu P ve vodiči na procházejícím proudu. Vpravo je závislost tepelného výkonu (tepla) předávaného z vodiče do okolí na rozdílu teplot mezi jádrem vodiče a okolím.