

12. DIMENZOVÁNÍ A JIŠTĚNÍ ELEKTRICKÝCH VEDENÍ

Určeno pro posluchače bakalářských studijních programů FS

Obsah:

12.1. Úvod

12.2. Dimenzování vedení podle přípustného oteplení

12.3. Dimenzování vedení s ohledem na hospodárnost

12.4. Dimenzování vedení s ohledem na mechanické namáhání

12.5. Dimenzování vedení podle dovoleného úbytku napětí.

12.6. Dimenzování vedení s ohledem na účinky zkratových proudů

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

12.8. Postup při návrhu vedení

12.9. Jištění

12.1 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, uvnitř objektů omezeně jako např. trolejová, přípojnicové rozvody ,
- b) vedení v trubkách a lištách
- c) vedení z můstkových vodičů
- d) vedení kabelová

Nároky na vedení jsou obsáhlé a často i protichůdné.

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

- 1) přípustné 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 vedení

Při projektování elektrického rozvodu v jakémkoli objektu musíme navrhnout jaký bude maximální odběr, na který musí být dimenzováno vedení, napájecí zdroj (např. transformátor), jističí přístroje ap. Kdybychom prostě sečetli výkony všech spotřebičů které v objektu budou, a na něj dimenzovali elektrický rozvod, bylo by to nevhodné, protože je velmi malá pravděpodobnost, že by všechny spotřebiče pracovaly současně a na plný výkon.

Proto určíme takzvané výpočtové zatížení P_v .

$$P_v = \beta \sum P_i$$

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

P_i jsou výkony jednotlivých instalovaných spotřebičů.

Máme-li v objektu jeden až tři spotřebiče které tvoří převážnou část instalovaného výkonu a mohou li tyto pracovat současně, musíme navrhnout výpočtové zatížení alespoň na výkon těchto největších spotřebičů. (Například budeme-li mít v provozu pec o výkonu 20 kW a osvětlení 2 kW, musíme asi navrhnout P_v 22 kW.)

Z výpočtového zatížení potom určíme výpočtový proud (pro trojfázový rozvod):

$$I_v = \frac{P_v}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

kde: U sružené napětí

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

12.2 Dimenzování vedení podle přípustného oteplení

Při průchodu proudu vodičem dochází k jeho zahřívání. Vyvinuté teplo ve vodiči na jednotku délky je přímo úměrné odporu této jednotkové délky vodiče R_V a druhé mocnině proudu tekoucího vodičem I_V . V ustáleném stavu se toto teplo vyvinuté ve vodiči rovná předanému teplu do jeho okolí a je přímo úměrné teplotnímu rozdílu mezi vodičem a okolím $\Delta\theta$.

Teplota vodiče ovšem nesmí dlouhodobě překročit určitou hodnotu, při které by se zkracovala jeho životnost, případně by došlo k okamžitému zničení vodiče. Izolace vodičů a kabelů je méně odolná než kovové vodiče, proto je nejvyšší dovolená teplota vodiče dána druhem izolace (u izolovaných vodičů).

Na oteplení vodiče má vliv především velikost protékajícího proudu, ale je třeba respektovat i teplotu okolí a možnosti odvodu tepla z 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.).

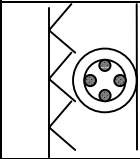
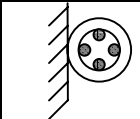
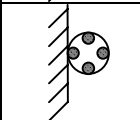
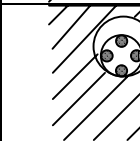
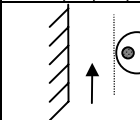
Pro každý typ vodiče a kabelu udává výrobce jejich jmenovitou proudovou zatížitelnost I_{NV} , odpovídající přibližně dovoleným proudům na vzduchu pro teplotu vzduchu 30° , kterou ovšem musíme ještě přepočítat na dovolené proudové zatížení I_{DOV} tak, abychom respektovali způsob uložení vodiče a okolní teplotu apod..

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

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

Norma ČSN 33 2000-5-523 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

12.3 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.

12.4 Dimenzování vedení s ohledem na mechanické namáhání

Vodiče pro elektrický rozvod musí být schopny odolávat mechanickému namáhání, které může nastat při montáži, nebo během provozu (pohyblivé přívody, v pohyblivých prostředcích, vedení na pracovních strojích apod.). U vodičů pro vnitřní rozvod dochází k největšímu mechanickému namáhání při montáži, nebo vlivem zkratových proudů (těm je ale věnováno samostatné kritérium návrhu). U vodičů venkovního vedení se přidává navíc namáhání povětrnostními vlivy, zejména námrazou a větrem.

Průřezy vodičů musíme navrhnout 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.

Např. pro pohyblivé prodlužovací přívody o zatížení do 6,(10)A je to průřez 1,(2,5) mm²

Pro venkovní vedení se většinou používají tzv. Al-Fe lana, což jsou lana s jádrem z ocelových drátů, které zajišťují mechanickou pevnost lana, které je opleteno hliníkovými dráty, které mají lepší elektrickou vodivost. Pro tato vedení je minimální průřez 16 mm².

Podrobněji je návrh mechanické pevnosti vodičů popsán v odborné literatuře.

12.5 Dimenzování vedení podle dovoleného úbytku napětí.

Při rozvodu elektrické energie vedením, ať už venkovním, nebo kabelovým dochází vlivem průchodu proudu k úbytku napětí na vedení 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 bývá uváděná v příslušných normách.

U střídavého rozvodu dochází k úbytku napětí nejen na činném odporu vedení, ale také na jeho reaktanci. Činný odpor vedení můžeme ovlivnit jeho průřezem (čím silnější vodič, tím menší odpor), reaktance je ale dána prostorovým rozložením vodičů a délkou vedení a průřezem vodiče ji neovlivníme. U vedení NN je ale úbytek na reaktanci téměř zanedbatelný, proto můžeme počítat pouze s úbytkem na činném odporu vedení (zvláště u kabelů). Úbytek napětí na vedení je potom přibližně:

$$\text{pro jednofázový rozvod} \quad \Delta U = \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{A} \cdot \frac{P}{U_f} \quad (\text{úbytek je na fázovém i nulovém vodiči})$$

$$\text{pro trojfázový rozvod} \quad \Delta U = \frac{\rho \cdot l}{A} \cdot \frac{P}{U_s} \quad (\text{úbytek je pouze na fázovém vodiči})$$

kde: ΔU [V] je úbytek fázového napětí
 ρ [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$] je rezistivita (měrný odpor) vodiče
 A je průřez vodiče (mm^2)
 P [W] je výkon přenášený po vedení
 U_f, U_s [V] je fázové a sdružené napětí

Průřez vodičů musíme navrhnout takový, aby při nejvyšším předpokládaném zatížení nepřesáhl úbytek napětí hodnotu povolenou normou.

12.6 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 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. Tento zkratový proud způsobuje tepelné namáhání vodičů (zahřívání) a také mechanické (dva vodiče protékající proudem na sebe působí silou).

Proto při návrhu vedení s ohledem na účinky zkratu, je důležitou veličinou tzv. zkratový výkon, nebo počáteční rázový zkratový proud. To je proud, který teče v daném místě rozvodu v prvním okamžiku po zkratu než zareagují ochrany. Dá se vypočítat, nebo určit z dokumentace rozvodných závodů. (Zkratový proud bude například mnohem větší těsně za transformátorem, než na konci několikakilometrového vedení NN.)

Silové účinky jsou nebezpečnější tam, kde jsou vodiče pevně uloženy, například přípojnice (hliníkové tyče) připevněné na izolátorech, mohlo by dojít k ulomení izolátorů.

Síla působící mezi dvěma rovnoběžnými vodiči je dána vztahem:

$$F = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I^2}{a} \cdot l \quad (\text{N}; A, m, m)$$

kde: I je proud protékající vodiči,
 a je jejich vzájemná vzdálenost
 l je jejich délka

Zkratové proudy mohou dosahovat velikosti desítek kiloampér, i více a síly pak dosahují značných velikostí. Například při proudu 10 kA délce vodičů 1 m a vzdálenosti 10 cm je síla 200 N.

Tepelné účinky zkratových proudů jsou důležitější u volně uložených vodičů a kabelů. 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 vlivem zkratového proudu 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 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*

12.7 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 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 síť 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				

12.8 Postup při návrhu vedení

- Nejdříve se musí určit tzv. výpočtový proud I_v obvodu viz. kap.1.
- Zvolí se jistící přístroj, jeho jmenovitý proud I_N musí být větší než I_v .
- Zvolí se, nebo se navrhnu druhy vedení a průřezy vodičů.
- Vypočítá se zkratový proud v obvodě a zkontroluje se, zda jistící přístroje i vodiče vyhovují z hlediska zkratového proudu.
- Zkontroluje se, zda vodiče vyhovují podle dalších kritérií v bodech 3÷7.

V praxi může být podle konkrétního případu projektovaného rozvodu návrh zjednodušen a některé kroky vynechány.

12.9 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, , přerušení 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**, u olejových transformátorů to může být např. vývin plynů v chladícím oleji, a pod.

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.

Vlastní přiřazení jisticích prvku 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 obsahlou normou ČSN 33 2000-5-523, kde jsou uvedeny k jednotlivým typům a průřezům vodičů, druhu jejich uložení hodnoty součinitelů K a jmenovité proudy pojistek

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

Jmenovitý průřez vodičů	Jmenovité proudy jisticího prvku [A]							
	při dvou zatížených vodičích				při třech zatížených vodičích			
	způsob uložení podle tabulky				způsob uložení podle tabulky			
[mm ²]	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

12.9.1 Selektivita při jištění

Selektivnost mezi přístroji téhož obvodu- má iniciovat ten ochranný prvek, který je nejbliže k poruše a zajistit tedy požadovanou posloupnost působení tak, aby došlo k minimalizaci ztrát. Lze ji dosáhnout volbou jisticího přístroje, (jeho charakteristikou a nastavením). Selektivitu se nejčastěji dosahuje odstupňováním jmenovitých proudů jisticích přístrojů. (V bytě je jistič 10 nebo 16 A, na chodbě např. 25 A atd.) Jiná možnost je použít jisticí přístroje s časovým zpožděním, blíže ke spotřebiči zapojíme rychlejší jisticí přístroj, čím dál od spotřebiče použijeme přístroj s větším časovým zpožděním. Tím bude zajištěno, že při poruše u spotřebiče vypne nejdříve ten nejbližší jisticí prvek.

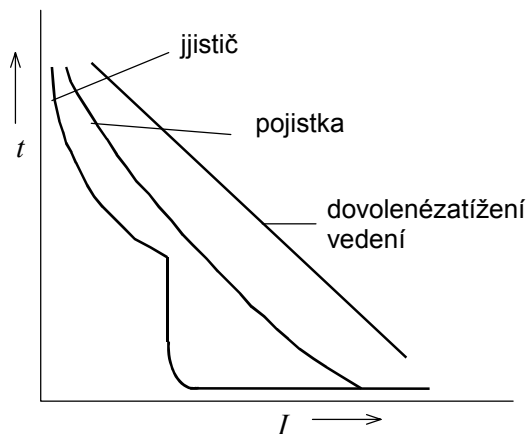
V sítích VN a VVN se používají pro zajištění selektivity ještě jiné metody.

Při kombinacích jisticích prvků (pojistek a jističů) rozeznáváme selektivitu mezi:

pojistkami (vyp. charakteristiky se nesmí dotýkat),

jističi, " pojistkou a jističem" a "jističem a pojistkou".

Vzájemné přiřazení dovoleného proudového zatížení vedení v závislosti na čase a vypínacích charakteristik jisticích prvků je na obr.



obr. Ampérsekundové (vypínací) charakteristiky jističe, pojistky a dovolený proud ve vedení

Zásada pro jištění:

Pokud možno sdružovat jištění více prvků (sériově zapojených komponentů např. spínač, kabel, motor) do společné ochrany (např. pojistky). Toto je nutno zohledňovat při dimenzování vedení a kabelů.

12.9.2 Nejčastěji používané jistící přístroje v obvodech NN:

- Pojistky se používají k jištění proti zkratu i proti přetížení. Jejich velkou výhodou je, že dokáží vypínat velice rychle velké zkratové proudy, vypínací časy jsou zde řádově setiny sekundy. Na druhé straně jsou málo citlivé na malé nadproudy. Vypínací časy jsou zde desítky minut i více. Proto se někdy používá sériového řazení pojistky a jističe, kde pojistka jistí proti zkratu a jistič proti přetížení.
Pro jištění světelných obvodů a vedení se používají rychlé pojistky, pro jištění obvodů s asynchronními motory takzvané pomalé pojistky, aby nedocházelo k jejich přepálení již při rozběhu motoru, kdy motor může odebírat až sedmi až osminásobek jmenovitého proudu po dobu závislou na druhu rozběhu (lehký, střední, těžký)..
Výhodou pojistek je jejich levnost a spolehlivost, nevýhodou je, že jsou jen na jedno použití.
- Jističe, mívají obvykle zkratovou a nadproudovou spoušť. Oproti pojistkám jsou pomalejší při vypínání zkratových proudů, ale jsou citlivější na malá přetížení. Jejich výhodou je, že se dají používat opakovaně, některá provedení jsou nastavitelná, lze je taky použít jako ruční vypínače (i když nejsou konstruovány pro časté spínání, je vhodné je spínat třeba jen jednou nejvýše několikrát denně).
- Nadproudová relé. Jsou to přístroje s nadproudovou spouští, které ovšem nemají kontakty pro vypínání samotného pracovního proudu. Mají pouze pomocné kontakty, které jsou schopny spínat jen malé proudy. Samotný nadproud musí být vypnut jiným spínacím přístrojem, nejčastěji stykačem. Používají se ve spojení s pojistkou a stykačem k jištění asynchronních motorů. (Do série je zapojena pojistka, stykač a nadproudové relé, v případě zkratu se rychle přepálí pojistka, při malém nadproudu zareaguje nadproudové relé a vypne stykač).