


Výpočet mechanických účinků zkratu na zařízení VN, VVN

 SPIE SPIE Elektrovod, a.s. Odštěpný závod Brno	Zodp. projektant:	Ing. PEK	Datum:	Paré:
	Prověřil:	Ing. Mitrič	07/2021	
	Vypracoval:	Ing. Mitrič	Číslo stavby:	
	Zakázkové číslo:	2 21 20 047	102 002 640	
Stavba: TR Domoradice - modernizace				Příloha: D.2.04-05
Soubor: PS04 – Transformátory 110/22 kV				
Název: Výpočet mechanických účinků		Stupeň: DPS		

Výpočet mechanických účinků zkratu na zařízení VN, VVN a ZVN s trubkovými vodiči

1. Technické parametry

Přípojnice 22 kV, stanoviště T10x

Soustava	3MF/110/22 kV T10x
Nejvyšší provozní napětí	$U_m = 123 \text{ kV}$
Napětí jmenovité	$U_n = 110 \text{ V}$
Frekvence	$f = 50 \text{ Hz}$
Proud přípojníc jmen.	$I_n = 1250 \text{ A}$
Počáteční zkrat. proud	$I_{k3} = 20 \text{ kA}$
Nárazový zkrat. proud	$I_{dyn} = 50 \text{ kA}$
Doba trvání zkratu	$T_{k1} = 1 \text{ s}$
Prostředí	AB8
Námrazová oblast	II
Větrná oblast	II
Rozpětí	$l = 8,3 \text{ m}$
Uspořádání podpěr	$n = 0$
Fázová rozteč	$a_m = 0,6 \text{ m}$
Trubkový vodič	
Typ vodiče	AWG 1018/17 10C10
Vnější průměr	$D = 100 \text{ mm}$
Šířka stěny	$s = 10 \text{ mm}$
Délka (rozpětí)	$l = 8,3 \text{ m}$
Tlumící lano	

Podpěrný bod	A	B
Způsob upevnění vodiče na koncích	PI	PI
	pevně	kluzně
Dovolený tah PI	$F_A = 8,00 \text{ kN}$	
Dovolený tah PI	$F_B = 8,00 \text{ kN}$	
Výška PI	$h_A = 0,35 \text{ m}$	
Výška PI	$h_B = 0,35 \text{ m}$	
Výška ocel. stoličky A	$h_{SA} = 0,3 \text{ m}$	
Výška ocel. stoličky B	$h_{SB} = 0,3 \text{ m}$	
Výška svorky	$h_{SV} = 0,15 \text{ m}$	
Celková výška poz. A	$h_{CA} = 0,8 \text{ m}$	
Celková výška poz. B	$h_{CB} = 0,8 \text{ m}$	
Počáteční teplota trub	$\Theta_b = 80 \text{ °C}$	
Maximální teplota trub	$\Theta_e = 180 \text{ °C}$	
Jmenovitý proud	$I_n = 3380 \text{ A}$	
Průřez vodiče	$A = 2827,4 \text{ mm}^2$	
Hmotnost jednotková	$m' = 7,63 \text{ kg.m}^{-1}$	
Modul pružnosti	$E = 70 \text{ kN.mm}^{-2}$	
Mez pružnosti	$R_{p0,2} = 120 \text{ N.mm}^{-2}$	
	min	max

2. Výpočet tepelných účinků

Poznámka: * - dle ČSN EN 60865-1, Tab. 3
** - dle ČSN EN 755-2

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Hustota jmenovitého krátkodobého proudu	S_{thr}	77,31	A.mm^{-2}	
Ekvivalentní oteplovací proud	I_{th}	20,37	kA	
Hustota ekvivalentního oteplovacího proudu	S_{th}	7,21	A.mm^{-2}	
Teplota vodiče po zkratu	Θ_f	89,3	°C	
Podmínka	$S_{th} < S_{thr}$	JE splněna!		
Hustota ekvivalentního krátkodobého oteplovacího proudu je menší než hustota jmenovitého krátkodobého proudu.				

3. Výpočet (dle ČSN EN 60865-1 idt. IEC 865-1:1993)

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jed.	Poznámky
Počáteční souměrný rázový zkratový proud	I_{k3}''	20	kA	3-fázový
Maximální rázový zkratový proud	i_{p3}	51,19	kA	3-fázový
Koeficient souměrného rázového zkratového proudu	k	1,81	-	dle ČSN EN 60909-1
Maximální síla na střední vodič	F_{m3}	6,280	kN	
Zjednodušená metoda (dle ČSN EN 60865-1)				
Ohybové namáhání ve vodiči bez vlivu automatického 3f OZ				
Výsledný součin koeficientů	$V_F \cdot V_r$	1,0	-	
Maximální ohybové namáhání	σ_m	112,5	N.mm^{-2}	
Mez kluzu	σ_{tot}	168,6	N.mm^{-2}	$\sigma_{tot} = q' \cdot R_{p0,2min}$
pokud $\sigma_{tot} \geq \sigma_m$				
168,6 \geq 112,5				VYHOVUJE
Je splněna podmínka dle ČSN EN 60865-1 rov.(11).TRUBKOVÝ VODIČ VYHOVUJE ZKRATOVÉMU PROUDU.				
Ohybové síly na podpěrkách bez vlivu automatického 3f OZ				
Výsledný součin koeficientů	$V_F \cdot V_r$	1,00	-	
Dynamická síla na PI - pevně	F_{dA}	3,140	kN	
Dynamická síla na PI - kluzně	F_{dB}	3,14	kN	
Ohybový moment konstrukce v patě PI	M_{IA}	1,57	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky A	M_{SA}	2,51	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě PI	M_{IB}	1,57	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky B	M_{SB}	2,51	kNm	
Ohybové namáhání ve vodiči způsobené 3f OZ				
Výsledný součin koeficientů	$V_F \cdot V_r$	1,8	-	
Maximální ohybové namáhání	σ_m	202,43	N.mm^{-2}	
Mez kluzu	σ_{tot}	168,6	N.mm^{-2}	$\sigma_{tot} = q' \cdot R_{p0,2min}$
pokud $n_0 \geq \sigma_m$				
168,6 \geq 202,4				NEVYHOVUJE
NENÍ splněna podmínka dle ČSN EN 60865-1 rov.(11). TRUBKOVÝ VODIČ NEVYHOVUJE ZKRATOVÉMU PROUDU.				

Ohybové síly na podpěrkách způsobené 3f OZ					
Výsledný součin koeficientů		$V_F \cdot V_r$	1,00	-	
Dynamická síla na	PI - pevně	F_{dA}	3,140	kN	
Dynamická síla na	PI - kluzně	F_{dB}	3,14	kN	
Ohybový moment konstrukce v patě	PI	M_{IA}	1,57	kNm	
Ohybový moment konstrukce patě podpěrky A		M_{SA}	2,51	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě	PI	M_{IB}	1,57	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky B		M_{SB}	2,51	kNm	

Podrobná metoda (dle ČSN EN 60865-1)					
Ohybové namáhání ve vodiči bez vlivu automatického 3f OZ					
Vlastní kmitočet hlavního vodiče		f_c	3,715	Hz	
Výsledný součin koeficientů		$V_F \cdot V_r$	0,45	-	
Maximální ohybové namáhání		σ_m	50,803	N.mm ⁻²	
Mez kluzu		σ_{tot}	168,6	N.mm ⁻²	$\sigma_{tot} = q \cdot R_{p0,2min}$
pokud $\sigma_{tot} \geq \sigma_m$					
168,6 \geq 50,8					VYHOVUJE
Je splněna podmínka dle ČSN EN 60865-1 rov.(11).TRUBKOVÝ VODIČ VYHOVUJE ZKRATOVÉMU PROUDU.					

Ohybové síly na podpěrkách bez vlivu automatického 3f OZ					
Výsledný součin koeficientů		$V_F \cdot V_r$	0,51	-	
Dynamická síla na	PI - pevně	F_{dA}	1,594	kN	
Dynamická síla na	PI - kluzně	F_{dB}	1,59	kN	
Ohybový moment konstrukce v patě	PI	M_{IA}	0,80	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky A		M_{SA}	1,27	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě	PI	M_{IB}	0,80	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky B		M_{SB}	1,27	kNm	

Ohybové namáhání ve vodiči způsobené 3f OZ					
Výsledný součin koeficientů		$V_F \cdot V_r$	0,77	-	
Maximální ohybové namáhání		σ_m	86,08	N.mm ⁻²	
Mez kluzu		σ_{tot}	168,6	N.mm ⁻²	$\sigma_{tot} = q \cdot R_{p0,2min}$
pokud $\sigma_{tot} \geq \sigma_m$					
168,6 \geq 86,1					VYHOVUJE
Je splněna podmínka dle ČSN EN 60865-1 rov.(11).TRUBKOVÝ VODIČ VYHOVUJE ZKRATOVÉMU PROUDU.					

Ohybové síly na podpěrkách způsobené 3f OZ					
Výsledný součin koeficientů		$V_F \cdot V_r$	0,86	-	
Dynamická síla na	PI - pevně	F_{dA}	2,700	kN	
Dynamická síla na	PI - kluzně	F_{dB}	2,70	kN	
Ohybový moment konstrukce v patě	PI	M_{IA}	1,35	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky A		M_{SA}	2,16	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě	PI	M_{IB}	1,35	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky B		M_{SB}	2,16	kNm	

Vyhodnocení výsledků				
Název	Ozn.	Zjednodušená metoda	Podrobná metoda	Jed.
a) bez 3f OZ				
Vypočítané maximální ohybové napětí	σ_m	112,460	50,803	N.mm ⁻²
Podpěrný bod A vč. (PI) musí vydržet nárazovou (dynamickou) ohybovou sílu	F_{dA}	3,140	2,277	kN
Podpěrný bod B vč. (PI) musí vydržet nárazovou (dynamickou) ohybovou sílu	F_{dB}	3,140	2,277	kN
Minimální zaručená pevnost podněho bodu B (koef. bezpečnosti) 1,3	F_{dBm}	4,082	2,959	kN
b) s vlivem 3f OZ				
Vypočítané maximální ohybové napětí	σ_m	202,428	86,077	N.mm ⁻²
Podpěrný bod A vč. (PI) musí vydržet nárazovou (dynamickou) ohybovou sílu	F_{dA}	3,140	3,857	kN
Podpěrný bod B vč. (PI) musí vydržet nárazovou (dynamickou) ohybovou sílu	F_{dB}	3,140	3,857	kN
Minimální zaručená pevnost podněho bodu B (koef. bezpečnosti) 1,3	F_{dBm}	4,082	5,014	kN

Celkové zatížení s vlivem 3f OZ				
Celkové zatížení	PI (bod A)	F_{st+dA}	3,752	4,469 kN
Celkové zatížení	PI (bod B)	F_{st+dBm}	4,694	5,626 kN

Závěr				
Výpočet mechanických účinků na zařízení VVN a ZVN s trubkovými vodiči při působení zkratového proudu s vlivem a bez vlivu třífázového opětovného zapnutí proveden dle normy ČSN EN 60865-1.				
Výpočtem bylo ověřeno, že trubkový vodič 100 / 10 VYHOVUJE počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu 20 kA. Podpěrný bod A VYHOVUJE ,podpěrný bod B VYHOVUJE nárazové (dynamické) ohybové síle vyvolané třífázovým zkratovým proudem s vlivem OZ vypočítané podrobnou metodou.				

Výpočet dovoleného průhybu trubkového vodiče a maximální délky s přídatnou zátěží

1. Technické parametry

Přípojnice 22 kV, stanoviště T10x

Typ vodiče	AW-10T/11T-10K10
Vnější průměr	D = 100 mm
Šířka stěny	s = 10 mm
Rozpětí	l = 8,3 m
Výška nad terénem	h = 7 m
Tlumicí lano	A10
Typ vodiče	352-A1/359-S11A
Hmotnost jednotková	$m'_{stl} = 1,4622 \text{ kg.m}^{-1}$
Množství lana v trubce	$\Sigma = 11,07 \text{ m}$
Přídavná zátěž, svorky	$m'_{pr} = 4 \text{ kg}$

Průřez vodiče	A = 2827,4 mm ²
Hmotnost jednotková	$m' = 7,63 \text{ kg.m}^{-1}$
Modul pružnosti	E = 70 kN.mm ⁻²
Mez pružnosti	$R_{p0,2} = 120 \text{ min } 120 \text{ max N.mm}^{-2}$ **

Poznámka: ** - dle ČSN EN 755-2

2. Vnější vlivy

Námrazová oblast	N2
Větrová oblast	II

Atm. podmínky v okolí	A18
Nadmorská výška	AC1

3. Výpočet průhybu, maximální délky

Konstanty	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Tíhové zrychlení	g_n	9,80998	m.s ⁻²	
Reynoldsovo číslo	Re	4,22	-	
Referenční rychlost větru	v_r	25,0	m.s ⁻¹	

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Moment setrvačnosti trubky	J	2,90E-06	m ⁴	
Modul průřezu ohybu	W	5,80E-05	m ³	
Statická síla na vodič od vlastní tíhy trubky a zátěže	P_V	79,58	N.m ⁻¹	
Jednotková tíha tlumících lan	P_{tl}	21,58	N.m ⁻¹	
Maximální průhyb trubky	Y_{max}	12,79	mm	
Jednotková tíha námrazy	P_N	29,80	N.m ⁻¹	
Maximální průhyb trubky s námrazou	Y_{maxN}	16,56	mm	
Horizontální účinek větru	P_W	16,02	N.m ⁻¹	ČSN EN 1991-1-4
Současné působení tíhy, námrazy a větru	P_A	131,93	N.m ⁻¹	
Maximální průhyb trubky s námrazou při působení větru	Y_{maxA}	16,68	mm	
Maximální délka trubky zatížená vlastní tíhou	l_V	14,66	m	
Maximální délka trubky zatížená vlastní tíhou + tlumící lano	l_{Vtl}	13,53	m	
Maximální délka trubky (vlastní tíha + lano + námraza)	l_{VN}	12,42	m	
Maximální délka trubky (vlastní tíha + lano + námraza + vítr)	l_A	12,38	m	

4. Délková roztažnost

Tepelná délková roztažnost 25 °C	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
pro teplotu v dolní mezi -33 °C je prodloužení	l_{min}	8,289	m	(rozdíl 11 mm)
pro teplotu v horní mezi 40 °C je prodloužení	l_{max}	8,303	m	(rozdíl 3 mm)
Relativní prodloužení	ϵ	0,17	%	

Závěr

Pro dimenzování trubkových přípojníc na dovolený průhyb od vlastní tíhy a zatížením vnějšími vlivy se zohledňuje pravidlo, podle kterého nemá být maximální průhyb od vlastní tíhy větší než 1/150 délky.

Výpočet ověřil, že trubkový vodič o průměru 100 / 80 s uvažovaným rozpětím 8,3 metrů, je menší než vypočtená maximální délka trubky, zatížená vlastní tíhou a námrazou. Průhyb je menší než 1/150 délky, proto navrhované rozpětí bez použití podpěr daným podmínkám **VYHOVUJE.**