
	<p>VŠB - Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky</p> <p>Katedra elektrických strojů a přístrojů</p>	
---	---	---

Předmět:
Elektrické přístroje

Protokol č.6

Výpočet silových účinků elektrického proudu

Skupina:	
Datum:	

Vypracoval:

--

Zadání:

Mechanicky dimenzujte přípojnice pro trojfázovou soustavu:

jmenovité napětí	$U_N =$
jmenovitý zkratový proud	$I_{kN} =$
jmenovitý proud	$I_N =$

Materiálem přípojníc je hliník s parametry:

proudová hustota	$J = 1,5 \text{ A/mm}^2$
modul pružnosti v tahu	$E = 56000 \text{ MPa}$
hustota (měrná hmotnost)	$\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$
maximální dovolené mechanické namáhání	$\sigma = (90 - 120) \text{ MPa}$
elektrická pevnost vzduchu	$E_p = 1 \text{ kV/cm}$

Pro dvojitý systém přípojníc (dvě paralelní přípojnice v jedné fázi) proveďte:

- návrh průřezu a prostorového uspořádání přípojníc
- výpočet průběhů zkratových proudů (viz. úloha č.1 a2.) přípojnícemi
- výpočet koeficientů konečné délky a průřezu (šířky a výšky)
- výpočet sil působících na nejvíce namáhanou přípojnicí
- kontrolu vzniku mechanické rezonance přípojníc
- kontrolu mechanického namáhání přípojníc
- kontrolu průhybu přípojníc

Průběh síly nejvíce namáhané přípojnice znázorněte graficky.

a) Návrh průřezu a prostorového uspořádání přípojníc:

Minimální průřez přípojnice $S_{\min} = \frac{I_N}{2J}$

Z tabulek zvolíme přípojnicí takových rozměrů, aby průřez přípojnice byl větší než S_{\min} .

výška $h = \text{ mm}$
šířka $b = \text{ mm}$
průřez $S = b * h \text{ [mm}^2\text{]}$
(poměr $b : h$ volíme $1 : 5$)

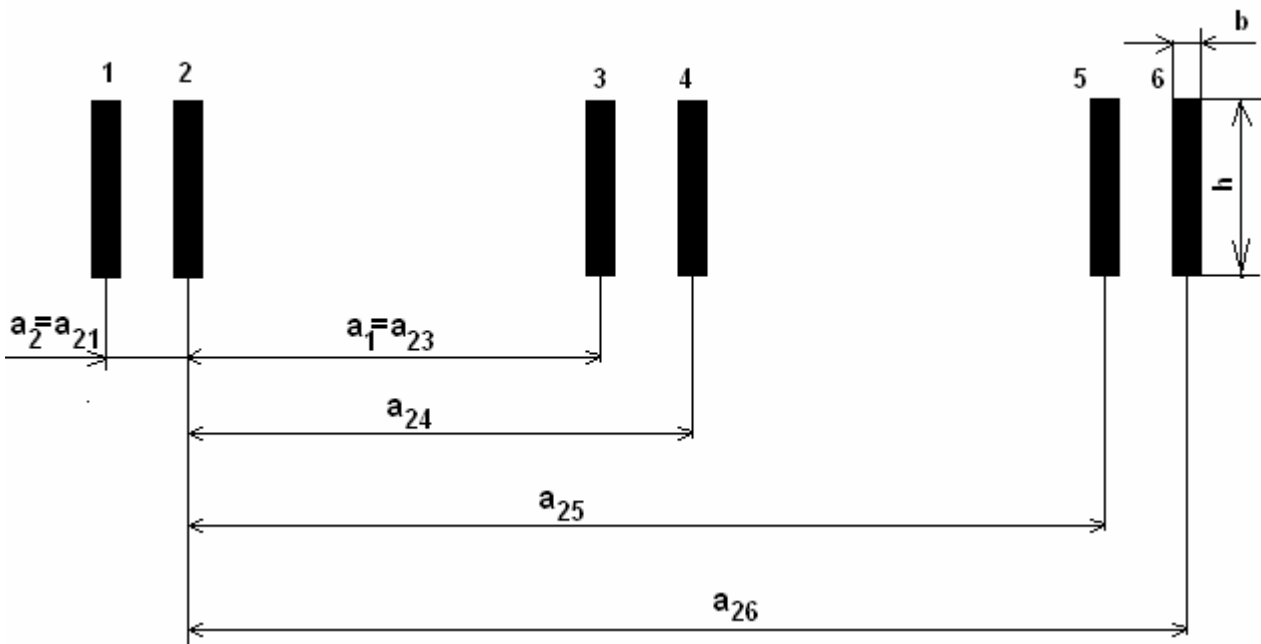
Vzdálenost přípojníc jedné fáze: $a_2 \geq 3.b \text{ [mm]}$

Vzdálenost mezi přípojnicemi sousedních fází tak, aby nebyla překročena el. pevnost

prostředí : $a_1 \geq \frac{\sqrt{2}.U_N}{E_p} + b \text{ [mm]}$

Volíme pak vhodnou větší vzdálenost.

Uspořádání přípojníc:



Rozborem působení sil při průchodu proudu přípojnicemi (pravidlo pravé ruky) dospějeme k závěru, že při tomto paralelním uspořádání přípojníc v jedné fázi je nejvíce namáhána přípojnice č. 2 resp. 5. ve fázi č.1 resp. fázi č.3. Proto je třeba celou soustavu dimenzovat s ohledem na tuto skutečnost. Vzdálenosti jednotlivých přípojníc jsou značeny: a_{ij} , kde i je číslo nejvíce namáhané přípojnice (v našem případě 2.) a j , je pořadové číslo ostatních přípojníc.

b) Výpočet zkratových proudů procházejících vodiči:

Opět dle úlohy č.1 resp.2 stanovíme časové průběhy a velikosti proudů jednotlivými fázemi. Tentokrát, řekněme, bude při vzniku zkratu záporné maximum ve fázi č.1 tj. na přípojnicích **1,2**. Ve fázích 2 a 3 bude právě 50% kladného maxima. Od toho odvodíme časové průběhy zkratových proudů:

$$i_{k1} = i_{k2} = \frac{\sqrt{2}I_{KN}}{2} \left(\sin(\omega t + 270^\circ) - \sin 270^\circ e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad [\text{A}] \quad \text{pro fázi č.1 přípojnice 1,2}$$

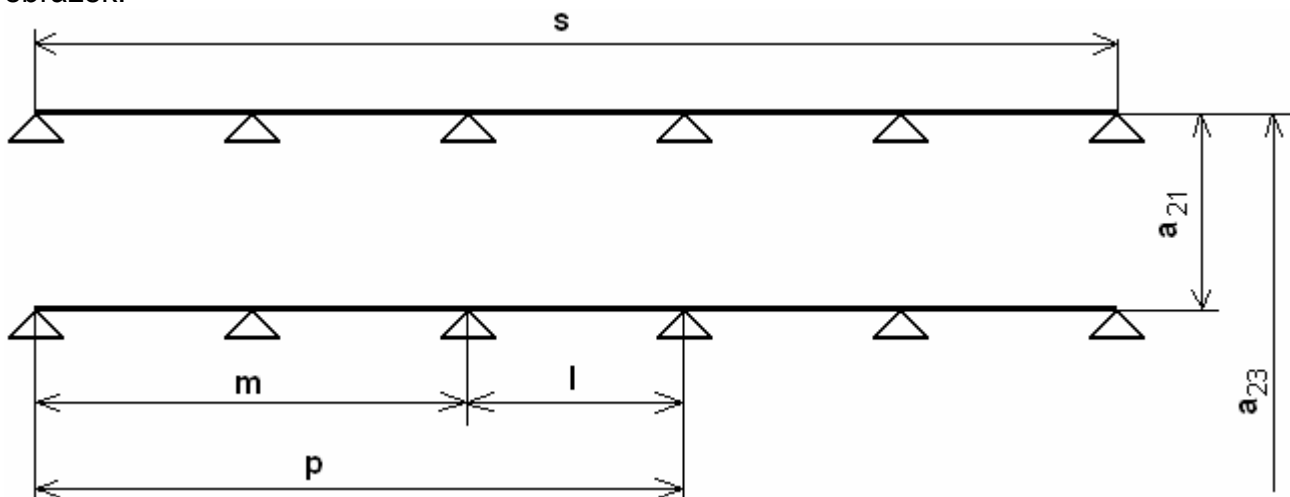
$$i_{k3} = i_{k4} = \frac{\sqrt{2}I_{KN}}{2} \left(\sin(\omega t + 30^\circ) - \sin 30^\circ e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad [\text{A}] \quad \text{pro fázi č.2 přípojnice 3,4}$$

$$i_{k5} = i_{k6} = \frac{\sqrt{2}I_{KN}}{2} \left(\sin(\omega t + 150^\circ) - \sin 150^\circ e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad [\text{A}] \quad \text{pro fázi č.3 přípojnice 5,6}$$

Kde časovou konstantu τ převezmeme z úlohy č.1. – Zapínání do zkratu.

c) Výpočet činitelů konečné délky, šířky a výšky:

Při výpočtu vycházíme z uspořádání přípojnic a jejich rozměrů. Předpokládáme, že síla působící na daný úsek přípojnice ze vzdálenosti větší než pět metrů je zanedbatelná. Z tohoto důvodu bereme jako výpočtovou délku, délku přípojnice 5m. Pro další zjednodušení budou přípojnice podepřeny v pravidelné vzdálenosti 1m. Viz následující obrázek.



- kde
- s** je délka přípojnice (5m)
 - m** je vzdálenost počátku nejmáchaného úseku přípojnice od počátku (2m)
 - l** je vzdálenost podpěr (1m) (délka úseku mezi podpěrami)
 - p** je vzdálenost konce nejmáchaného úseku přípojnice od počátku (3m)
 - n** je posun počátku souřadného systému a počátku přípojnic (zde 0m)

Vzhledem k tomu, že Biot-Savartův zákon platí pro rovnoběžné vodiče nekonečně dlouhé a nekonečně tenké. Zatímco navržené přípojnice mají stanovené rozměry a je třeba tedy vypočítat koeficienty zohledňující tuto skutečnost.

Činitel konečné délky k_d :

$$k_{d2j} = \frac{1}{2} \cdot \frac{a_{2j}}{l} \left[\sqrt{\left(\frac{p-n}{a_{2j}}\right)^2 + 1} - \sqrt{\left(\frac{p-s}{a_{2j}}\right)^2 + 1} - \sqrt{\left(\frac{m-n}{a_{2j}}\right)^2 + 1} + \sqrt{\left(\frac{m-s}{a_{2j}}\right)^2 + 1} \right]$$

kde l je vzdálenost podpěr přípojníc (1m).

Tento činitel vypočteme pro každou přípojnici j (j^12) a tedy vzdálenost a_{2j} .

Tabulka vypočtených hodnot činitelů k_{d2j} :

Činitel	Hodnota
k_{d21}	
k_{d23}	
k_{d24}	
k_{d25}	
k_{d26}	

Činitel konečné výšky k_h :

$$k_{h2j} = \left(\frac{a_{2j}}{h}\right)^2 \left[\frac{2h}{a_{2j}} \arctan \frac{h}{a_{2j}} - \ln \left(1 + \left(\frac{h}{a_{2j}}\right)^2 \right) \right]$$

kde h je výška přípojníc.

Činitel vypočteme pro každou přípojnici j (j^12) a tedy vzdálenost a_{2j} .

Tabulka vypočtených hodnot činitelů konečné výšky k_{h2j} :

Činitel	Hodnota
k_{h21}	
k_{h23}	
k_{h24}	
k_{h25}	
k_{h26}	

Činitel konečné šířky k_b :

$$k_{b2j} = \frac{a_{2j}}{b} \cdot \left[\left(\frac{a_{2j}}{b} + 1 \right) \ln \left(\frac{a_{2j}}{b} + 1 \right) + \left(\frac{a_{2j}}{b} - 1 \right) \ln \left(\frac{a_{2j}}{b} - 1 \right) - 2 \frac{a_{2j}}{b} \cdot \ln \frac{a_{2j}}{b} \right]$$

kde b je šířka přípojníc.

Činitel vypočteme pro každou přípojnicí j ($j=2$) a tedy vzdálenost a_{2j} .

Tabulka vypočtených hodnot činitelů konečné šířky k_{b2j} :

Činitel	Hodnota
k_{b21}	
k_{b23}	
k_{b24}	
k_{b25}	
k_{b26}	

d) Výpočet sil působících na nejvíce namáhanou přípojnicí:

Celková síla působící na nejvíce namáhaný úsek 2, (resp.5.) přípojnice, je součtem všech sil působících od jednotlivých přípojníc:

$$F_2(t) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 2}}^6 F_{2j}(t) \quad [\text{N}]$$

přičemž síly od jednotlivých přípojníc jsou:

$$F_{2j}(t) = 2 \cdot 10^{-7} \frac{l}{a_{2j}} \cdot i_{k2} \cdot i_{kj} \cdot k_{d2j} \cdot k_{h2j} \cdot k_{b2j} \quad [\text{N}]$$

Pozor!!! Vzhledem k tomu, že síla je vektor a má tedy směr, musíme toto zohlednit tím, že vzdálenost a_{21} budeme dosazovat se záporným znaménkem. (Pro tento výpočet máme počátek souřadného systému v ose druhé přípojnice, a tedy vzdálenost a_{21} je se znaménkem (-).)

Určíme maximální sílu F_{2m} kterou je přípojnice namáhána a v jakém čase od vzniku zkratu je přípojnice touto silou namáhána.

e) Kontrola vzniku mechanické rezonance:

Vzhledem k tomu, že ve střídavé elektrifikační soustavě používáme frekvenci **50Hz** kmitá síla frekvencí **100Hz**, a tedy mechanické části rozvodů by měly být dimenzovány,

tak, aby vlastní mechanický rezonanční kmitočet nebyl násobkem výše uvedených frekvencí. Může tedy být nižší než **50Hz** a měl by být vyšší než **200Hz**. Připouští se i možnost **180Hz** a výše. Mechanická rezonance je dána vlastními rozměry zařízení a použitým materiálem. U vodičů daného průřezu a tvaru lze vlastní kmitočet změnit snadno změnou vzdáleností podpěr (izolátorů) tj. vzdáleností l . V našem případě (pokud vlastní frekvence bude v oblasti **50 až 180 Hz**) však nebudeme měnit vzdálenost $l = 1m$, ale budeme měnit rozměry přípojníc, tak abychom se dostali mimo tuto oblast frekvencí. (tyto rozměry pak musíme upravit v celém předchozím výpočtu!!)

Vlastní kmitočet přípojnice je

$$f_0 = 1571 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{G \cdot l^4}} \quad [\text{Hz}] \quad (E \text{ dosadit v Mpa! Viz 1. strana) kde}$$

J - moment setrvačnosti plochy přípojnice spočteme:

$$J = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad [\text{m}^4]$$

G - hmotnost jednoho metru (délka $l = 1m$) přípojnice je

$$G = r \cdot b \cdot h \quad [\text{kg/m}]$$

f) Kontrola mechanického namáhání:

Maximální skutečné namáhání by nemělo překročit hodnoty ze zadání

$$s_{skut} = \frac{M_m}{W_o} \quad [\text{MPa}] \quad \text{kde}$$

M_m - maximální ohybový moment

$$M_m = \frac{1}{8} q_m \cdot l^2 \quad [\text{Nm}]$$

q_m - spojité zatížení způsobené maximální silou F_{2m}

$$q_m = \frac{F_{2m}}{l} \quad [\text{N/m}]$$

W_o - moment odporu v ohybu

$$W_o = \frac{1}{6} b \cdot h^2 \quad [\text{m}^3]$$

g) Kontrola průhybu přípojnic:

Průhyb nejvíce namáhaného úseku přípojnice nesmí překročit 1% vzdálenosti přípojnic sousedních fází a_1

Průhyb přípojnic při zkratu

$$\Delta y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_m l^4}{E \cdot J} \quad [\text{mm}] \quad \text{a v procentech činí } \Delta y_{\%} = \frac{\Delta y}{a_1} \cdot 100 \quad [\%]$$

Závěr:

Průběh síly:

Zadané hodnoty:

	I_N [A]	I_{kN} [kA]	U_n [kV]
1	1250	20	12
2	1600	20	15
3	3150	31,5	12
4	1600	20	22
5	1500	20	12
6	4000	40	12
7	6300	31	17,5
8	1250	20	15
9	2500	31,5	10
10	1500	20	22
11	1300	20	12
12	1400	20	15