

15. DIMENZOVÁNÍ A JIŠTĚNÍ ELEKTRICKÝCH VEDENÍ

Obsah:

- 1. Úvod**
- 2. Dimenzování vedení podle přípustného oteplení**
- 3. Dimenzování vedení s ohledem na hospodárnost**
- 4. Dimenzování vedení s ohledem na mechanické namáhání**
- 5. Dimenzování vedení podle dovoleného úbytku napětí.**
- 6. Dimenzování vedení s ohledem na účinky zkratových proudů**
- 7. Dimenzování vedení s ohledem na správnou funkci ochrany před úrazem elektrickým proudem**
- 8. Jištění elektrických vedení**

2008

Ing. Tomáš MIČÁK, Ph.D.
Doc. Ing. Václav VRÁNA, CSc.

1. Úvod

Elektrické vedení je významnou součástí každého elektrického zařízení a umožňuje přenos elektrické energie a signálů na vzdálenosti. Elektrické vedení je tvořeno vodiči, které slouží k vedení el. proudu a izolací oddělující živou část od okolí (s výjimkou vedení holých).

Druhy elektrických vedení

- a) vedení z holých vodičů - převážně venkovní ;
- b) vedení v trubkách a lištách;
- c) vedení z můstkových vodičů;
- d) vedení kabelová.

Průřez elektrického vedení musí být takový, aby splňoval požadavky na:

- 1) přípustné (dovolené) oteplení;
- 2) hospodárnost provozu;
- 3) mechanickou pevnost;
- 4) odolnost vůči účinkům zkratového proudu;
- 5) dovolené úbytky napětí;
- 6) spolehlivou funkci ochrany před úrazem elektrickým proudem.

Určení výpočtového zatížení a proudu vedení

Při projektování elektrického rozvodu v jakémkoli objektu musí být určen maximální odběr, na který musí být dimenzováno vedení, napájecí zdroj (např. transformátor), jistící přístroje ap. Určení maximálního odběru např. u objektu dle součtu příkonu všech spotřebičů instalovaných v objektu by bylo nevhodné, protože nezohledňuje jak velmi malou pravděpodobnost současného provozu všech spotřebičů tak i jejich zatížení na plný - jmenovitý výkon.

Proto je nutno určit takzvané výpočtové zatížení P_v :

$$P_v = \beta \cdot \sum P_i$$

kde: β ... činitel náročnosti dané skupiny spotřebičů, (pro různé skupiny spotřebičů a druhy provozů ho udávají normy, pohybuje se v rozmezí 0,2 až 1).

P_i ... výkony jednotlivých instalovaných spotřebičů.

Z výpočtového zatížení P_v se následně určí výpočtový proud I_v :

např. pro trojfázový rozvod:
$$I_v = \frac{P_v}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

kde: U sdrožené napětí v napájecí síti

$\cos \varphi$ střední účinník pro danou skupinu zařízení, také lze najít v normách.

2. Dimenzování vedení podle přípustného oteplení

Při průchodu proudu vodičem dochází k jeho zahřívání. Vyvinuté teplo ve vodiči je přímo úměrné odporu vodiče R_v a druhé mocnině proudu tekoucího vodičem I_v .

V ustáleném stavu (konstantní teplota vodiče) se množství tepla vyvinutého ve vodiči rovná množství tepla předaného do okolí a je přímo úměrné teplotnímu rozdílu mezi vodičem a okolím $\Delta\theta$.

Izolace vodičů a kabelů je tepelně méně odolná než kovové vodiče, proto je nejvyšší dovolená teplota vodiče dána druhem izolace. Teplota vodiče ovšem nesmí dlouhodobě překročit určitou hodnotu, při které by se zkracovala životnost jeho izolace.

Na oteplení vodiče má dále vliv i teplota okolí a možnosti odvodu tepla z povrchu vodiče, které jsou dány uložením vodiče. (Například kabel uložený v zemi se chladí lépe než kabel na volném vzduchu, kabel v plastové izolační trubce hůře ap.).

Pro každý typ vodiče a kabelu udává výrobce pro uložení na vzduchu (pro uvažovanou teplotu 30°) jejich jmenovitou proudovou zatížitelnost I_{NV} , která se musí ještě přepočítat na dovolené proudové zatížení I_{DOV} respektující způsob uložení vodiče a okolní teplotu apod..

$$I_{DOV} = I_{NV} * k_1 * k_2 * \dots * k_i$$

kde $k_1, k_2, \dots, k_i \dots$ přepočítací součinitele, respektující snížení zatížení v závislosti na způsobu uložení vodiče, jeho seskupení, okolní teplotu, atd.

ČSN 33 2000-5-523 ed 2 (2003). **Elektrické instalace budov - Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení - Oddíl 523: Dovolené proudy v elektrických rozvodech**, včetně obsáhlé přílohy uvádí technické parametry většiny vodičů a kabelů vyráběných v ČR, rozlišuje několik způsobů uložení vodičů označených písmeny A až Q.

Pro zjednodušený návrh průřezu vodičů může posloužit tabulka v normě, popř. její výtah uváděný v odborných publikacích. Její zkrácená podoba pro některé způsoby uložení vodičů je uvedena dále.

způsob uložení	označení	popis
	A	Izolované vodiče v trubkách zapuštěných v izolačních stěnách.
	B	Izolované vodiče v trubkách nebo lištách na stěně.
	C	Kabely vícežilové na zdi., ve zdivu, na podlaze
	D	Kabely vícežilové v trubkách v zemi, nebo přímo v zemi.
	E	Kabely 2÷3 žilové na vzduchu

Dovolené zatěžovací proudy měděných (Cu) vodičů s PVC izolací při okolní teplotě vzduchu 30 °C, v zemi (pro uložení v zemi 20 °C a tepelném odporu půdy 2,5 K·m/W.)

Jmenovitý průřez vodičů (mm ²)	Dovolené zatěžovací proudy [A]									
	při dvou zatížených vodičích					při třech zatížených vodičích				
	způsob uložení podle tabulky					způsob uložení podle tabulky				
	A	B	C	D *	E	A	B	C	D *	E
1	11	13,5	15	17,5	17	10,5	12	13,5	14,5	14,5
1,5	14,5	17,5	19,5	22	22	13	15,5	17,5	18	18,5
2,5	19,5	24	26	29	30	18	21	24	24	25
4	26	32	35	38	40	24	28	32	31	34
6	34	41	46	47	52	31	36	41	39	43
10	46	57	63	63	71	42	50	57	52	60
16	61	76	85	81	96	56	68	76	67	80
25	80	101	112	104	119	73	89	96	86	103

3. Dimenzování vedení s ohledem na hospodárnost

Toto kritérium má zajistit aby celkové investiční a provozní náklady na vedení byly co nejmenší. Zjednodušeně řečeno, čím větší průřez vodičů použijeme, tím bude vedení dražší, ale na druhé straně bude mít menší odpor a menší ztráty za provozu. Účelem návrhu podle tohoto kritéria je nalézt hospodárný průřez vedení jemuž odpovídá minimum celkových nákladů, při určité předpokládané životnosti vedení a předpokládaném zatížení.

Podrobněji se tímto kritériem nebudeme zabývat.

4. Dimenzování vedení s ohledem na mechanické namáhání

Vodiče musí být schopny odolávat mechanickému namáhání, které může nastat při montáži, nebo během provozu (pohyblivé přívody, v pohyblivých prostředcích, vedení na pracovních strojích apod.). Průřezy vodičů musí být navrženy tak, aby z hlediska mechanické pevnosti snesly nejvyšší namáhání, které může v provozu nastat. Normy udávají minimální průřezy pro jednotlivé druhy vedení, místo jejich použití, způsob uložení.

Podrobněji je návrh mechanické pevnosti vodičů popsán v odborné literatuře.

5. Dimenzování vedení podle dovoleného úbytku napětí.

Na vedení protékaném proudem I dochází vlivem jeho impedance (odporu R a reaktance X) k úbytku napětí a tím i k poklesu napětí na spotřebiči. Tento pokles napětí by mohl ovlivnit některé důležité provozní vlastnosti spotřebiče (např. moment motoru apod.) a proto jsou dovolené úbytky napětí ΔU limitovány a jsou závislé na druhu rozvodu (občanský, zemědělský, průmyslový, podzemní, na jeřábech apod.) a jeho hodnota bývá uváděná v příslušných normách.

Průřez vodičů musí být navržen takový, aby při nejvyšším předpokládaném zatížení nepřesáhl úbytek napětí hodnotu povolenou normou. Není-li dovolený úbytek napětí předepsán platí zásada, že v místě spotřebiče nemá být pokles napětí větší než 5 % jmenovitého napětí sítě (u pevných instalací pak 4%).

6. Dimenzování vedení s ohledem na účinky zkratových proudů

Při provozu vedení může dojít k průrazu izolace a k následnému zkratu. I když je zkrat odpojen ochranným jističím prvkem (pojistkou, jističem nebo jinou ochranou), po určitou krátkou dobu (setiny sekundy až jednotky sekund) protéká obvodem zkratový proud, který bývá mnohonásobně větší než jmenovitý proud. Zkratové proudy mohou dosahovat velikosti desítek kiloampér, i více a síly pak dosahují značných velikostí

Tento zkratový proud způsobuje namáhání vodičů:

- mechanické (dva vodiče protékané proudem na sebe působí silou) ;
- tepelné (zahřívání) .

Nadměrné ohřátí vodiče (při zkratu může teplota přesáhnout i 200 °C), by mohlo způsobit požár a u izolovaných vodičů poškození izolace.

Čím větší průřez vodiče použijeme, tím menší má odpor a proto se v něm vyvíjí menší množství tepla a zároveň má větší tepelnou setrvačnost a proto se méně zahřeje.

Podrobnější výklad dimenzování vodičů z hlediska zkratových proudů je nad rámec tohoto předmětu, zabývají se jím např. normy

ČSN EN 60865-1 (33 3040) -*Výpočet účinku zkratových proudů, Definice a výpočetní metody* a ČSN 38 1754.- *Dimenzování EZ dle účinku zkrat. proudů.*

7. Dimenzování vedení s ohledem na správnou funkci ochrany před úrazem elektrickým proudem

Průřez vedení (pracovního i ochranného vodiče) je nutno volit tak, aby impedance vypínací smyčky (dráha poruchového proudu) nepřekročila hodnotu, vyplývající z podmínky pro vypnutí ochranného prvku (přístroje) v požadované době . Tato doba je dále závislá na tom , zda se jedná o připojení přenosného spotřebiče s držením v ruce při jeho používání, nebo pevné umístění. Nejdelší možné doby odpojení pro sítě s uzemněným uzlem (TN) jsou závislé na velikosti napětí vodiče proti zemi a jsou uvedena v následující tabulce.

Druh zařízení	Smluvní vypínací čas				
	120 V	230 V	277 V	400 V	580 V
držená v ruce	0,8 s	0,4 s	0,4 s	0,2 s	0,1 s
pevná	5 s				

8. Jištění elektrických vedení

Filosofie jištění

Účelem jištění je zabránit škodám nebo ohrožení lidí, zařízení, výroby a to:

- preventivně zabránit vzniku nenormálních stavů nebo možností vzniků následných poruch
- omezit následky poruch na nejmenší míru.

Nenormální stavy a poruchy u el. rozvodu (vedení) mohou být např. přetížení, zkraty, zemní spojení, přerušování obvodu,

Podle časové následnosti reakce rozdělujeme jištěné jevy do dvou skupin:

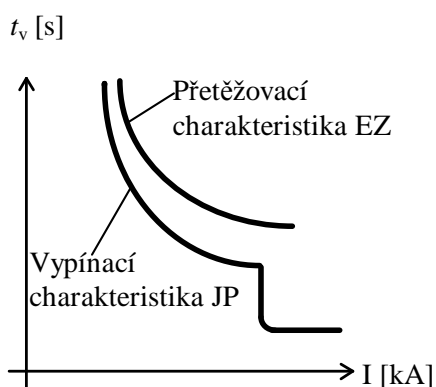
1. skupina obsahuje poruchy vyžadující okamžitý, přímý a na napětí sítě nezávislý zásah ochrany. Jedná se zde především o **zkraty**.

2. skupina obsahuje nebezpečné stavy dovolující zpožděný zásah. Jedná se zde např. o **přetížení**, **zemní spojení**, **zmenšení izol. odporů**, stoupnutí teploty. Většinou zde dochází k vyhodnocení stavu, jeho signalizaci a k následnému řízenému (opožděnému) vypnutí obvodu.

Základní požadavky kladené na jistící přístroje

Ochrana elektrického zařízení před nadproudy - jejich tepelnými a elektrodynamickými účinky s tolerancí dovoleného krátkodobého přetěžování. Musí být zajištěno:

- možnost trvalého zatěžování ;
- ochrana proti nedovoleným přetížením - JP musí vypnout dříve, než dojde u EZ k nedovolenému oteplení - vypínací charakteristika JP musí ležet celá vlevo resp. pod přetěžovací charakteristikou EZ



Obr. Charakteristiky při jištění

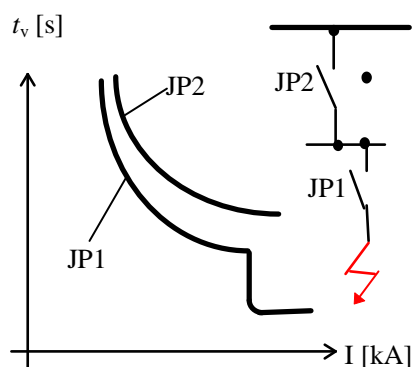
ochrana proti zkratovým proudům - JP vypne rychle, popř. omezí velikost zkratového proudu.

Podmínka správné funkce JP je, aby jeho zkratová vypínací schopnost byla vyšší (nebo alespoň rovna) nejvyšší hodnotě zkratového proudu v daném místě.

2. **Selektivní působení jisticího přístroje**

Selektivnost mezi jisticími přístroji téhož obvodu - má iniciovat ten ochranný prvek, který je nejbližší k poruše a zajistit tedy požadovanou

posloupnost působení tak, aby došlo k minimalizaci ztrát. Lze ji dosáhnout volbou jisticího přístroje, (jeho charakteristikou a nastavením). Selektivity se nejčastěji dosahuje odstupňováním jmenovitých proudů jisticích přístrojů. (V bytě je jistič 10 nebo 16 A, v předřazeném rozváděči (s elektroměrem na chodbě) např. 25 A atd. Jiná možnost je použít jisticí přístroje s časovým zpožděním, blíže ke spotřebiči zapojíme rychlejší jisticí přístroj,



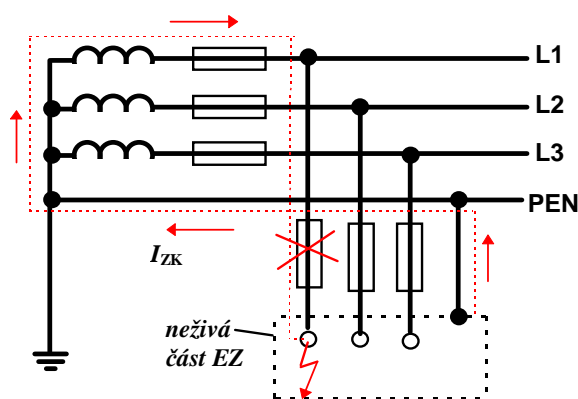
Obr. Selektivita při jištění

čím dále od spotřebiče použijeme přístroj s větším časovým zpožděním. Tím bude zajištěno, že při poruše u spotřebiče vypne nejdříve ten nejbližší jisticí prvek.

Z hlediska působení v rozsahu velikosti zkratového proudu rozeznáváme selektivitu:

- plnou ;
 - částečnou (působí do určité hodnoty zkratového proudu)
- V oblasti nadproudů do velikosti vybavovací hodnoty lze selektivitu určit z vypínacích charakteristik jednotlivých JP. Vypínací oblast předřazeného JP musí ležet nad nebo vpravo od vypínací charakteristiky přiřazeného JP.

Ochrana samočinným odpojením od zdroje



Obr. Princip ochrany samočinným odpojením

Tento druh ochrany je nejrozšířenější a lze ho použít ve všech druzích sítě. Při poruše - spojení živé části EZ s neživou částí (např. při porušení izolace, zalití vodou apod.) dojde ke zkratu a dříve neživá část se stane živou. Poruchový (zkratový) proud prochází od zdroje fázovým vodičem L1 přes JP do místa poruchy a zpátky se vrací ochranným vodičem PEN ke zdroji. Dráha zkratového proudu - impedanční smyčka musí mít malou impedanci, aby velikost zkratového proudu ($I_{ZK} = U/Z$) byla rovna nebo větší než je velikost proudu JP zajišťující vypnutí v požadované době. Velikost proudu JP se stanoví z jeho vypínací

charakteristiky pro maximální dobu odpojení 5 s.

Jištění vedení

Vlastní přiřazení jisticích prvku k vedení musí být provedeno tak, že pro jeho jmenovitý proud musí být splněna podmínka

$$I_N \leq K \cdot I_Z,$$

kde I_Z dovolený proud vodiče

K součinitel pro přiřazení zohledňující typ, uložení, seskupení vodičů včetně teploty okolí.

Přesné přiřazení jisticích prvků lze provádět v souladu s obsáhlou normou ČSN 33 2000-5-523,vč. Národní přílohy NL, kde jsou uvedeny k jednotlivým typům a průřezům vodičů, druhu jejich uložení hodnoty součinitelů K a jmenovité proudy pojistek

V následující tabulce je pro ilustraci uveden výtah informativního přiřazení pojistek a jističů kabelům a vodičům s Cu jádrem , s izolací PVC pro vybrané druhy uložení.

Jmenovitý průřez vodičů [mm ²]	Jmenovité proudy jisticího prvku [A]							
	při dvou zatížených vodičích				při třech zatížených vodičích			
	způsob uložení podle tabulky				způsob uložení podle tabulky			
	A	B	C	E	A	B	C	E
1	6	10	-	-	6	10	-	-
1,5	10	10	10	16	10	10	10	10
2,5	16	16	16	20	16	16	16	16
4	20	25	25	32	20	25	25	25
6	25	32	32	40	25	32	32	32
10	32	50	50	50	32	50	50	50
16	50	63	63	63	50	63	63	63
25	63	80	80	80	63	80	80	80