



STŘEDNÍ ŠKOLA, HAVÍŘOV-ŠUMBARK, SÝKOROVA 1/613,
příspěvková organizace

ELEKTROENERGETIKA

PŘENOS A ROZVOD ELEKTRICKÉ ENERGIE

Ing. Tomáš Kostka

Havířov 2012 - aktualizováno 01/2014

OBSAH

Elektrizační soustava ČR

Denní diagram zatížení

Dimenzování vodičů

Parametry vedení

Dovolený úbytek napětí, fázorový diagram vedení

Vliv kapacity na přenos, Ferrantiův jev

Koróna

Svazkové vodiče

Řízení napětí a frekvence v elektrizační soustavě

Přenos elektrické energie stejnosměrným napětím

Poruchové stavy vedení a ochrany

HDO

Mechanika venkovního vedení

ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA ČR

Základní pojmy

Elektrizační soustava – soubor zařízení určených pro výrobu, přenos a spotřebu elektrické energie

Elektrická síť – souhrn vedení a stanic téhož napětí galvanicky propojených, sloužících pro přenos a rozvod el. energie

Přenosová síť – část ES, tvořící přenosovou cestu pro napájení velkých stanic nebo uzlů (v ČR především vedení 400 kV, 220 kV a výjimečně 110 kV Dětmarovice)

Distribuční síť – část ES, sloužící pro dodávku el. energie odběratelům (v ČR 110 kV a níž)

Instalovaný příkon – součet všech jmenovitých příkonů připojených nebo připojitelných spotřebičů

Instalovaný výkon – součet všech jmenovitých výkonů výrobních jednotek připojených nebo připojitelných do ES

Denní diagram zatížení – znázorňuje průběh výkonu (příkonu) v závislosti na čase.

Hladiny napětí v elektrizační soustavě

nadřazená soustava	zvn	400 kV	provoz s přímo uzemněným uzlem
nižší soustava	vvn	220 kV	
		110 kV	
soustava vn	vn	35 kV	provoz s nepřímo uzemněným uzlem (izolované, připojené přes tlumivku, odpor)
		22 kV	
		10 kV	
		6 kV	
nn		0,4 kV	provoz s přímo uzemněným uzlem

V současné době (po odpojení od MIRU) jsme připojeni na soustavu UCTE.

Frekvence

Frekvence je celosystémový parametr; tzn. že v propojené ustálené soustavě je v každém okamžiku frekvence stejná (protože zdroje pracují synchronně). Pro Evropu je frekvence dána $50\text{Hz} \pm 200\text{ mHz}$. Frekvence je primárně daná otáčkami generátoru; sekundárně závisí na výkonové bilanci.

výkon vyráběný v elektrárnách = odebíraný příkon spotřebičů frekvence "drží"

výkon vyráběný v elektrárnách > odebíraný příkon spotřebičů frekvence roste

výkon vyráběný v elektrárnách < odebíraný příkon spotřebičů frekvence klesá

Z uvedeného vyplývá nutnost dodržet "rovnici": **výroba = spotřeba + ztráty**

Denní diagram zatížení a zdroje v ČR pracující do jednotlivých oblastí

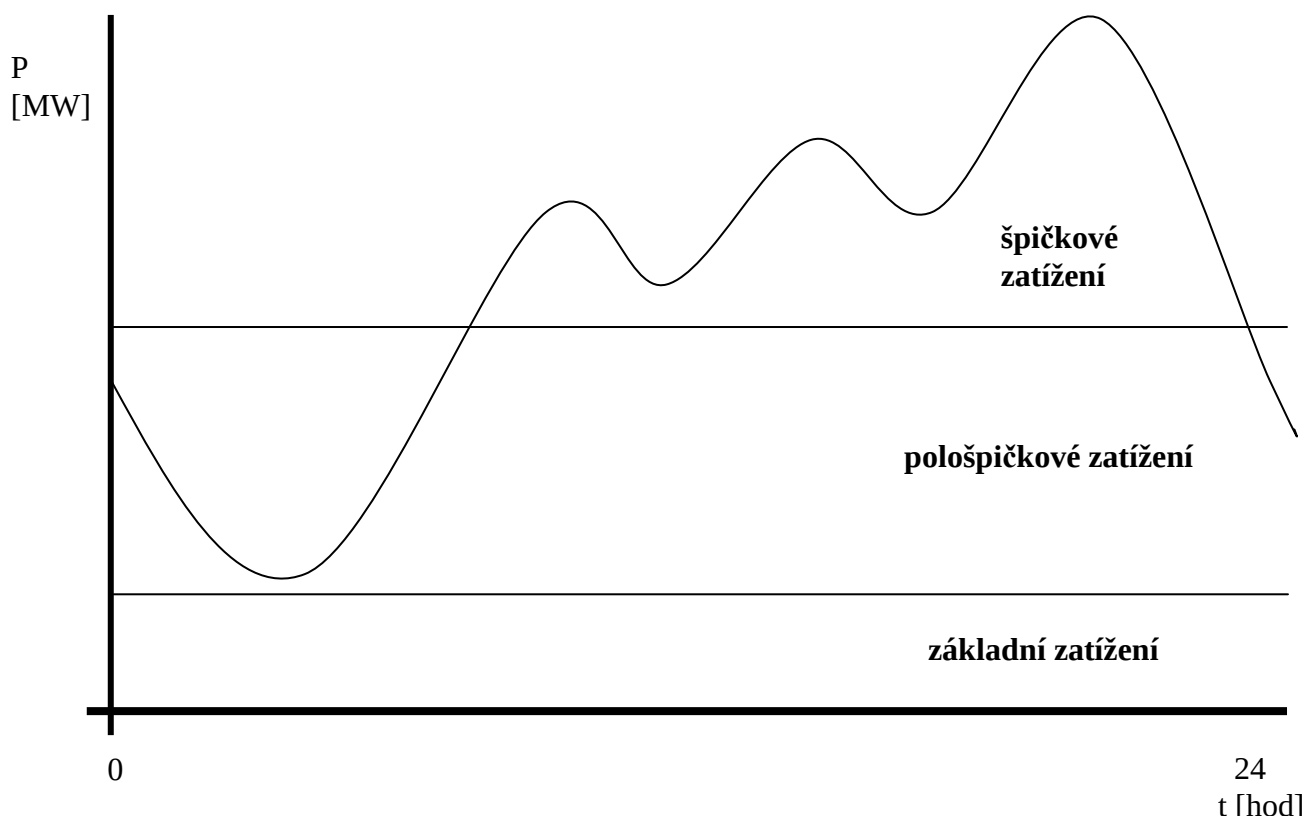


Diagram zatížení znázorňuje průběh výkonu (příkonu) v závislosti na čase (roční, půlroční, měsíční, týdenní, víkendový, denní a půldenní). Množství spotřebované energie je úměrné ploše diagramu. Tvar křivky závisí na dnu v týdnu, na svátcích, ročním období, pořadech v televizi, apod.

Denní diagram zatížení lze rozdělit na tři oblasti:

- základní zatížení
- pološpičkové zatížení
- špičkové zatížení

Základní zatížení je oblast vymezená nulou a minimálním výkonem (příkonem). Je to takové zatížení, jehož hodnota se během dne nemění. Do této oblasti pracují elektrárny, které jedou "non-stop", tedy takové, které nelze rychle najíždět a odstavovat a mají špatnou (tedy malou nebo pomalou) regulaci výkonu. Z uvedených důvodů pracují do této oblasti elektrárny jaderné (JE Dukovany a JE Temelín), vodní průtočné a některé uhelné.

Pološpičkové zatížení je oblast mezi základním a špičkovým zatížením. Do této oblasti pracují především klasické (uhelné, paroplynové a spalovací) elektrárny a vodní průtočné

Špičkové zatížení je oblast omezená maximálním výkonem (příkonem). Do této oblasti pracují především elektrárny, které se dají velmi rychle regulovat. Především jde o vodní přečerpávací elektrárny (Dalešice, Dlouhé stráně, aj.)

DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ

Průřez vodiče elektrického vedení musí být takový, aby vyhovoval:

- proudovému zatížení s ohledem na oteplení
- zkratovým proudům
- požadavkům na dovolený úbytek napětí
- z mechanického hlediska
- hospodárnému a bezpečnému provozu

Proudové zatížení vodičů s ohledem na přípustné oteplení

Při projektování elektrických rozvodů v jakémkoli objektu musí být určen maximální odběr, na který musí být dimenzováno vedení. Dimenzování elektrického rozvodu na prostý součet příkonů všech spotřebičů instalovaných v objektu by bylo nehospodárné, protože je malá pravděpodobnost současného provozu všech spotřebičů a jejich zatížení na plný výkon.

Soudobý příkon
$$P_p = \beta \cdot \sum_{i=1}^n P_i$$

Výpočtové proudy jednotlivých spotřebičů

stejnoseměrný spotřebič	$I = \frac{P_p}{U}$
jednofázový spotřebič	$I = \frac{P_p}{U_f \cdot \cos \varphi}$
trojfázový spotřebič	$I = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi}$

β	... soudobost	(–)
P_p	... soudobý příkon	(W)
U_f	... fázové napětí(V)	
U_s	... sdružené napětí	(V)
$\cos \varphi$	... účinník sítě	(–)

Známe-li proud, počet zatížených vodičů a způsob uložení vodičů navrhujeme průřez dle ČSN 33 2000-5-523 Elektrická instalace budov – Výběr a stavba elektrických zařízení – Dovolené proudy v elektrických rozvodech.

Způsob uložení (zjednodušeno)

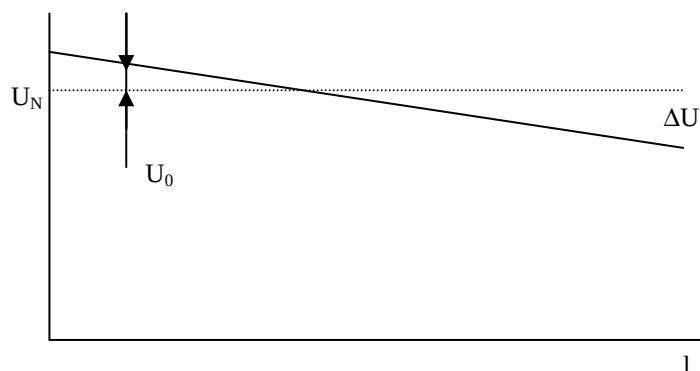
způsob uložení	označení	popis
	A	Izolované vodiče v trubkách zapuštěných v izolačních stěnách.
	B	Izolované vodiče v trubkách nebo lištách na stěně.
	C	Kabely vícežilové na zdi., ve zdivu, na podlaze
	D	Kabely vícežilové v trubkách v zemi, nebo přímo v zemi.
	E	Kabely 2+3 žilové na vzduchu

Dovolené zatěžovací proudy měděných vodičů s PVC izolací při okolní teplotě vzduchu 30 °C

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

Dovolený úbytek napětí

Vodiče a kabely musí být dimenzovány tak, aby při předpokládaném zatížení (proudu) nezpůsobily nedovolený pokles napětí. Hodnota úbytku napětí je rovna rozdílu hodnoty napětí na začátku vedení a hodnoty napětí na konci vedení.



U_0 ... $\pm$ odchylka napětí

ΔU ... $+$ úbytek napětí

$$\Delta U = U_1 - U_2$$

stejnoseměrné sítě (dvouvodičové vedení)	$\Delta U = 2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{S} \cdot I = 2 \cdot R_K \cdot l \cdot I \Rightarrow S$	
střídavé jednofázové sítě (dvouvodičové vedení)	$\Delta U_f = 2 \cdot (R \cdot I_c \pm X \cdot I_j)$	(1)
trojfázové sítě (úbytek jen na fázovém vodiči, nulovým vodičem proud neprotéká)	$\Delta U_f = R \cdot I_c \pm X \cdot I_j =$ $= R_K \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi \pm X_K \cdot l \cdot I \cdot \sin \varphi$	(2)

Ve vztahu (1) a (2) chybí komplexní část úbytku. Předpokládáme induktivní zátěž. V případě kapacitní zátěže by se proud předbíhal před napětím. Ve vztahu (1) a (2) by se znaménko (+) změnilo na (-). Pro hodnoty sdruženého úbytku je nutno fázovou hodnotu vynásobit $\sqrt{3}$.

vv	$\pm 10 \%$
vn	$\pm 5 \%; +10 \%$
nn	$\pm 5 \%$

Odolnost vůči zkratovým proudům

Vedení musí odolat jak dynamickým, tak i tepelným účinkům zkratových proudů, které v daném místě připadají v úvahu.

Dynamické síly vznikají elektromagnetickým působením proudů v sousedních vodičích. Největší silový ráz způsobuje nárazový zkratový proud (I_{KM}). Je to v podstatě první amplituda zkratového proudu po vzniku zkratu za předpokladu maximální stejnosměrné složky.

Síla mezi vodiči vztažená na jeden metr vodiče je dána

$$F = 2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{I_{KM}^2}{a} \cdot 10^{-7} \quad (\text{N.m}^{-1})$$

kde $k_1, k_2 \dots$ koeficient tvaru vodiče a koeficient respektující uspořádání vodičů a fázový posuv proudu

Tepelné účinky zkratového proudu mohou působit nepříznivě hlavně na izolaci vodičů. Zkratový proud působí velké oteplení. Tepelné účinky zkratového proudu se posuzují podle ekvivalentního oteplovacího proudu (I_{ke}), což je fiktivní hodnota střídavého proudu stálé velikosti, která za dobu působení zkratu má stejné tepelné účinky jako skutečný zkratový proud.

Pro minimální průřez kabelu platí s ohledem na tepelné účinky zkratového proudu vztah

$$S_{\min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{K} \quad (\text{mm}^2)$$

Bezpečnost provozu

Jedná se o správné působení ochrany před nebezpečným dotykem. Impedance poruchové smyčky musí splňovat vztah

$$Z_S \cdot I_A \leq U_f$$

$Z_S \dots$ impedance poruchové smyčky (zdroj, fázový vodič, ochranný vodič)

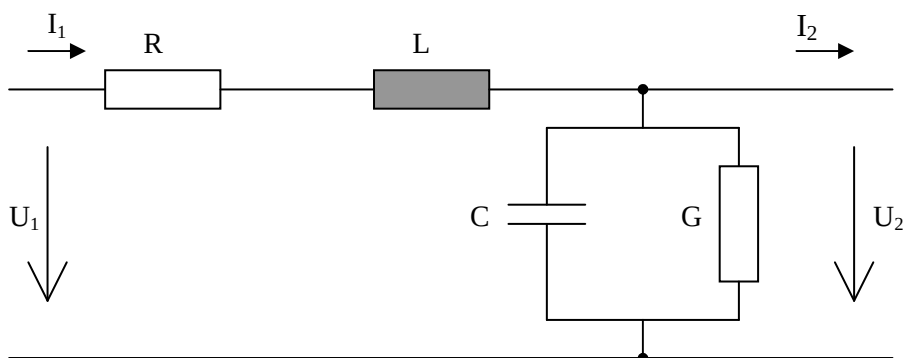
$I_A \dots$ proud zajišťující samovolné působení odpojovacího prvku v době stanovené normou

Parametry vedení

Parametry vedení

Vedení v sobě zahrnuje čtyři parametry: činný odpor, indukčnost, kapacitu a svod

R_K	odpor	uvažujeme vždy	$[\Omega \cdot \text{km}^{-1}]$
L_K	indukčnost	uvažujeme jen u ~ vedení	$[\text{mH} \cdot \text{km}^{-1}]$
C_K	kapacita	uvažujeme jen u ~ vedení vvn, zvn	$[\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}]$
G_K	svod	uvažujeme jen u ~ vedení zvn	$[\text{s} \cdot \text{km}^{-1}]$



Ohmický odpor

odpor $R = \rho \cdot \frac{l}{S} ; \rho_{\text{Cu}} = \frac{1}{57} ; \rho_{\text{Al}} = \frac{1}{35} \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$

teplotní závislost $R_v = R_{20} (1 + \alpha (20 - v))$

střídavý odpor (skinefekt) $R_{\sim} = k \cdot R_{\sim}$
 $k_{\text{Al}} = 1 + 1,04 \cdot f^2 \cdot S^2 \cdot 10^{-10}$

odpor lana $R = R_K \cdot l$

odpor země na 1 km $R_Z = \pi^2 \cdot f \cdot 10^{-4}$
 pro 50 Hz je $R_Z = 0,05 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$

Je-li lano AlFe 4 pak platí $\frac{S_{\text{Al}}}{S_{\text{Fe}}} = \frac{4}{1}$

Indukčnost

indukčnost $L_c = 0,46 \cdot \log \frac{a_s}{r} + 0,05$ (mH.km⁻¹)

střední vzdálenost $a_s = \sqrt[3]{a_{12} \cdot a_{13} \cdot a_{23}}$ (m)

ekvivalentní poloměr $r_e = \sqrt[n]{r \cdot d_{12} \cdot d_{13} \cdot \dots \cdot d_{1n}}$

a_s ... střední vzdálenost vodičů

a_{12} ... vzdálenost vodiče 1 a 2

r ... poloměr vodiče

r_e ... ekvivalentní poloměr

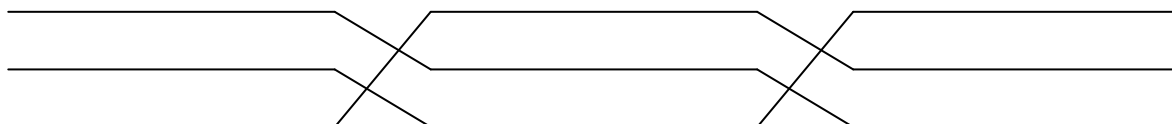
d ... vzdálenost vodičů ve svazku

n ... počet vodičů ve svazku

Indukčnost kabelu stanovuje přímo výrobce. Indukčnost kabelu je asi 3x menší než indukčnost venkovního vedení, protože $a_{kab} < a_{ved}$.

Transpozice vedení

Aby vlivem rozdílných indukčností vodičů nedošlo k nesymetrii napětí na konci vedení, provádí se na vedení vvn a zvn tzv. zákrut. V místě zákrutu se provede vystřídání pozice vodičů v hlavě stožáru. Zákrutem se dosáhne toho, že indukčnost každé fáze je přibližně stejná. Jeden zákrut se provádí do 200 km délky vedení, na 300 km vedení je pak proveden plný zákrut.



Svazkové vodiče

U vedení vvn a zvn se zpravidla používá tzv. svazkových vodičů. Znamená to, že každá fáze není tvořena jedním vodičem, ale svazkem několika vodičů, které mají od sebe vzdálenost d . Počet vodičů n ve svazku je různý (dvojsvazek $n=2$, trojsvazek $n=3$, čtyřsvazek $n=4$).

Ekvivalentní poloměr svazku: $r_e = \sqrt[n]{r \cdot d_{12} \cdot d_{13} \cdot \dots \cdot d_{1n}}$ (m)

Výhody použití svazkových vodičů:

- zlepšení mechanických vlastností vedení
- menší indukčnost a tím i induktivní reaktance
- zmenšení ztrát korónou



Indukčnost svazkových vodičů je menší, protože $r_e > r$.

Kapacita

kapacitu venkovního vedení ovlivňují všechny elektrody

$$\text{bez vlivu země} \quad C_{\text{Kstř}} = \frac{1}{18 \cdot \ln \frac{a_s}{r}} = \frac{0,0242}{\log \frac{a_s}{r}} \quad (\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1})$$

$$\text{s vlivem země} \quad C_{\text{Kstř}} = \frac{1}{18 \cdot \ln \frac{a_s \cdot 2h_s}{r \cdot A_s}} = \frac{0,0242}{\log \frac{a_s \cdot 2h_s}{r \cdot A_s}} \quad (\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1})$$

$$\text{střední vzdálenost vodičů} \quad a_s = \sqrt[3]{a_{12} \cdot a_{13} \cdot a_{23}} \quad (\text{m})$$

$$\text{střední vzdálenost zrcadlových obrazů} \quad A_s = \sqrt[3]{A_{12} \cdot A_{13} \cdot A_{23}} \quad (\text{m})$$

$$\text{střední výška nad zemí} \quad h_s = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3} \quad (\text{m})$$

Kapacita s uvažováním vlivu země je vyšší. Kapacitu kabelů udává výrobce (pokud ne, lze ji určit měřením). Kapacita kabelu je větší než kapacita venkovního vedení.

Kapacita vedení se svazkovými vodiči

Svazkové vodiče (viz. otázka č. 9). Pro kapacitu vedení se svazkovými vodiči platí stejné vztahy, které byly uvedeny s tím rozdílem, že místo poloměru vodiče r se dosazuje hodnota ekvivalentního poloměru svazku r_e .

$$\text{Ekvivalentní poloměr svazku:} \quad r_e = \sqrt[n]{r \cdot d_{12} \cdot d_{13} \cdot \dots \cdot d_{1n}} \quad (\text{m})$$

Kapacita kabelu

Kapacita kabelů je 20-30x větší než kapacita venkovního vedení o stejných přenosových schopnostech. Pokud kapacitu kabelů neudává výrobce, je vhodné ji určit měřením.

Měření kapacity

Kapacita se určuje z měření tzv. nabíjecího proudu. Nabíjecí proud I_{NAB} je proud, který teče do vedení nebo kabelu při stavu naprázdno.

$$C = \frac{I_{NAB}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot l \cdot U_f \cdot 10^{-6}} \quad (\mu F \cdot km^{-1}; A, km, V)$$

Svodová vodivost

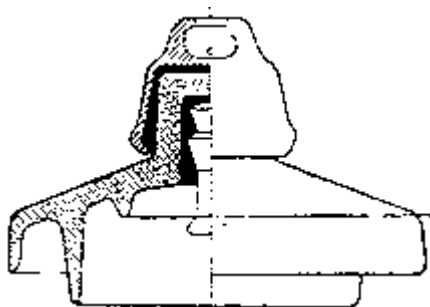
Svod G_s je způsoben vodivostí izolátorů. Svod tedy závisí na kvalitě izolátorů (I_s svodový proud izolátoru), ale také na provozních a atmosférických podmínkách. Svod způsobuje činné ztráty na vedení a obvykle se vyjadřuje v hodnotách svodových ztrát na kilometr vedení.

$$\Delta P = U_{sdruz}^2 \cdot G_s \quad (W \cdot km^{-1}; V, S \cdot km^{-1})$$

$$G_s = \frac{I_s}{U} \quad (S; A, V)$$

Svodový proud nebo taky tzv. plazivý proud není proud, který by protékal keramickým materiálem izolátoru, ale jde o proud povrchový. Povrch izolátoru je zvláště v průmyslových oblastech značně znečištěn a při nepříznivých atmosférických podmínkách se tává vodivý.

Tvar izolátoru je tedy takový, aby velmi obtížně protékal případný plazivý proud.



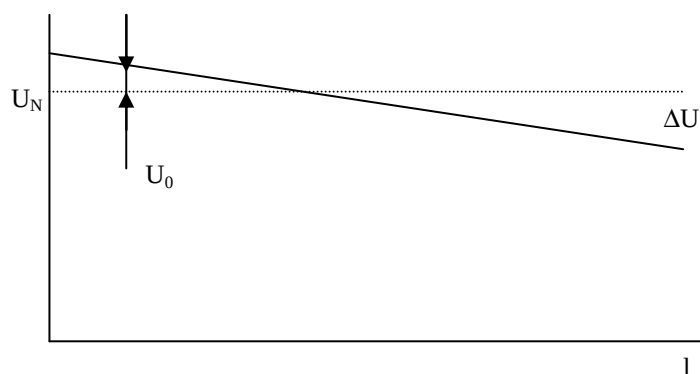
Rozlišujeme čtyři druhy znečištění izolátorů, podle délky plazivého proudu

- lehké znečištění - specifická délka plazivých proudů 16 mm/kV
- střední znečištění - specifická délka plazivých proudů 20 mm/kV
- těžké znečištění - specifická délka plazivých proudů 25 mm/kV
- kritické znečištění - specifická délka plazivých proudů 31 mm/kV

Odstranění znečištění izolátoru se provádí buď mechanickým čištěním (bez napětí) nebo čištěním pod tlakem vody (30 min; tzv. umělý déšť).

Dovolený úbytek napětí, fázorový diagram vedení

Hodnota úbytku napětí je rovna rozdílu hodnoty napětí na začátku vedení a hodnoty napětí na konci vedení.



U_0 ... ± odchylka napětí

ΔU ... + úbytek napětí

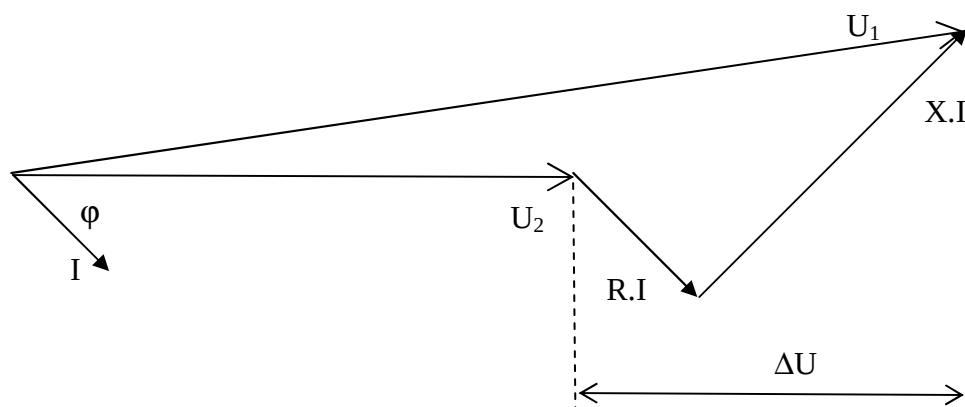
$$\Delta U = U_1 - U_2$$

stejnoseměrné síť dvojvodičové vedení $\Rightarrow$ úbytek vzniká na (+) i (-) vodiči $\Rightarrow$ dvojka ve vzorci	$\Delta U = 2 \cdot R \cdot I$ $\Delta U = 2 \cdot \rho \frac{l}{S} \cdot I = 2 \cdot R_K \cdot l \cdot I$
střídavé jednofázové síť dvouvodičové vedení $\Rightarrow$ úbytek vzniká na (L) i (N) vodiči $\Rightarrow$ dvojka ve vzorci Reaktanci X_K můžeme zanedbat, je-li ve vzorci: $L_K = 0,46 \log \frac{a_s}{r} + 0,05$ poměr a_s/r malý. Pak: $\Delta U_f = 2 \cdot R \cdot I_{\check{C}}$	$\Delta U_f = 2 \cdot (R \cdot I_{\check{C}} \pm X \cdot I_j)$ $\Delta U_f = 2 \cdot R \cdot I \cdot \cos \varphi \pm 2 \cdot X \cdot I \cdot \sin \varphi$ $I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \quad R = R_K \cdot l$ $\Delta U_f = 2 R_K l \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \cos \varphi + 2 X_K l \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \sin \varphi$ $\Delta U_f = \frac{2 \cdot P \cdot l}{U} \cdot (R_K + X_K \cdot \operatorname{tg} \varphi)$ $u_{\%} = \frac{\Delta U_f}{U} \cdot 100 = \frac{200 \cdot P \cdot l}{U^2} \cdot (R_K + X_K \cdot \operatorname{tg} \varphi)$
Střídavé trojfázové síť úbytek jen na fázovém vodiči, nulovým vodičem proud neprotéká $\Rightarrow$ dvojka se ve vzorci nenachází	$\Delta U_f = R \cdot I_{\check{C}} \pm X \cdot I_j$ $\Delta U_f = R \cdot I \cdot \cos \varphi \pm X \cdot I \cdot \sin \varphi$ $I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} \quad R = R_K \cdot l$ porovedeme dosazení stejně jako v předchozím $\Delta U_f = \frac{P \cdot l}{\sqrt{3} \cdot U_s} \cdot (R_K + X_K \cdot \operatorname{tg} \varphi)$ $\Delta U_s = \frac{P \cdot l}{U_s} \cdot (R_K + X_K \cdot \operatorname{tg} \varphi)$

Dovolené hodnoty úbytku napětí

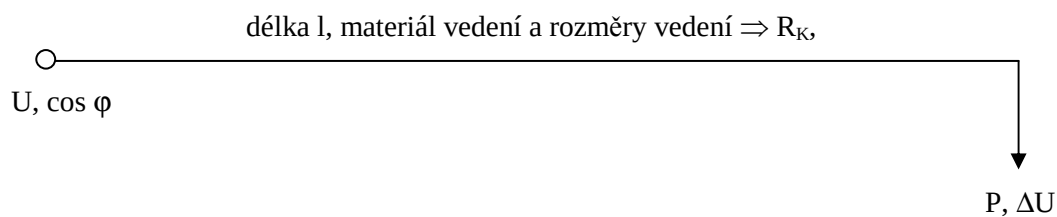
vvn	$\pm 10 \%$
vn	$\pm 5 \%; +10 \%$
nn	$\pm 5 \%$

Fázorový diagram vedení



Výpočet úbytku napětí na vedení

Vzorce uvedené v tabulce používáme při výpočtu otevřeného vedení s jedním odběrem na konci.



V případě otevřeného vedení s více odběry se do vzorce dosazuje $\sum P.l$, kterou je nutné určit metodou adice nebo superpozice.

$$\text{pro 1f. vedení } \Delta U_f = \frac{2 \cdot \sum P \cdot l}{U} \cdot (R_K + X_K \cdot \operatorname{tg} \varphi)$$

$$\text{pro 3f. vedení } \Delta U_s = \frac{\sum P \cdot l}{U_s} \cdot (R_K + X_K \cdot \operatorname{tg} \varphi)$$

Vliv kapacity na přenos, Ferrantiův jev

Vliv kapacity na přenos

Při vysokých napětích se silně projevuje kapacita vedení, která vyvolá velké nabíjecí proudy a výkony, které mají vliv na přenos.

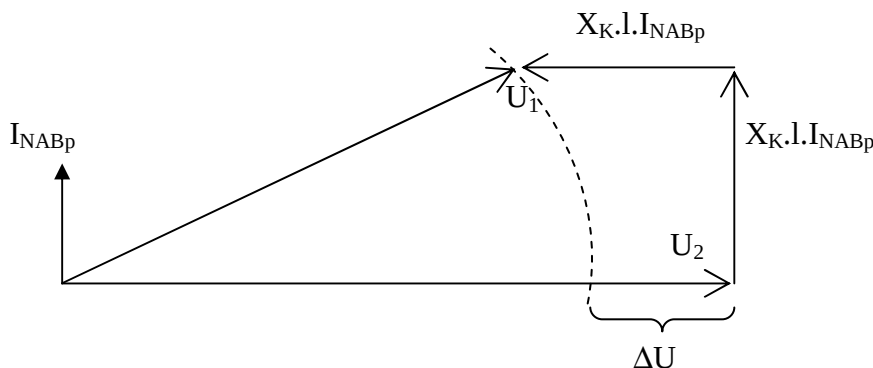
Nabíjecí proud třífázového vedení: $I_{NAB} = I_C = 2\pi \cdot f \cdot C_K \cdot l \cdot U_f \cdot 10^{-6}$ [A; Hz, mH.km⁻¹, km, V]

Nabíjecí výkon celého trojfázového vedení: $Q = 3U_f I_{NAB} = \sqrt{3}U_s I_{NAB}$ [Var = var; V, A]

Kapacitní nabíjecí proud, který je k induktivní složce v protifázi působí příznivě a tuto složku kompenzuje. Vedení vvn a zvn je tedy velký kondenzátor, který kompenzuje jalový induktivní výkon. Při chodu naprázdno však kapacitní proud působí škodlivě, neboť způsobuje přepětí $\Rightarrow$ Ferrantiův jev.

Ferrantiův jev

Ferrantiův jev [čti *ferantyho*] vzniká u dlouhých vedení (vvn, zvn), která jsou provozována naprázdno, nebo s velmi malým zatížením. Vedením protéká ryze kapacitní nabíjecí proud. Důsledkem je, že napětí na konci vedení je vyšší než napětí na začátku vedení (v extrémních případech může jít až o dvojnásobek). Pro chod naprázdno platí fázorový diagram:



Nabíjecí proud I_{NAB} klesá rovnoměrně z plné hodnoty v napájecím bodě až na nulu na konci vedení. Uvažujeme tedy průměrnou hodnotu proudu – tj. právě polovinu nabíjecího proudu. Pro průměrnou hodnotu platí:

$$I_{NABp} = \frac{1}{2} \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_K \cdot l \cdot U_f \cdot 10^{-6}$$

Ferrantiův jev způsobuje na vedení přepětí, využití tohoto jevu ke zvětšování napětí není možné - v žádném případě se nejedná o perpetuum mobile, zatížíme-li jen trochu vedení Ferrantiův jev klesá až se ztratí.

Koróna

Intenzita elektrického pole v okolí vodičů vn a vvn může za jistých předpokladů překročit elektrickou pevnost vzduchu, přičemž určitá část elektrického náboje vystoupí z vodiče do okolí. Tento jev (koróna) způsobuje zvýšení ztrát elektrické energie a dále vysokofrekvenční rušení.

Koróna je doutnavý výboj bledě fialové až narůžovělé barvy, který se objeví, překročí-li intenzita elektrického pole pevnost vzduchu (cca $30 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$). Koróna způsobuje značné ztráty na vedení:

- $0,5 \text{ kW/km}$ pro vedení 110 kV
- $1,3\text{--}2,5 \text{ kW/km}$ pro vedení 400 kV dvojsvazek

Vzhledem ke ztrátám korónou je nutné volit vodič s dostatečným průřezem (vyplývá ze vzorce pro U_{KR}). Např. pro vedení 100 kV je nutné s ohledem na korónu volit lano o průměru cca 12 mm , což odpovídá průřezu 95 mm^2 u mědi. Tak velký průřez v mnoha případech není nutný. V praxi se velký průměr vodiče nahrazuje dutými lany nebo svazkovými vodiči. Svazkové vodiče se dielektricky jeví jako jednoduchý vodič o podstatně větším ekvivalentním poloměru r_e .

Fázové napětí, při kterém se začne objevovat koróna se nazývá kritické napětí koróny:

$$U_{KR} = 48,6 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \delta \cdot r \cdot \log \frac{a_s}{r} \quad [\text{kV}, \text{cm}]$$

kde:

m_1 ... součinitel hladkosti vodiče ($0,84\text{--}0,95$) [-]

m_2 ... součinitel počasí (1 – krásné počasí, $0,8$ – špatné počasí) [-]

r ... poloměr vodiče [cm]

a_s ... střední vzdálenost vodičů [cm]

δ ... vlivy počasí; poměrná hustota vzduchu závislá na nadmořské výšce, tlaku a teplotě vzduchu

$$\delta = \frac{0,385 \cdot b}{273 + \vartheta} \quad [\text{torr}, ^\circ\text{C}]$$

b ... atmosférický tlak [torr]

ϑ ... teplota vzduchu [$^\circ\text{C}$]

Pro vedení se svazkovými vodiči je kritické napětí:

$$U_{KR} = 48,6 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot r \cdot \delta^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{n}{1 + \beta \cdot \frac{r}{a}} \cdot \log \frac{a_s}{r_e} \quad [\text{kV}, \text{cm}]$$

kde:

n ... počet vodičů ve svazku [-]

β ... činitel závislý na počtu vodičů [-]

$\beta = 2$ pro dvojsvazek

$\beta = 3,48$ pro trojsvazek

$\beta = 4,24$ pro čtyřsvazek

a ... vzdálenost vodičů [cm]

r_e ... vodič s ekvivalentní poloměrem [cm]

Při dešti a jinovatce se může snížit původní kritická hodnota napětí až o 30 %. Vedení je nutno navrhovat tak, aby kritické napětí za suchého počasí bylo alespoň o 12 % až 15 % vyšší než třífázové napětí.

Ztráty korónou na 1 km jednoho vodiče při jasném počasí jsou:

$$\Delta P_K = \frac{0,183}{\delta} \cdot \sqrt{\frac{r}{a_s}} \cdot (U_f - U_{KR})^2 \quad [\text{kW/km}]$$

Svazkové vodiče

U vedení vvn a zvn se zpravidla používá tzv. svazkových vodičů. Znamená to, že každá fáze není tvořena jedním vodičem, ale svazkem několika vodičů, které mají od sebe vzdálenost **d**. Počet vodičů **n** ve svazku je různý (dvojsvazek n=2, trojsvazek n=3, čtyřsvazek n=4).

Ekvivalentní poloměr svazku: $r_e = \sqrt[n]{r \cdot d_{12} \cdot d_{13} \cdot \dots \cdot d_{1n}} \quad (\text{m})$

Výhody použití svazkových vodičů:

- zlepšení mechanických vlastností vedení
- menší indukčnost a tím i induktivní reaktance
- zmenšení ztrát korónou



Nevýhody použití svazkových vodičů:

- nutno použít mohutnější a dražší stožáry + rozpěrky
- nebezpečí smotání vodičů
- větší zatížení námrazou

Přirozený výkon

Při průchodu střídavého proudu vedením vzniká kolem vodičů střídavé magnetické a elektrické pole. K vytvoření mag. pole je třeba jalový indukční proud, k vytvoření elektrostatického pole jalový kapacitní proud.

Prochází li vedením, které má činný odpor R, indukčnost L a kapacitu C proud vzniká:

- činný výkon RI^2
- jalový indukční výkon $\frac{1}{2} LI^2$
- jalový kapacitní výkon $\frac{1}{2} CU^2$

Za určitých podmínek se oba jalové výkony ruší a vedením protéká jen užitečný činný výkon

$$\frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}CU^2$$

$$\frac{U}{I} = \sqrt{\frac{L}{C}} = Z_v$$

kde Z_v ... vlnová impedance $[\Omega]$

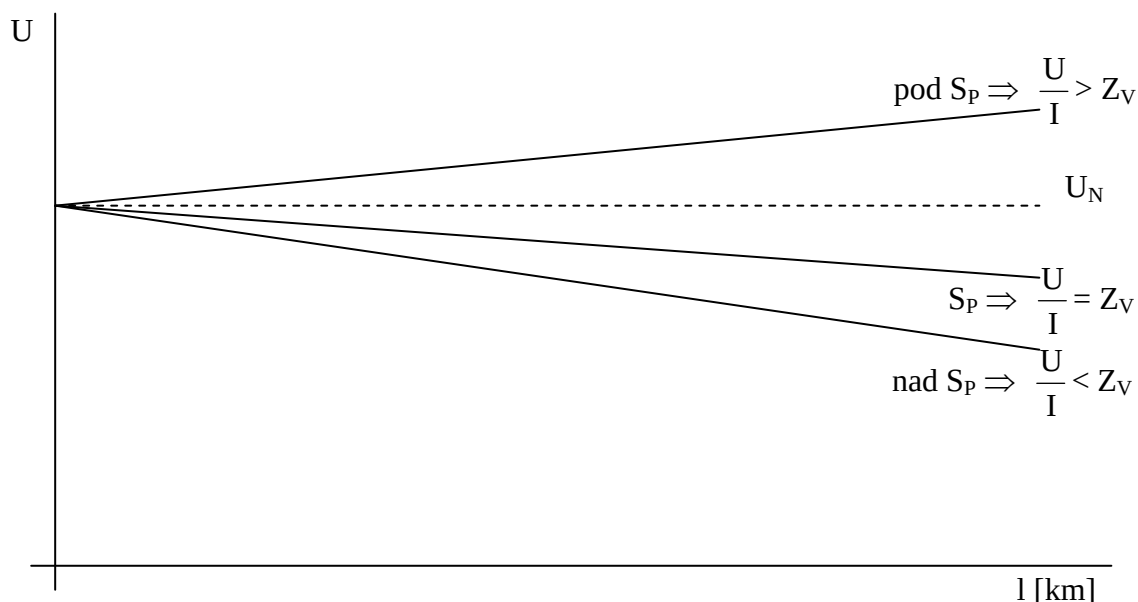
Vlnové impedance venkovního vedení vvn bývá 350 - 400 Ω ; u kabelového vedení 35 - 40 Ω . Je-li vedení zatíženo vlnovou impedancí, přenáší tzv. přirozený výkon, pro který platí vztah:

$$S_p = \frac{U_s^2}{Z_v} = \frac{3 \cdot U_f^2}{Z_v} \quad [\text{MW}, \text{kV}, \Omega]$$

U_s ...sdružená hodnota napětí na konci vedení [kV]

Z_v ...vlnová impedance vedení $[\Omega]$

Vlnová impedance vedení charakterizuje přenosovou schopnost vedení. Je-li vedení provozováno pod přirozeným výkonem, má kapacitní charakter, je-li provozováno nad přirozeným výkonem, má induktivní charakter.



Je-li vedení pod přirozeným výkonem, má kapacitní charakter a vzniká přepětí (Ferrantiův jev); je-li provozováno s přirozeným výkonem vzniká úbytek napětí pouze na činném odporu; je-li provozováno nad přirozeným výkonem, má induktivní charakter a úbytek napětí vzniká ještě navíc na reaktanci.

Řízení napětí a frekvence v elektrizační soustavě

Frekvence je celosystémový parametr; tzn. že v propojené ustálené soustavě je v každém okamžiku frekvence stejná (protože zdroje pracují synchronně). Pro Evropu je frekvence dána $50\text{Hz} \pm 200\text{ mHz}$. Frekvence je primárně daná otáčkami generátorů; sekundárně závislí na výkonové bilanci.

výkon vyráběný v elektrárnách = odebíraný příkon spotřebičů	frekvence "drží"
výkon vyráběný v elektrárnách > odebíraný příkon spotřebičů	frekvence roste
výkon vyráběný v elektrárnách < odebíraný příkon spotřebičů	frekvence klesá

Z uvedeného vyplývá nutnost dodržet "rovnici": **výroba = spotřeba + ztráty**

K řízení napětí máme v podstatě jen dva prostředky:

- říditelné transformátory s odbočkou
- řízení jalových proudů pomocí kompenzace

Z uvedeného vyplývá, že sekundárně v ES platí: $f \sim P$ a $U \sim Q$

Přenos elektrické energie stejnosměrným napětím

Důvodem použití ss napětí je problematika zkratových poměrů a otázka statické stability ES. Při obrovských výkonech a velkých vzdálenostech je výhodnější přenos realizovat stejnosměrně.

Použití ss přenosu

- při velkých výkonech ($P > 100\text{ MW}$)
- při velkých vzdálenostech ($l > 500\text{ km}$)
- u dlouhých kabelových vedení (napájení ostrovů)
- při spojení dvou ES, které mají různou frekvenci (v ČR za minulého režimu stejnosměrné spojky)
- při nutnosti zvýšení výkonu soustavy, jsme-li na hranici statické stability

Výhody ss přenosu

- nižší pořizovací náklady na stožáry, vodiče a izolátory
- nedochází k oteplování vodičů vlivem kapacitních proudů
- kabelové vedení nemá dielektrické ztráty
- neuplatňuje se skinefekt
- nevznikají ztráty hysterezí a vířivými proudy

Nevýhody ss přenosu

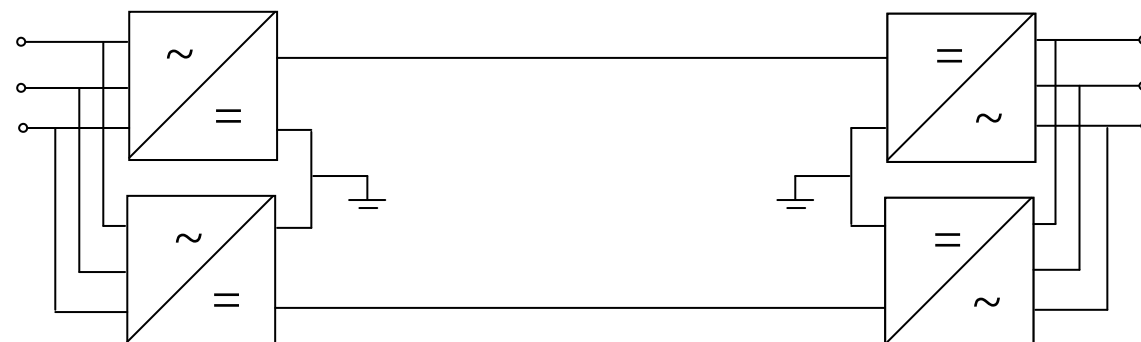
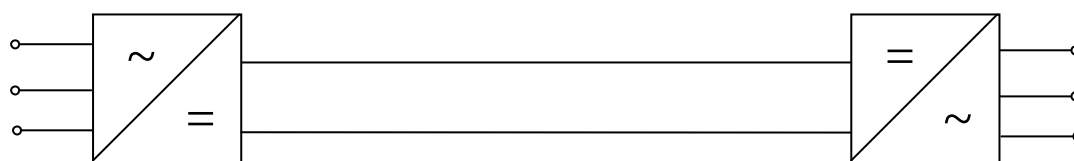
- koncové stanice: velmi nákladné, nižší účinnost než trafostanice, rušení telekomunikačních signálů
- na straně spotřebičů je nutno dodávat jalový výkon (ten se = síť nepřenáší)

Schéma stejnosměrného přenosu

a) jedním vodičem (málo používané)



b) dvěma vodiči



Poslední varianta má největší spolehlivost. V případě poruchy (např. přetržení jednoho vodiče, lze vedení provozovat s polovičním výkonem proti zemi).

Poruchové stavy vedení a ochrany

Zkrat, omezení zkratového proudu a ochrana před zkratem

Zkrat

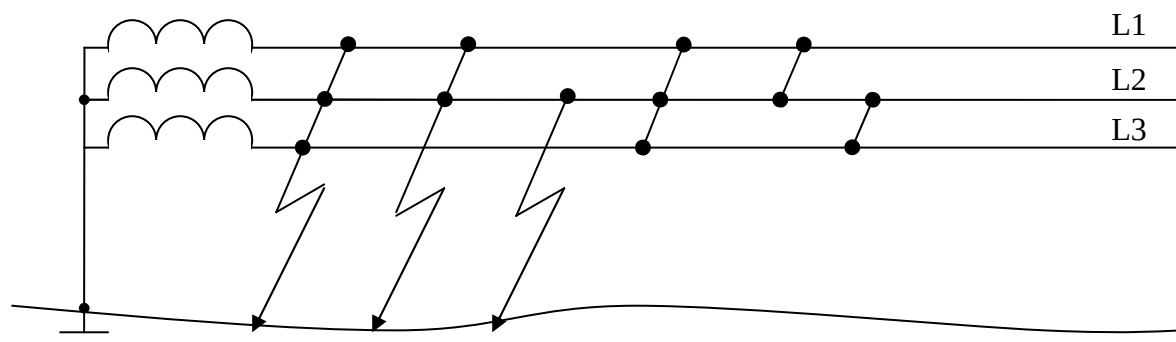
Nejrozšířenějšími poruchami v ES jsou zkraty. Zkrat vznikne spojením fází navzájem nebo se zemí v soustavě s uzemněným uzlem. Zkrat vzniká bezodporovým spojením dvou míst s různým potenciálem. Ve skutečnosti se setkáváme se zkraty bezoporovými (např. spojení dvou fází) a odporovými (např. spadlá vlhká větev).

Účinky zkratových proudů

- tepelné (oblouk)
- světelné (oblouk)
- silové
- přepětí

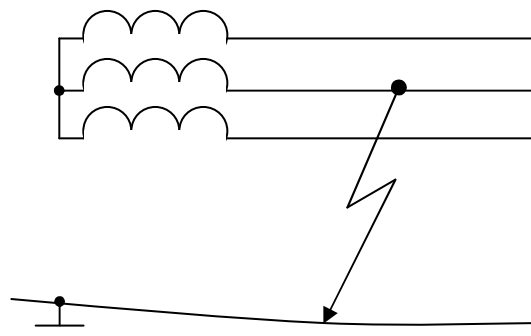
Zkrat způsobuje el. poškození dielektrik (izolant) a izolátorů, tepelné poškození vodičů (tavení) a nakonec i mechanické poškození vlivem sil zkratových proudů.

Druhy zkratu



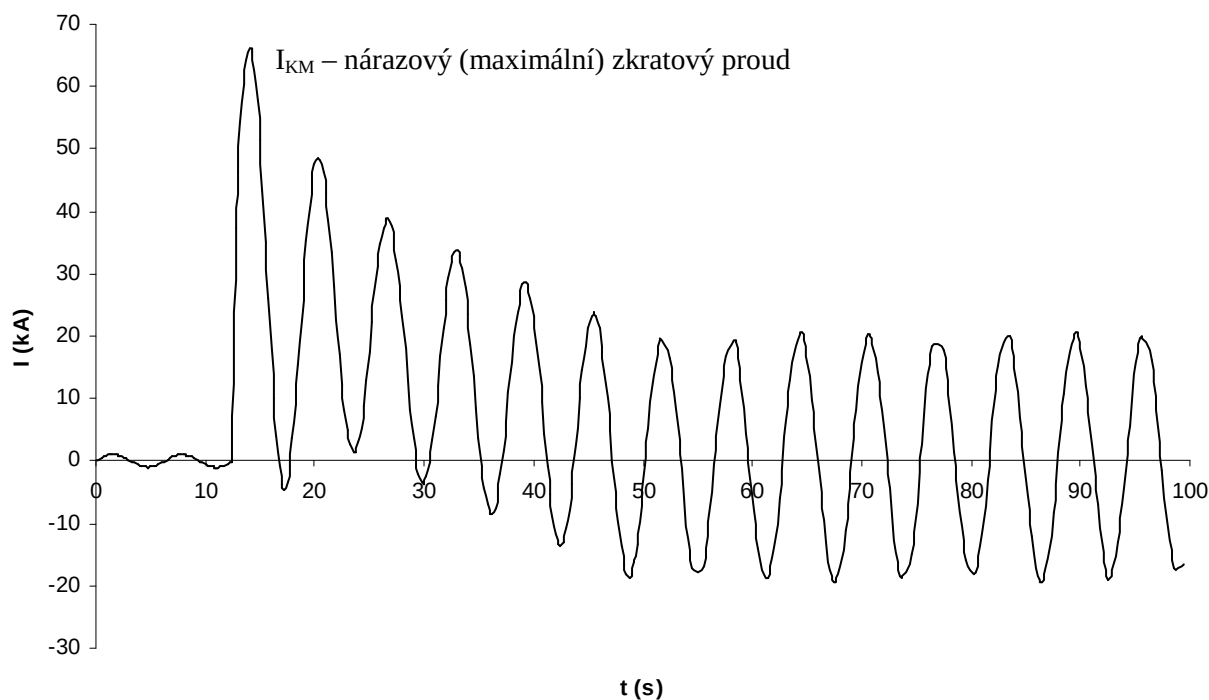
zkraty zleva: trojfázový zemní, dvojfázový zemní, jednofázový, trojfázový, 2x dvojfázový

Uvedená klasifikace zkratů platí pro síť provozované s uzemněným uzlem (tj. nn, vvn, zvn). V sítích vn (6, 10, 22, 35 kV), které se provozují s izolovaným uzlem neklasifikujeme při spojení fáze a země poruchu jako zkrat, ale jako zemní spojení (neteče zkratový proud, obvod není uzavřen).



Průběh a velikost zkratového proudu

Zkratový proud může mít např. takovýto průběh posunutý o stejnosměrnou složku:



Zkratový proud není nekonečný; jeho velikost je omezena činným odporem a reaktancí generátorů, transformátorů, vedení a místem zkratu.

$$I_K = \frac{U}{\sum Z} = \frac{U}{\sum \sqrt{R^2 + X^2}}$$

Uveďme konkrétní příklad. Na obrázku je vidět zkrat na vedení, který je napájen ze dvou elektráren. Pokud napájecí body (U_A a U_B) spojíme, bude velikost zkratového proudu dána serio-parallelním řazením. Impedance Z_1 a Z_2 jsou řazeny paralelně.

$$I_K = \frac{U}{\sum Z} = \frac{U}{\frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3}$$

kde

$$Z_1 = X_{G1} + X_{T1}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_{V1}^2 + (X_{G2} + X_{T2} + X_{V1})^2}$$

$$Z_3 = \sqrt{(R_{V2} + R_{V3} + R_{ZK})^2 + (X_{V2} + X_{V3})^2}$$

$X_{T1}, X_{T2} \dots$

$X_{G1}, X_{G2} \dots$

$R_{V1}, R_{V2}, R_{V3} \dots$

$X_{V1}, X_{V2}, X_{V3} \dots$

$R_{ZK} \dots$

reaktance transformátoru

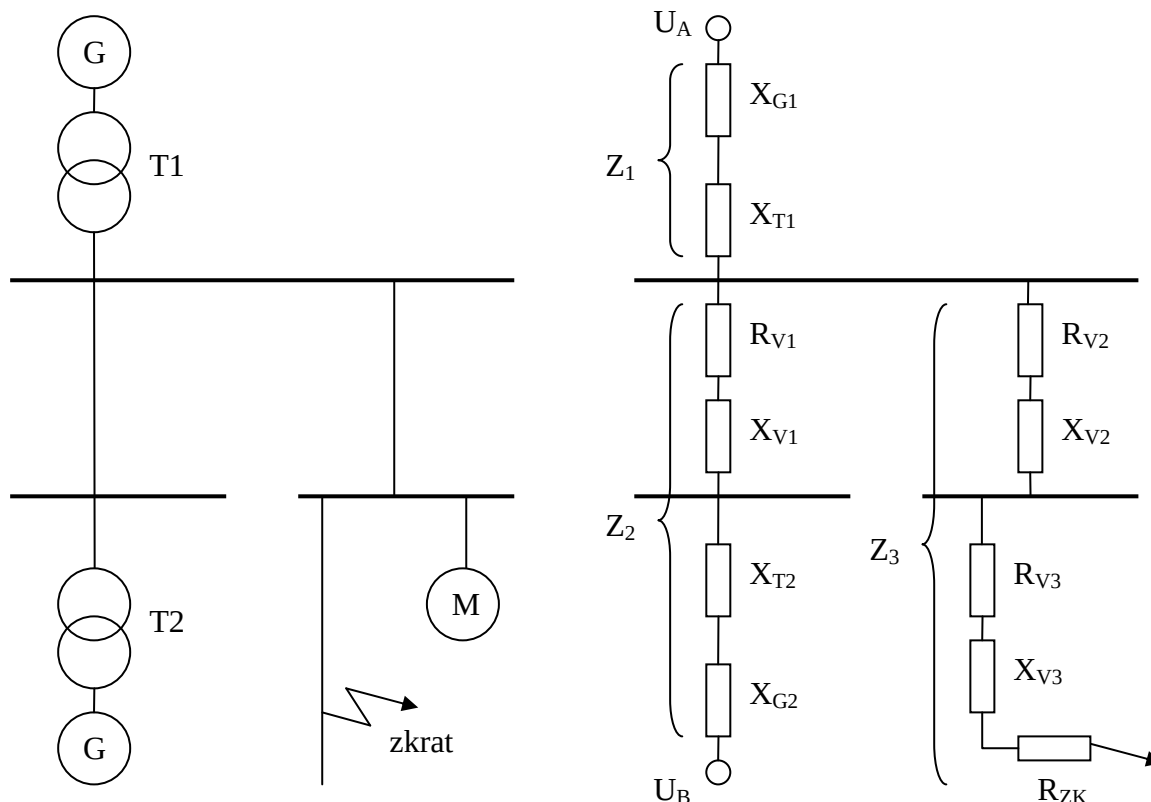
reaktance generátoru

odpor vedení

reaktance vedení

odpor místa zkratu

Z uvedeného vyplývá, že čím dál je zkrat od zdroje, tím větší je zkratová impedance a tím menší je zkratový proud.



Omezení zkratových proudů

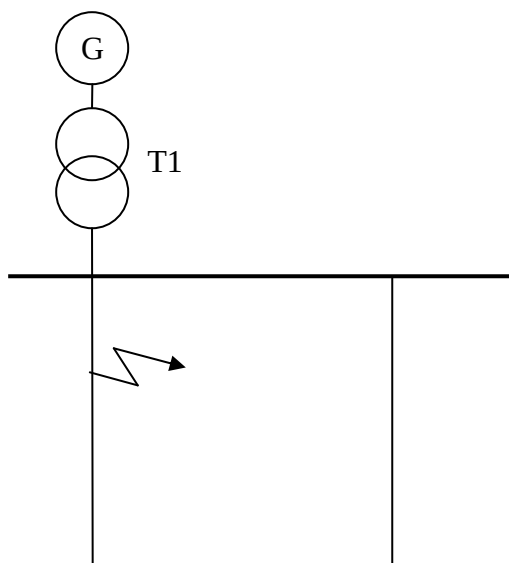
1. zamezení vzniku zkratu - použití zapouzdřených rozvodů (jednofázové zapouzdření)
2. omezení zkratových proudů
 - zvětšením zkratové impedance
 - použitím transformátorů s větší impedancí
 - použitím reaktorů
 - zmenšením výkonu zdrojů
 - podélné dělení přípojníc
 - příčné dělení přípojníc

Omezení zkratového proudu reaktorem

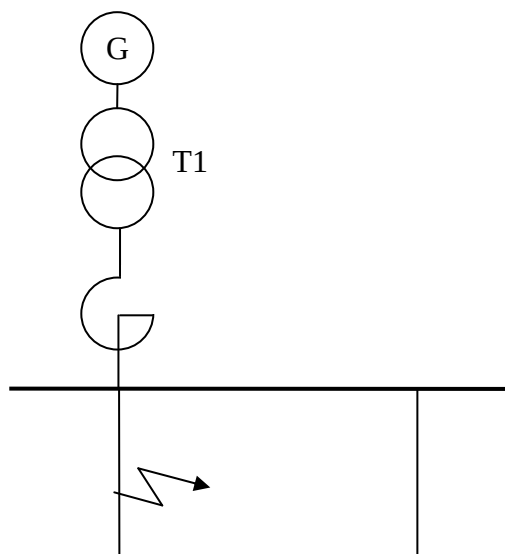
Je-li hodnota předpokládaného zkratu v nějakém místě tak velká, že energetické zařízení na něj není dimenzováno je nutné zkratovou impedancí zvětšit. Používáme k tomu cívky, které nazýváme tlumivky nebo častěji reaktory. Zařazením reaktoru vzroste zkratová impedance. Na obrázku A vlevo by byl případný zkratový proud omezen jen reaktancí generátoru a transformátoru. Na obrázku B vpravo je navíc omezen ještě reaktancí reaktoru.

Podélné a příčné dělení přípojníc

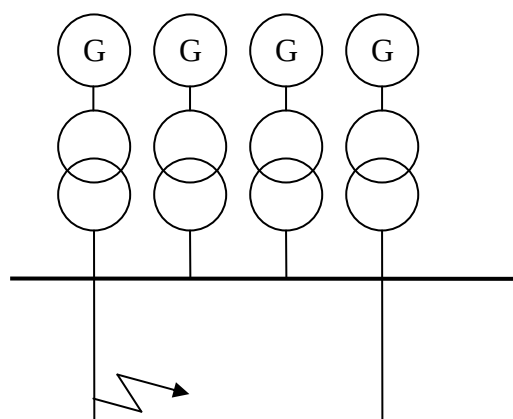
Tento způsob omezení zkratového proudu se používá v případě napájení zkratu z více zdrojů. Na obrázku C je zkratový proud největší, na obrázku D a E je poloviční.



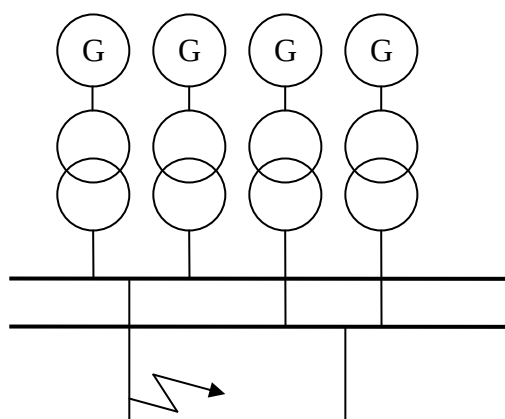
obr. A



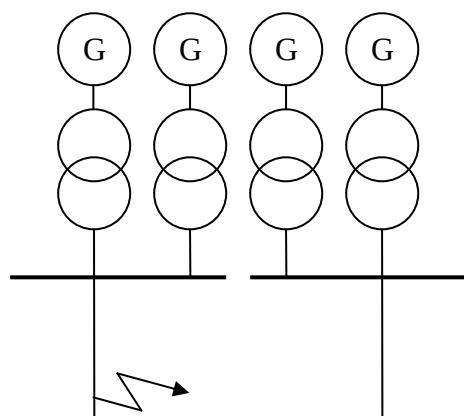
obr. B



obr. C – do zkratu přispívají všechny čtyři generátory.

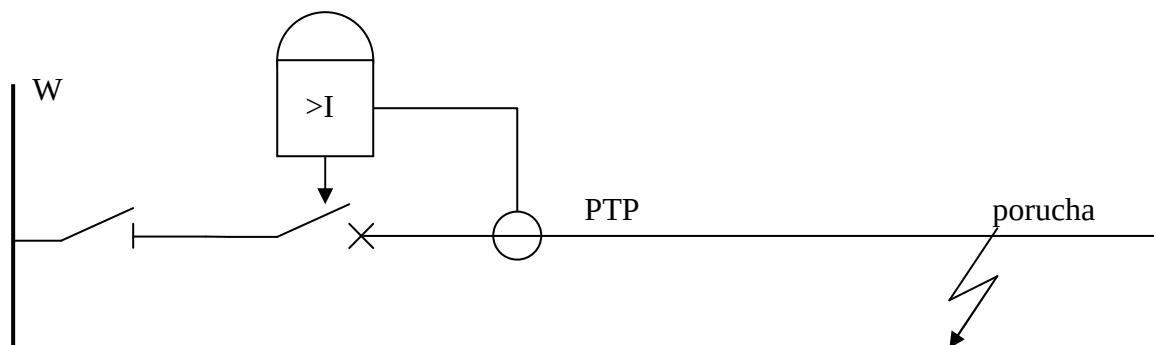


obr. D – příčné dělení přípojníc,
do zkratu přispívají jen dva generátory.



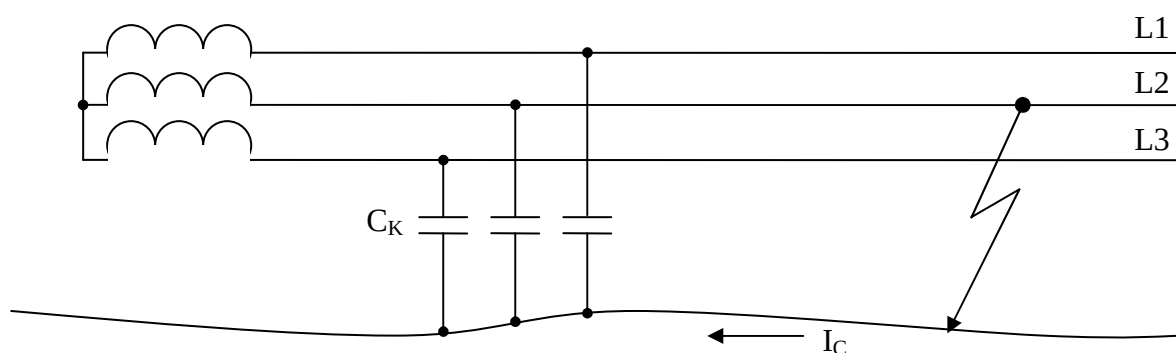
obr. E – podélné dělení přípojníc,
do zkratu přispívají jen dva generátory.

Podmět k vypnutí dá vypínači nadproudová ochrana ($>I$) – ta neustále sleduje velikost proudu pomocí PTP a v případě nadproudu nebo zkratu dá pokyn výkonovému vypínači. Nadproudová ochrana často spolupracuje s automatikou OZ.

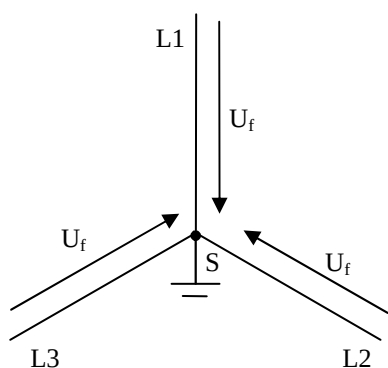


Zemní spojení

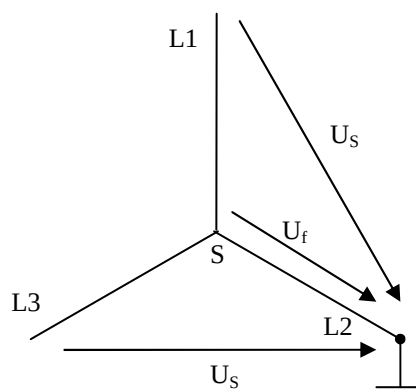
V sítích provozovaných s izolovaným uzlem nazýváme vodivé spojení jedné fáze se zemí zemním spojením. Zásadní rozdíl mezi zkratem a zemním spojením je v tom, že zkratový proud je několikanásobně větší než proud provozní a má indukční charakter. V místě zemního spojení prochází pouze malý proud kapacitního charakteru, který je nezávislý na vzdálenosti od zdroje.



Nastane-li zemní spojení, je možno vedení dočasně provozovat dále do doby, než bude zemní spojení nalezeno a odstraněno. Při zemním spojení stoupne napětí na nepostižených fázích z fázové hodnoty na hodnotu sdruženou a napětí středu transformátoru (S) stoupne při zemním spojení z nuly na hodnotu fázového napětí.

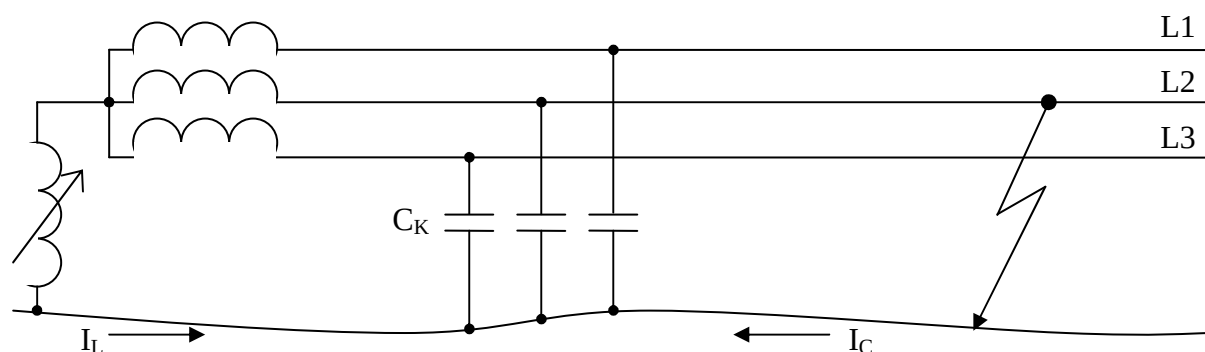


Znázornění napětí v soustavě s uzemněným uzlem.



Znázornění napětí v soustavě s izolovaným uzlem při zemním spojení na fázi L2

Zemnímu spojení se bráníme kompenzováním kapacitního proudu proudem induktivním.



Přepětí

Přepětí je napětí, které je vyšší než jmenovité napětí. Je-li však napětí v povolené toleranci ($\pm 5\%$ nn a $\pm 10\%$ vn) hovoříme o úbytku napětí a podpětí (-) nebo o nadpětí (+).

O přepětí hovoříme tedy tehdy platí-li $\frac{U}{U_N} > 1,1$

Přepětí rozdělujeme na

- atmosférické (blesk, indukovaný náboj, kosmické $\Leftarrow$ sluneční bouře)
- provozní (např. Ferrantiův jev, zemní spojení)
- zotavené napětí (na el. přístrojích při přerušení proudu)

Vznik přepětí

Atmosférické přepětí na vedení

Atmosférické přepětí vzniká při úderu blesku do vedení nebo v jeho blízkosti. Tato přepětí ohrožují hlavně venkovní vedení. Na Zemi udeří každou sekundu přibližně 100 blesků. V ČR bylo změřeno, že do 100 km vedení udeří ročně 30 blesků.

Provozní přepětí

Provozní přepětí vzniká při provozování ES. Přepětí vzniká při zemních spojeních, zkratech, při zapínání a vypínání vypínačů a odpojovačů a při provozování vedení vvn naprázdno (Ferrantiův jev).

Zotavené napětí

Zotaveným napětím nazýváme takové napětí, které se objeví mezi vypínačem a sítí bezprostředně po přerušení proudu mezi kontakty vypínače. Přepětí vzniká vždy když výkonový vypínač nebo odpojovač přetrhne (odpojovač jen malý kapacitní) oblouk v jiném okamžiku, než v nule proudu.

Ochrana proti přepětí

Na ochranu před přepětím používáme následující prostředky

- tyčové hromosvody
- zemnicí a výběhové lana
- ochranná jiskřiště
- bleskojistky se stálým odporem
- bleskojistky pro stejnosměrné obvody
- ventilové bleskojistky

Ochranná jiskřiště, bleskojistky - viz skriptum Elektrotechnika II – Elektrické přístroje

Ventilové bleskojistky

Bleskojistky umožňují nejúčinnější ochranu před atmosférickým přepětím, a to zejména automatickým zhasením následného proudu. Ve své činnosti to jsou v podstatě jiskřiště, která zhasnou sama. *Ventilové bleskojistky* jsou nejčastěji používanou ochranou proti přepětí. Klasické bleskojistky jsou na bázi silicium-karbid. Skládají se z mnohonásobného sériového jiskřiště se schopností okamžitého působení a z napětově závislých odporových bloků. Dnes se stále častěji používají bleskojistky na bázi ZnO, většinou bez sériového jiskřiště.

Ochranná jiskřiště

Nejjednodušším svodičem přepětí je *ochranné jiskřiště*, které je často součástí izolátorů a vysokonapětových přístrojů. Jejich význam spočívá zejména v tom, že průrazná dráha vzduchu se posune od povrchu izolátoru, takže se zabrání zničení povrchu izolátoru tepelným účinkem oblouku. Představují jen hrubou přepětíovou ochranu, mají velký rozptyl zapalovacího napětí ($\pm 13\%$).

Zemnicí lano

Zemnicí lano (také zemní, uzemňovací, stínící, overhead earth wire, ZL) je uzemněný nebo slabě izolovaný vodič, umístěný obvykle nad fázovými vodiči vedení nebo elektrickou stanicí. Hlavním úkolem je stínit fázové vodiče před přímými údermi blesku a snížit indukované přepětí.

Na venkovních vedeních se zemnicí lano upevňuje obvykle na nejvyšším místě stožárů tak, aby vodiče chráněného vedení byly v prostoru vymezeném ochranným úhlem lana (ČSN 380810) a spojuje se přímo nebo přes jiskřiště na více místech se zemí. Použití zemnicího lana pro různé napětové hladiny upřesňuje tabulka:

0,4 kV	6 kV	22 kV	35 kV	110 kV	220 kV	400 kV	750 kV
bez zemnicího lana			*	se zemnicím lanem			

* vedení vn 35 kV užívá výběhové lana ve vzdálenosti 600 až 1000 m před rozvodnami

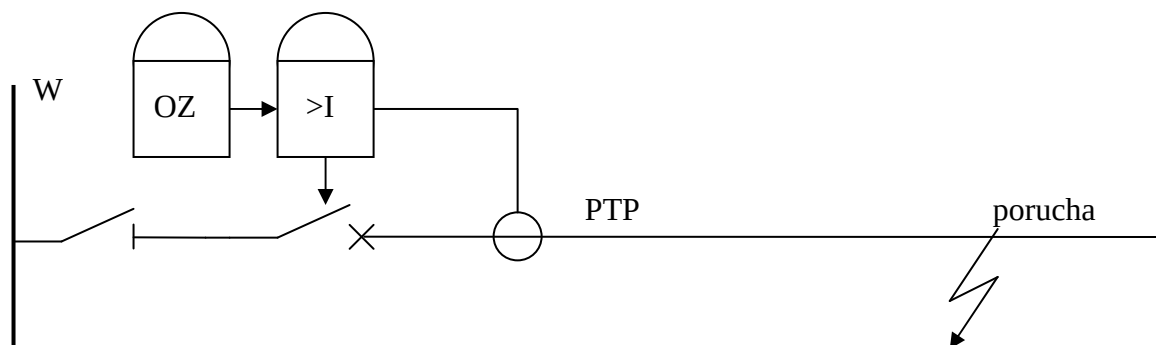
Dnes se častěji než ZL používají KZL (kombinované zemnicí lano), které má v jádře uložené optické vlákna, která se používají pro přenos informace.

Kombinované zemnicí lano - viz skriptum Elektrotechnika III – Optoelektrotechnika

OZ - opětné zapínání

Automatika OZ

OZ je zkratka pro automatiku opětného zapínání. Používá se jen u venkovního vedení, kde můžou nastat přechodné poruchy. OZ provádí automatika ve spolupráci s ostatními ochranami.



Rozlišujeme automatiku OZ

- | | |
|-------------------------|---|
| • s jedním cyklem | vyp. – zap. – definitivní vyp. |
| • s vícenásobným cyklem | vyp. – zap. – vyp. – ... – definitivní vyp. |
| • jednopólové | vyp. – zap. jen postiženou fází |
| • tříkolové | vyp. – zap všechny tři fáze |

Rozdělení poruch

Poruchy můžeme rozdělit na:

- | | |
|--------------------------|--|
| • přechodné | - náhodné přiblížení vodičů vlivem větru nebo přepětí při bouři (bleskostatka způsobí přechodný krátkodobý zkrat) $\Rightarrow$ používáme OZ |
| • semipermanentní zkraty | - spadlé větve na vedení, větve položené na vedení pod tíhou sněhu, ptáci $\Rightarrow$ používáme vícenásobné OZ |
| • trvalé zkraty | - OZ nepoužíváme, nepomáhá |

Doba beznapěťové pauzy (doba vypnutí) musí být dostatečně dlouhá, aby deionizovaná dráha oblouku přechodného zkratu zanikla. Doba však musí být natolik krátká, aby odběratel nepoznal přerušení dodávky el. energie.

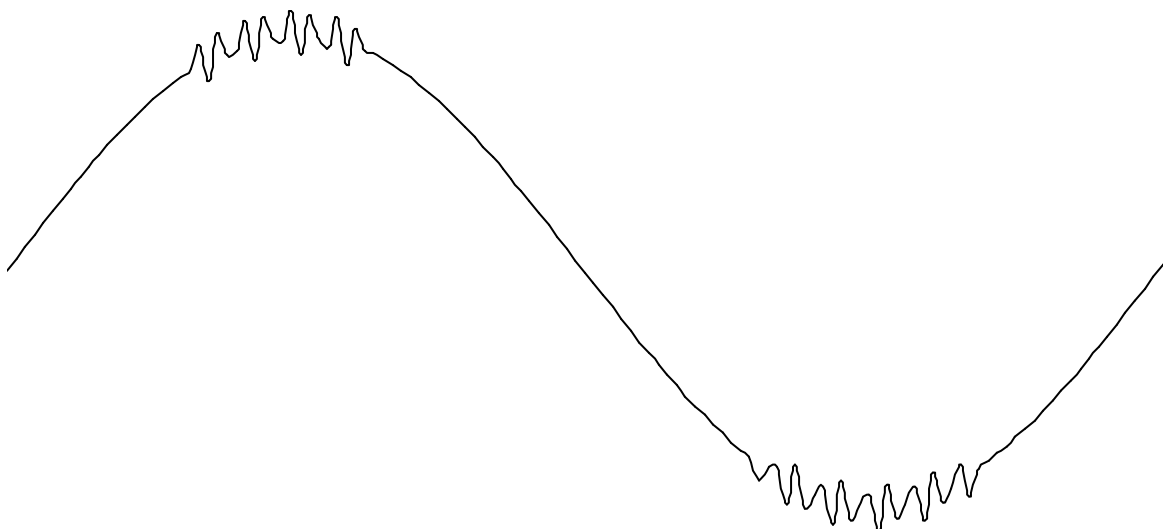
Čas vypnutí OZ:	s jedním cyklem	1 pauza	0,4 - 0,6 s
	s vícenásobným cyklem	další pauzy	řádově sekundy

HDO

HDO = hromadné dálkové ovládání

Obecná charakteristika

Hromadné dálkové ovládání znamená, že pomocí vysílače povelových kódů, který je připojen do distribuční sítě, hromadně ovládáme přijímače, které jsou součástí některých spotřebičů. Přenos informace od vysílače HDO k přijímači se provádí pomocí kódovaných impulsů na vyšší frekvenci, které jsou superponovány na nosnou síťovou frekvenci 50 Hz.



Přenosovou cestu signálu tvoří běžná distribuční síť nn, vn i vvn. V severomoravské oblasti se používají dvě hodnoty ovládací frekvence: 750 a 216 $\frac{2}{3}$ Hz.

Systém HDO se vyznačuje těmito typickými znaky:

- přenos informace se provádí z jednoho centrálního bodu současně do mnoha obvykle geograficky rozptýlených přijímacích míst
- provoz je bez zpětné signalizace, předpokládá se správné provedení povelu u převážné většiny přijímacích míst
- provoz s poměrně malým stupněm zabezpečení správného přijetí kódu
- užívá se přenosových cest s nepříznivými přenosovými vlastnostmi

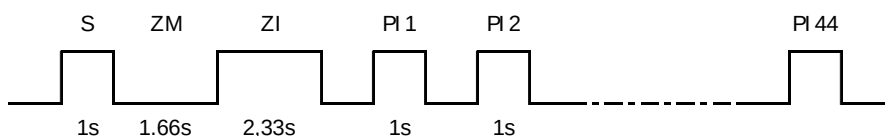
Přijímače HDO se používají k regulaci odběru elektrické energie zejména u maloodběratelů. Dále blokují akumulární spotřebiče, přepínají vícesazbové elektroměry, mohou se použít i pro spínání veřejného osvětlení, reklam, atd. Použití může být i mimo oblast elektroenergetiky (např. signální účely: civilní obrana, řízení poplachových sirén).

Vysílací frekvence používané v ČR: 1060; 760; 425; 283,3; 216 $\frac{2}{3}$; 183 Hz

Povelové kódy

A.) paralelní (impuls-mezera) povelový kód

Pro ovládací frekvenci 750 a 425 Hz se používá tzv. paralelní impulsní povelový kód. Časový sled telegramu je následující: dělí se na zabezpečovací a povelovou část telegramu.

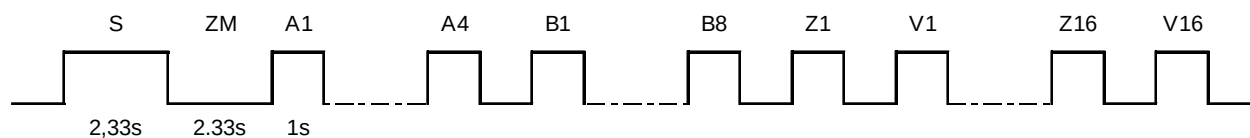


S ... startovací impuls
ZM ... zabezpečovací mezera
ZI ... zabezpečovací impuls
PI ... povelový impuls

Tento kód dovoluje vyslat 40 dvojpovelů (4 dvojpovely jsou rezervovány pro jednoúčelové přijímače).

B.) sériový (impuls-impuls) povelový kód

Pro ovládací frekvence 216 $\frac{2}{3}$ Hz se používá tzv. sériový impulsní povelový kód. Časový sled telegramu je následující.



S ... startovací impuls
ZM ... zabezpečovací mezera
A ... první předvolba
B ... druhá předvolba
Z ... zapínací impuls
V ... vypínací impuls

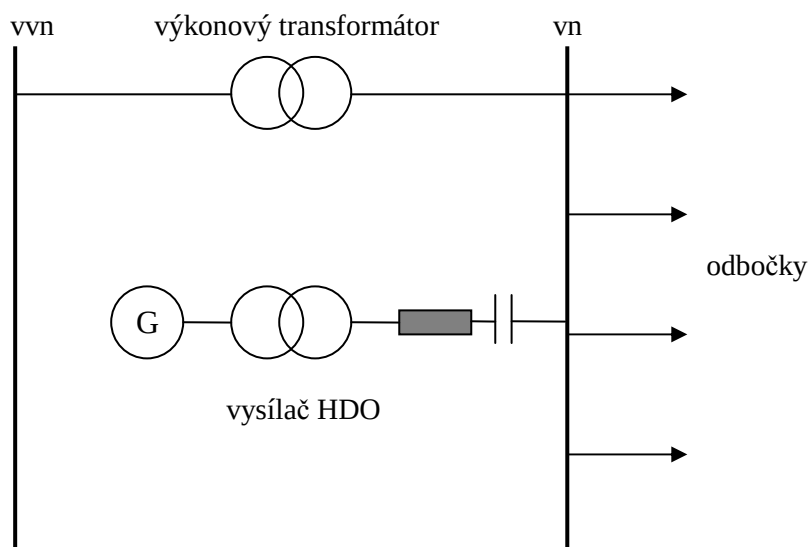
Tento kód dovoluje vyslat až 512 dvojpovelů a je odolnější proti rušení. Kódování přijímačů na příslušný dvojpól se provádí v cejchovně pomocí nástrčných svorek na předním panelu přijímače.

Připojení vysílačů HDO na síť

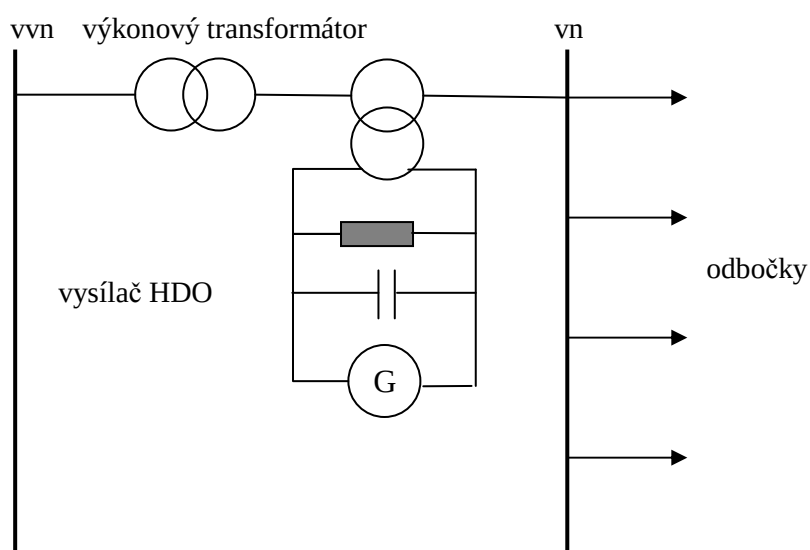
Připojení vysílačů HDO do elektrizační soustavy je možné

- paralelní vazbou
- sériovou vazbou
- sériovou vazbou do středního vodiče soustavy (nepoužívá se)

Připojení paralelní vazbou



Připojení sériovou vazbou



Mechanika venkovních vedení

Elektrické vedení

Elektrické sítě: - kabelové
 - venkovní

Postup návrh elektrických sítí:

- nejdříve elektricky (U, I, ΔP , ΔU , kompenzace, atd.)
- potom mechanický

Venkovní vedení:

- vodiče
- izolátory
- stožáry
- základy

Výchozím podkladem pro mechanický návrh elektrického vedení je výpočet zavěšeného vodiče, který určuje rozmístění stožárů podél trasy i dimenzování ostatních prvků elektrického venkovního vedení. Maximální rozpětí (vzdálenost mezi stožáry) je 600 m. Elektrická vedení se navrhují a staví zhruba s padesátiletou životností (životnost stožárů je 50 - 70 let, životnost vedení 25 - 50 let).

Klimatické poměry

Klimatické poměry:

- maximální a minimální teplota
- vítr
- námraza
- bouřky
- kombinace:
 - a) -5°C , bezvětrí, námrazek
 - b) -5°C , vítr na neomrzlý vodič
 - c) $+40^{\circ}\text{C}$ a bezvětrí
 - d) -30°C , bezvětrí, bez námrazku

Teplota

Na teplotu vodiče má vliv: - teplota vzduchu
 - sluneční záření (neuvažuje se)
 - proudové zatížení

teplota vzduchu v ČR $-30^{\circ}\text{C} \div +40^{\circ}\text{C}$

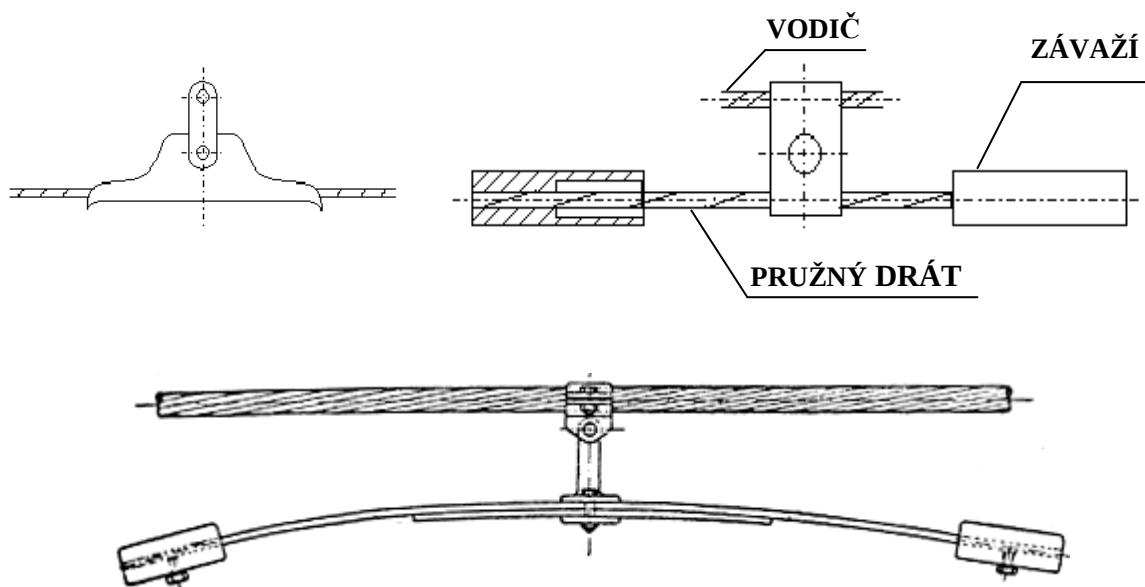
maximální přípustná teplota vodičů $+80^{\circ}\text{C}$ (u venkovního vedení vždy splněno, problém u kabelů)

proudové zatížení se uvažuje od 80% I_N

Vítr

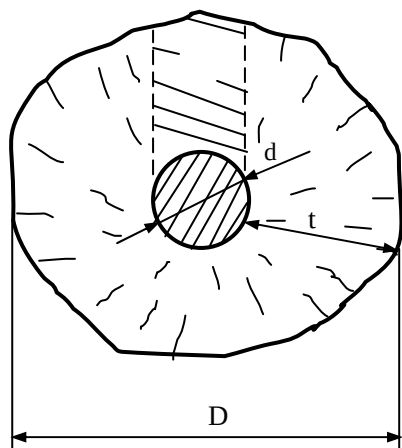
Tlak větru způsobuje přidavné zatížení vodičů i nosné konstrukce. Vlivem větru dochází k vychylování vodičů ze svislé polohy a ke kmitání vodičů. Předpokládáme vodorovný směr větru a uvažujeme jen jeho statickou složku zatížení. Rychlost větru je nejvyšší při zemi, se stoupající výškou se zvětšuje.

Nebezpečná je vibrace lan (tzv. tancování lan) a rezonance mezi mechanickou frekvencí větru a mechanickou frekvencí lana (7-60 Hz). Vedení proto opatřujeme na konci a na začátku závaží.



Námraza

Za určitých podmínek se vytváří na vodiči ledová vrstva, která způsobuje přidavné zatížení vodiče. Velikost námrazku je závislá na místních klimatických podmínkách - ve světě naměřeno 8 až 80 kg na 1 m délky vodiče. Dle ČSN 341100 je ČR rozdělena na námrazové oblasti (lehké (L), střední (S), těžké (T)). Námrazová kalamita postihla naposledy ČR v roce 1974. Jen JME, a.s. hlásila zničení 251 stožárů a 33 km spadlého vedení. 457 obcí zůstalo bez dodávky elektrické energie.



Likvidace námrazku: samovolně, oklepem, vyhřátím pomocí zvýšeného střídavého nebo stejnosměrného proudu, umělým zkratem

Bouřky

Na Zemi je asi 100 úderů blesku za sekundu. Podle statistik udeří blesk v ČR průměrně 30 krát do 100 km elektrického vedení za rok - blesk tedy přímo ohrožuje provoz venkovního vedení. Vedení se proto chrání před přímým zásahem blesku zemnicím lanem, před zpětným přeskokem dostatečnou izolací a malým odporem uzemnění stožárů a před indukovaným přepětím dostatečnou izolací a svodiči přepětí.

- u nás	nížiny	20-30 bouřkových dní za rok
	vyšší polohy	30-45 bouřkových dní za rok
- ve světě	Ostravsko	24 bouřkových dní za rok
	tropy	220 bouřkových dní za rok
	Kampala (Afrika)	242 bouřkových dní za rok
	západní Kanada	0,5 bouřkových dní za rok

blesky - přímo do vedení
- indukce při blízkém úderu

Při stavbě vedení se vychází z tzv. izokeraumické mapy, která udává počet bouřkových dní za rok v jednotlivých oblastech

Materiály vodičů

Vodiče

- měď Cu
- hliník Al
- slitiny hliníku
- ocel
- pro speciální účely: bronz, slitiny Cu, Sn, atd.

Lana prostá

- Al, Cu, Fe, bronz

Lana kombinovaná

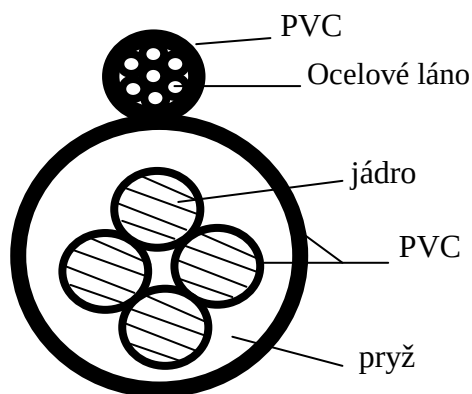
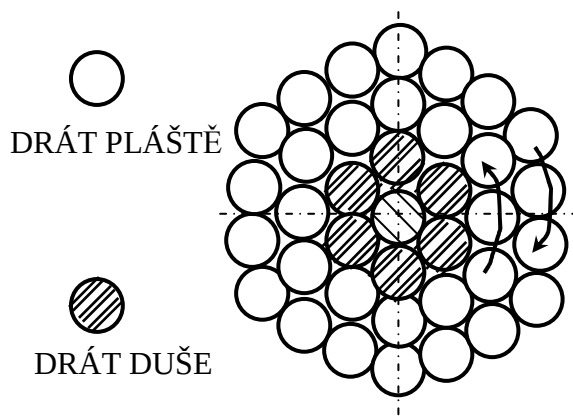
- AlFe X (poměr průřezu Al:Fe), CuFe
- KZL (kombinované zemnicí lano)

Dráty do 1 kV

- měď, hliník, železo

Svazkové vodiče

Závěsné kabely (obr.)



Venkovní vedení

Výzbroj vodičů

spojování vodičů:

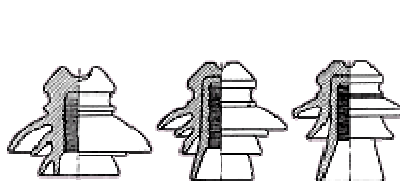
- kroucením
- vazy
- spojky trubkové, vrubové a šroubové

k výzbroji patří:

- rozpěrky svazkových vodičů
- tlumiče

izolátory:

- podpěrné (do 35 kV).
- závěsné (od 22 kV)
- tyčové
- talířové

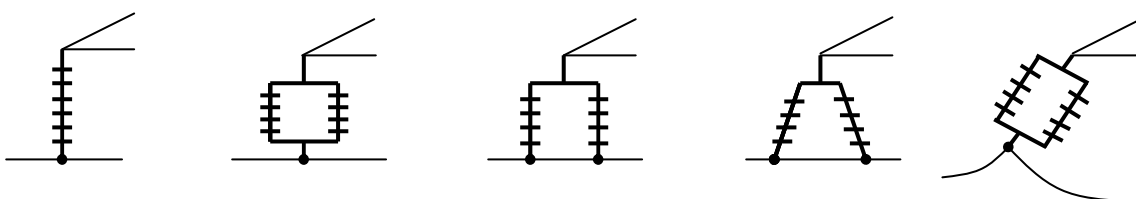
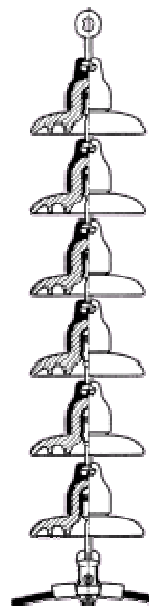


materiál izolátorů: tvrdý porcelán, sklo, plast + sklo, gumové povrchy

upevnění vodiče:

- vazem
- svorkou

způsob uchycení vodiče



výhody závěsných izolátorů:

- vyrovnávají tahy sousedních polí
- při přetržení vodiče odlehčují stožár
- větší bezpečnost proti průrazům
- snadnější montáž a skladování

Stožáry

rozdělení podle účelu:

N (nosný), **R** (rohový), **V** (výztužný), **RV**, **O** (odbočný), **OV**, **Ko** (koncový), **Rz**, **KN**, **KV**, **KRV**
Jenom **K** je křížovatkový

výztužné stožáry: min. co 3 km – jednoduchý vodič.
5 km – svazkový vodič.

materiál: dřevo, ocel, beton, železobeton.

při výpočtu se uvažuje:

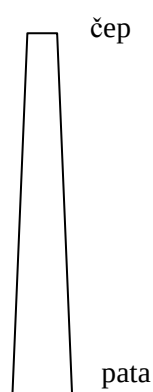
- normální stav
- tlak větru na vodiče a stožár
- tahy ve vodičích
- námraza
- vlastní hmotnost stožáru, vodičů a armatur
- výslednice sil při zalomení a odbočení
- momenty sil při přetržení vodiče

Dřevěné stožáry

materiál: skupina I (smrk, jedle, borovice)
skupina II (modřín, buk, dub)

typy:

- jednoduchý (J) I
- složené:
 - dvojsloup (D) II
 - kozlík Λ
 - (úzký U, štíhlý Š, široký A)
 - typ H H



přírůstek průměru: 0,7 cm / 1 m délky

základ: do země obvykle 1/5 - 1/6 délky (min. 150 cm)

hniloba: vnější, vnitřní

ochrana proti hnilobě:

- užití sloupu z modřínu, dubu, kaštanu, atp.
- u měkkého dřeva impregnací

impregnace:

- sublimátem HgCl (pod tlakem).
- 3% roztokem thiosíranu vápenatého
- černouhelným dehet. olejem (za tlaku 0,4 - 0,8 MPa)

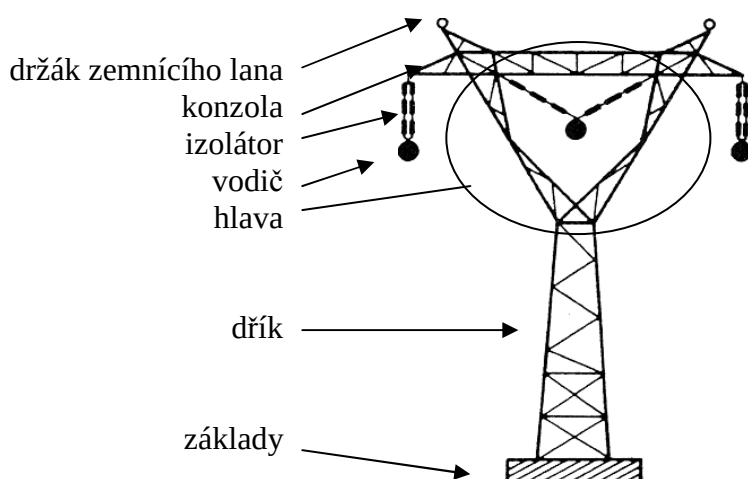
Ocelové stožáry:

ocelové stožáry:

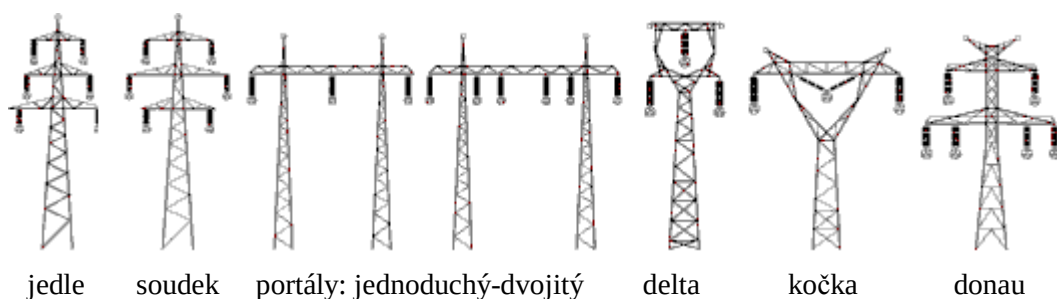
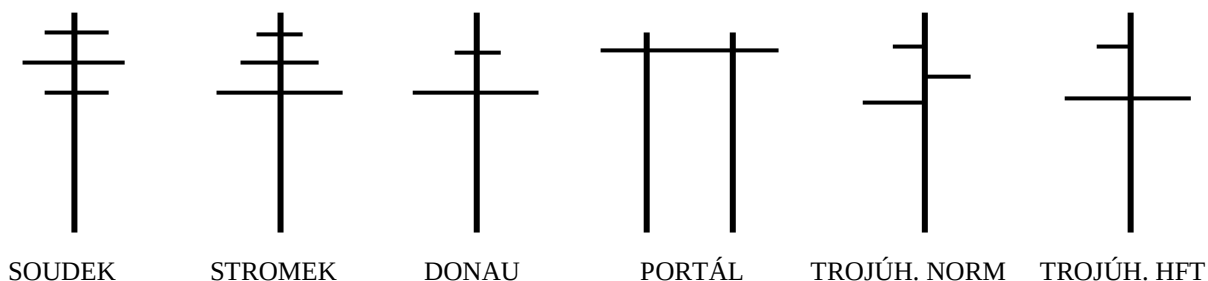
- příhradové
- trubkové

části stožáru:

- dřík
- hlava
- konzoly
- držák zemnicího lana



typy stožárů:



ochrana proti korozi:

- nátěr barvou
- pozinkování
- atmofix

Na stožárech se může vyskytovat další zařízení, např. úsekové vypínače, pojistky, bleskojistky, transformátory, kondenzátory, rozváděče, apod.

značení vedení zpravidla:

- po levé straně liché číslo (vedení se číslovají, např. 637, 638) a bílá barva.
- po pravé straně sudé číslo a červená barva.
- odbočky jinak (např. modrou barvou)
- značení barvou asi 2 m od země a u vedení vvn a zvn i pod konzolou
- číslování se provádí zpravidla ve směru toku energie