



VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektrických strojů a přístrojů



Předmět:
Elektrické přístroje

Protokol č.4

Přechodné děje při zapínání – proudové

Skupina:	
Datum:	

Vypracoval:

--

Zadání:

Pro případ sepnutí obvodu o výkonu $S_n =$ MVA, při účinníku $\cos\varphi =$,
připojeného ke zdroji střídavého napětí $U_N =$ kV, trojfázovým venkovním vedením o
délce $l_v =$ km,

vypočtete a graficky znázorníte:

a) průběh proudu při nesoučasném připojení zátěže na síť.

Doby prodlev jednotlivých sepnutí jsou:

$$Dt_{12} = \text{ms (prodleva mezi sepnutím 1. a 2. fáze)}$$

$$Dt_{23} = \text{ms (prodleva mezi sepnutím 2. a 3. fáze).}$$

b) průběh proudu při současném sepnutí do trojpólového zkratu.

A dále určete:

c) z průběhu zkratového proudu vypínací schopnost vypínače.

Rozbor:

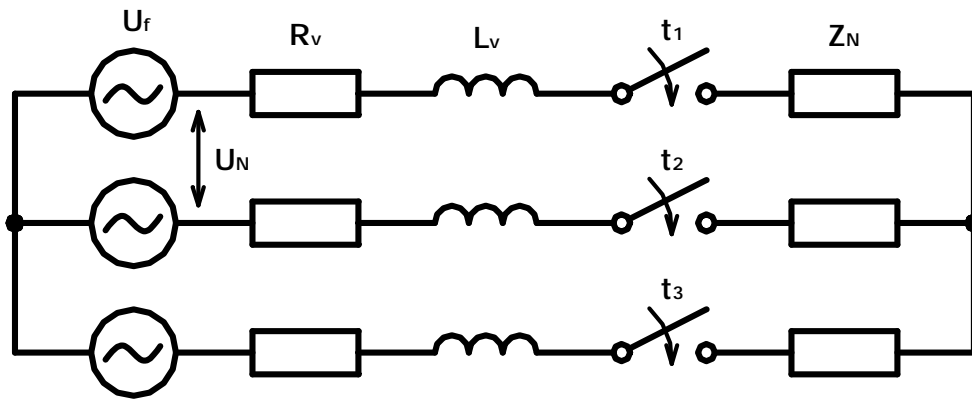
Při určování zapínací, resp. vypínací schopnosti vypínače hledáme hodnotu proudu, pro kterou musíme přístroj navrhnout (zvolit) tak, aby za všech okolností, které mohou v daném obvodu nastat, byl vypínač schopen danou situaci spolehlivě zvládnout. (Bez poškození vypnout či sepnout.) Jde o nalezení maximální hodnoty proudu při spínání jmenovité zátěže (jmenovitý zapínací proud vypínače) a maximální poruchový proud (jmenovitý vypínací proud vypínače – vypínací schopnost).

Z teorie obvodů víme, že v přechodných stavech se kromě ustálené složky proudu projevuje rovněž složka přechodná. Průběh přechodné složky závisí na parametrech obvodu - časové konstantě, která je dána parametry R,L.

Vypracování:

a) Nesoučasné sepnutí zátěže

Na obr.1 je naznačen trojfázový obvod pro nesoučasné sepnutí. Parametry připojovacího vedení jsou označeny R_v a L_v . Parametry zátěže jsou dány impedancí Z_n . Časy t_1, t_2, t_3 jsou okamžiky postupných sepnutí pólů v jednotlivých fázích x, y, z . Časové úseky Dt_{12} a Dt_{23} byly vysvětleny v zadání.



Obr.1. Schéma trojfázového obvodu.

Platí: $t_1 = 0,$ $t_2 = t_1 + Dt_{12},$ $t_3 = t_2 + Dt_{23}$

V dalším kroku určíme parametry obvodu.

$$S_n = 3.U_{fn}.I_{fn} = \sqrt{3}.U_n.I_{fn} \Rightarrow I_{fn} = \frac{S_n}{\sqrt{3}.U_n}$$

Dále určíme :

$$Z_n = \frac{U_{fn}}{I_{fn}} = \frac{U_n}{\sqrt{3}.I_{fn}} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \frac{S_n}{\sqrt{3}.U_n}} = \frac{U_n^2}{S_n}$$

a ze známého vztahu $Z_n = R_n + jX_n$ (pro doplnění $Z_n = \sqrt{R_n^2 + w^2 L_n^2}$)

$$R_n = Z_n \cdot \cos j \quad \text{a} \quad X_n = Z_n \cdot \sin j .$$

Z reaktance X_n a jmenovitého kmitočtu $f=50$ Hz určíme indukčnost zátěže L_n

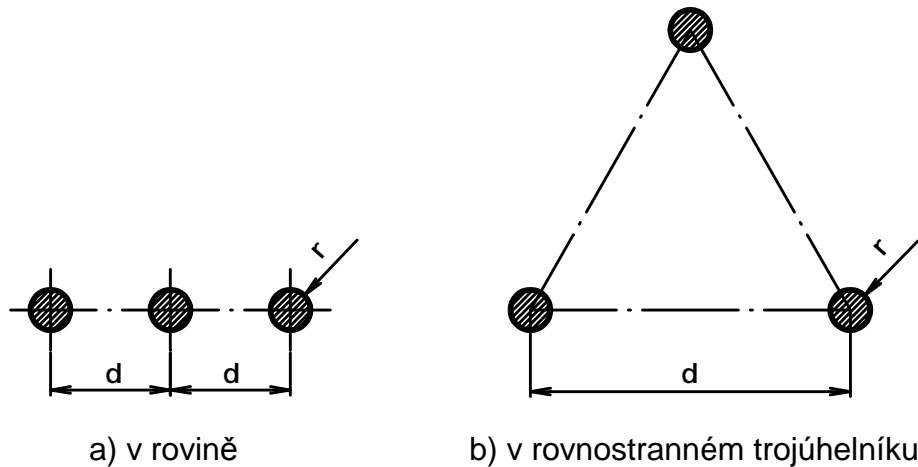
$$L_n = \frac{X_n}{w} \quad \text{kde} \quad w = 2 \cdot p \cdot f .$$

Časová konstanta zátěže pak bude

$$t_z = \frac{L_n}{R_n}$$

Pro určení parametrů vedení musíme nejprve zvolit uspořádání vodičů vedení.

V podstatě máme dvě možnosti uspořádání (obr. 2), standardní v rovině vedle sebe, nebo do rovnostranného trojúhelníka.



Obr.2. Uspořádání vedení.

Pro zadanou délku vedení l_v a vypočtený ustálený proud I_{fn} určíme potřebný průřez vodiče a další parametry vedení. Proudovou hustotu volíme $s = 2-3 \text{ A/mm}^2$

Vypočteme potřebný průřez vodiče $S_v = \frac{I_{fn}}{s}$, z tabulky tab.1 vybereme nejbližší vyšší

průřez lana **ALFE 4**. Pro tento průřez dále z tab.1 odečteme měrný odpor vedení na km r_k [W.km^{-1}] a průměr lana f_v [mm], z něhož určíme poloměr lana r_v .

Z těchto odečtených hodnot vypočteme další potřebné parametry vedení:

odpor vedení R_v $R_v = l_v \cdot r_k$

Indukčnost vedení na km L_k [mH.km^{-1}] a následně indukčnost vedení L_v [mH]. V tomto případě musíme vycházet ze zvoleného typu uspořádání vodičů (dle obr.2)

Pro uspořádání do rovnostranného trojúhelníka platí:

$$L_k = 0,46 \cdot \log \frac{d}{r_e} + 0,05 \quad [\text{mH.km}^{-1}; \text{mm}, \text{mm}] \quad d = \text{vzdálenost}$$

Pro uspořádání v rovině vedle sebe platí:

$$L_k = 0,46 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{2}d}{r_e} + 0,05 \quad [\text{mH.km}^{-1}; \text{mm}, \text{mm}]$$

kde r_e je redukovaný poloměr lana a $r_e = 0,826 \cdot r_v$.

Vzdálenost os lan od sebe d [mm] volíme v rozmezí 200 až 300 mm.

Pak celková indukčnost vedení je	$L_v = L_k \cdot l_v$
reaktance vedení je	$X_v = L_v \omega$
impedance vedení je	$Z_v = R_v + jX_v$

Vlastní výpočet:

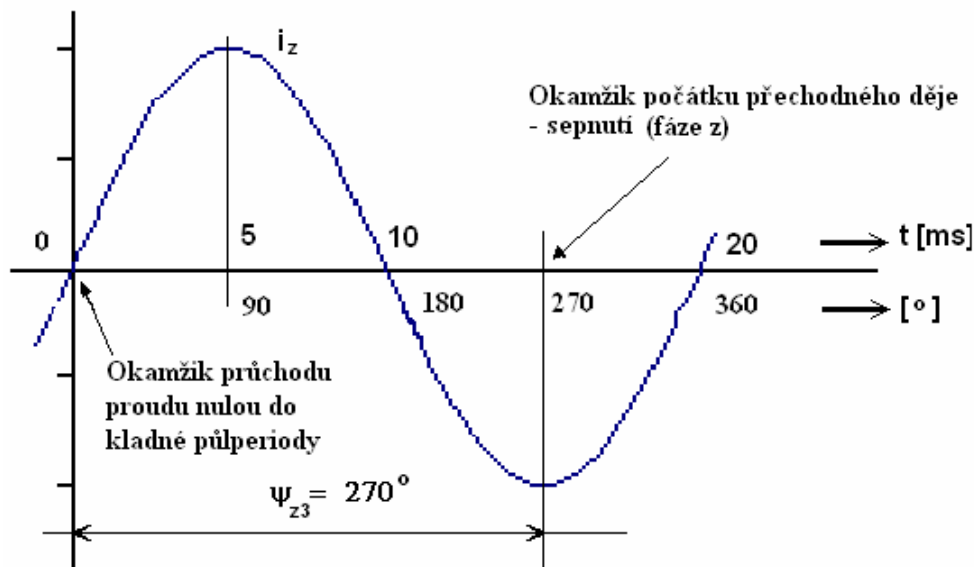
Obecně můžeme pro proudy v jednotlivých fázích obvodu napsat:

$$i_x = I_{fm} \cdot \sin(\omega t + \gamma_x + 120^\circ)$$

$$i_y = I_{fm} \cdot \sin(\omega t + \gamma_y - 120^\circ)$$

$$i_z = I_{fm} \cdot \sin(\omega t + \gamma_z)$$

kde $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$ je posun okamžiku počátků jednotlivých přechodných dějů (sepnutí) ve fázích x, y, z za průchodem ustáleného proudu nulou do kladné půlperiody proudu dané fáze. Obr.3.



Obr.3. Znázornění posuvu γ_{z3} – posuvu okamžiku počátku přechodného děje pro fázi z a sepnutí třetího pólu vypínače

Rozborem postupného spínání fází x, y, z určíme nejnepříznivější okamžik sepnutí.

1. sepnutí ve fázi x (čas t_1) → obvodem neprotéká žádný proud

2. sepnutí ve fázi y (čas t_2) → fázemi x a y začíná protékat sdružený proud i_{xy}

jehož amplituda $I_{mxy} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{mf}$ (proud je poloviční vzhledem k tomu, že protéká zátěžemi Z_n ve fázi x a fázi y zapojenými do serie.

3. sepnutí ve fázi z (čas t_3) → fází z začíná protékat fázový proud jehož amplituda je $I_{mz} = I_{mf} > \frac{\sqrt{3}}{2} I_{mf}$, přičemž v již sepnutých fázích x a y vzniká nový přechodný děj.

Vyplývá z toho, že nejnepříznivější sepnutí bude nejspíše v okamžiku t_3 a to v maximum ustáleného proudu (tj. $y_{z3} = 90^\circ$ nebo $y_{z3} = 270^\circ$). Pro lepší názornost průběhů proudů v jednotlivých fázích volíme sepnutí se zpožděním $y_{z3} = 270^\circ$.

Nyní můžeme napsat posuvy jednotlivých proudů v okamžiku sepnutí fáze z :

$$y_{z3} = 270^\circ \text{ neboli } 3p/2 \text{ [rad],}$$

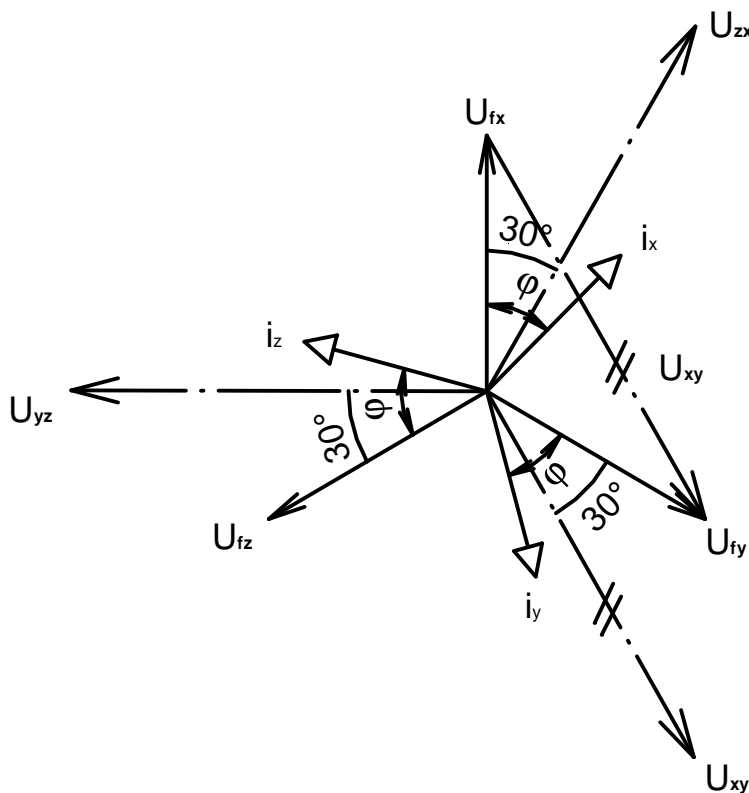
$$y_{y3} = 270^\circ - 120^\circ = 150^\circ \text{ neboli } (3p/2 - 2p/3) \text{ [rad] ,}$$

$$y_{x3} = 270^\circ + 120^\circ = 390^\circ = 30^\circ \text{ neboli } (3p/2 + 2p/3) \text{ [rad] .}$$

Od okamžiku sepnutí fáze z se nyní vrátíme k sepnutí druhého pólu vypínače. Tento proces začal o Dt_{23} dříve než sepnutí třetího pólu. Je zřejmé, že hodnota posuvu druhého sepnutí y_{y2} ve fázi y oproti průchodu proudu nulou fáze y do kladné půlperrody, byl-li úhel posuvu $y_{y3} = 150^\circ$, musí být menší o úhel odpovídající času Dt_{23} . Tj. $\Delta y_{y23} = \frac{360 \cdot \Delta t_{23}}{20}$ [°] či

$$\Delta y_{y23} = \frac{2p \cdot \Delta t_{23}}{20} \text{ [rad]}$$

Dále je třeba si uvědomit, že při sepnutí druhého pólu spínáme obvod se sdruženým napětím, které je fázově posunuto oproti napětí fázovému o úhel 30° ($\pi/6$) (obr.4).



Obr.4. Fázový posuv sdruženého proudu a napětí oproti fázovému proudu a napětí.

Vzhledem k zachovanému účinníku jsou stejně posunuty i proudy a tedy:

$$y_{y2} = y_{y3} - \Delta y_{y23} + 30^\circ$$

$$y_{x2} = y_{y2} \quad \text{protože oběma fázemi protéká stejný proud velikosti } I_{mxy2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{mf}$$

Dále je třeba si uvědomit, že v okamžiku sepnutí třetího pólu, dosáhl proud ve fázích **x** a **y** určité hodnoty. Tato hodnota je nenulovou počáteční podmínkou pro výpočet proudu v těchto fázích po sepnutí třetího pólu.

Můžeme tedy psát:

1. sepnutí prvního pólu (fáze x) : časový úsek Dt_{12} od t_1 do t_2 , $i_{x1} = i_{y1} = i_{z1} = 0$,

2. sepnutí druhého pólu (fáze y) : časový úsek Dt_{23} od t_2 do t_3 , $i_{z2} = 0$

$$i_{x2}(t) = -i_{y2}(t)$$

$$i_{y2}(t) = I_{mxy2} \left[\sin(\omega t + y_{y2}) - \sin(y_{y2}) \cdot e^{-\frac{t}{T}} \right]$$

3. sepnutí třetího pólu (fáze z) : časový úsek od t_3 do ustáleného stavu (teoreticky do ∞ , prakticky do cca $5t$).

$$i_{z3}(t) = I_{mf} \left[\sin(\omega t + y_{z3}) - \sin(y_{z3}) \cdot e^{-\frac{t}{T}} \right]$$

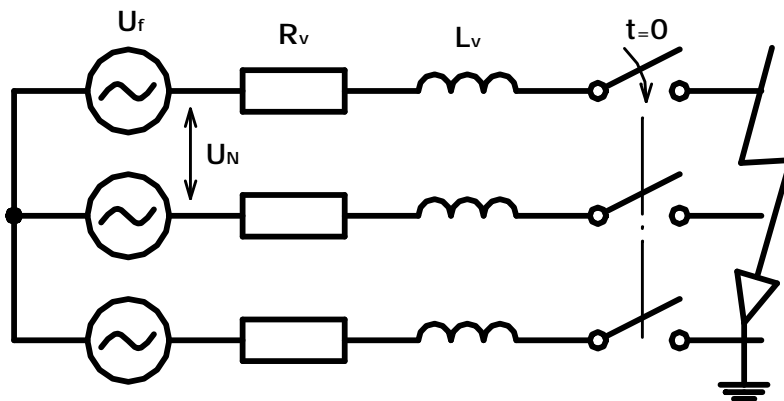
$$i_{y3}(t) = I_{mf} \left[\sin(\omega t + y_{y3}) - \sin(y_{y3}) \cdot e^{-\frac{t}{T}} \right] + i_{y2}(t_3) \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

$$i_{x3}(t) = I_{mf} \left[\sin(\omega t + y_{x3}) - \sin(y_{x3}) \cdot e^{-\frac{t}{T}} \right] + i_{x2}(t_3) \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

kde $i_{x2}(t_3)$ a $i_{y2}(t_3)$ jsou hodnoty proudu dosažené ve fázích **x,y** v okamžiku sepnutí třetího pólu (fáze **z**).

b) současné sepnutí do zkratu

Na obr. 5 je uvedeno schéma řešeného obvodu pro případ vzniku trojpólového zemního zkratu včetně obvodových veličin.



Obr.5 Trojpólový zemní zkrat

Vznik zkratu můžeme interpretovat jako současné sepnutí všech tří fází v jednom časovém okamžiku $t = 0$. Přitom můžeme zanedbat hodnoty proudů procházející již zapnutým obvodem vzhledem k amplitudě zkratového proudu pro kterou platí:

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k}$$

Při výpočtu zkratových poměrů vycházíme jen z impedance vedení (svorkový zkrat). Ze stejných hodnot (tj. parametrů vedení) určíme i časovou konstantu přechodného děje při zkratu (porovnej s časovou konstantou při zapínání).

Vlastní řešení realizujte identicky jako při spínání obvodu, tj. okamžik vzniku zkratu položte do okamžiku průchodu proudu fáze z maximem záporné půlvlny.

Poznámky:

Vlastní zadané hodnoty zvolte z tab. 1

Parametry připojovacího vedení zvolte z tab. 2

Tabulka č.1

	Přechodné děje při zapínání				Přístroje 1.	
	S(MVA)	cos φ	U(kV)	I_v (kA)	Δt_{12} (ms)	Δt_{23} (ms)
1	25	0,7	22	4,5	2,5	4,5
2	30	0,7	22	0,5	2,5	4,5
3	50	0,75	35	10	2,5	5
4	60	0,75	35	8	2,5	4
5	55	0,8	35	8	2,5	5
6	20	0,7	22	0,2	2,5	4
7	15	0,8	22	0,3	2,5	5,5
8	25	0,75	22	4	2,5	5
9	30	0,8	22	0,8	2,5	4
10	50	0,8	35	8	3	5

Tabulka č.2

Jmenovitý průřez lana [mm ²]	Duše		Plášť		Průměr lana [mm]	Hmotnost 1 km délky [kg]	Největší odpor 1km délky [Ω]	Zaručená pevnost lana [N]
	Matemat. průřez [mm ²]	Počet drátů	Matemat. průřez [mm ²]	Počet drátů				
50	14,07		50,32		11,20	280,8	0,476	25000
70	17,81		76,34		12,60	355,4	0,376	31600
95	21,99		94,25		14,00	438,8	0,305	39000
120	27,83	1+6	119,28		15,75	555,3	0,241	49400
150	35,75		153,21	12+18	17,85	713,3	0,188	62750
185	43,10		184,73		19,60	860,0	0,156	74800
210	49,48		212,06		21,00	987,2	0,136	85900
240	56,74		241,06		22,55	1126,9	0,119	97100
300	75,55	1+6	305,36		25,65	1456,1	0,094	126950
350	85,95	+12	340,23		27,20	1636,8	0,085	143350