



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Doprava

Ministerstvo dopravy
Státní fond dopravní
infrastruktury



			ČÍSLO SOUPRAVY:
1	11/2018	Náhrada balancérů statickými měniči	
REVIZE Č.	DATUM	ZMĚNA	



SUDOP BRNO, spol. s r.o.
Kounilcova 26
611 36 Brno

OBJEDNAVATEL:	SŽDC, s.o., Dílžďená 1003/7, 110 00 Praha 1 Stavební správa východ (organizační jednotka)		tel. : +420 972 625 804 E-mail: sudop@sudop-brno.cz	
PROFESNÍ SKUPINA:	24 SILNOPROUD	VEDOUcí PROF. SKUPINY ING. JAN ZÁŘECKÝ <i>Galuch</i>	GENERÁLNÍ ŘEDITEL Ing. Kamil Chmela	
ODPOVĚDNÝ PROJ. ZAKÁZKY Ing. Radoslav Molák v.r.	ODPOVĚDNÝ PROJ. PS, SO ING. VÍTĚZSLAV ŠIMÁČEK <i>Šimáček</i>	NAVRHL, VYPRACOVAL ING. VÍTĚZSLAV ŠIMÁČEK <i>Šimáček</i>	KONTROLOVAL ING. PETR KORTYŠ <i>Kortyš</i>	
KRAJ: Olomoucký, Zlínský	POVĚŘENÝ OÚ: Otrokovice		STUPEŇ: DÚR	
Změna trakční soustavy na AČ 25 kV, 50 Hz v úseku Nedakonice - Říkovice D.3.3,5,6 Silnoproudá technologie TNS, stanic VN/NN a stanic 6kV			ZAK. ČÍSLO 18059-01-1218	ARCH. ČÍSLO 2018240035
			MĚŘITKO	POČET FORMÁTŮ
			DATUM: 11/2018	
Výpočet kompenzace rozvodu 6kV, 50Hz			ČÁST DOKUM. D.3.3,5,6	PŘÍLOHA 21

**Návrh kompenzačních tlumivek, kontrola
rezonancí pro kabely
6 kV, 50 Hz v úseku
Otrokovice - Říkovice**

Obsah:

Zadání.....	3
Teoretický rozbor.....	3
Vstupní podklady.....	3
Vstupní údaje pro analýzu.....	4
Vypočítané hodnoty pro simulaci v programu PSpice 9.1.....	4
Výpočet kompenzace.....	5
Konfigurace obvodu.....	5
1. TNS Otrokovice-TNS Nedakonice.....	6
2. TNS Otrokovice-TNS Říkovice.....	8
3. TNS Říkovice-TNS Prosenice.....	10
4. TNS Říkovice-TNS Grygov.....	12
5. TNS Říkovice-TNS Otrokovice.....	14
Závislost řádu rezonanční frekvence na délce kabelu 6kV.....	15
Závěr.....	16
Literatura.....	17

Zadání

Provést ověření rezonancí na kabelu 6 kV, 50 Hz v úseku Otrokovice - Říkovice, vypočítat jalový výkon kabelů, navrhnout vhodné kompenzační tlumivky, případně rozladovací L-C obvody.

Teoretický rozbor

Kabelové rozvody 6 kV, 50 Hz v sítích SŽDC s.o. jsou určeny především k napájení zabezpečovacích zařízení a v posledních letech také k napájení železničních uzlů. Jsou napájeny z transformátorů 25/6 kV, které jsou připojeny na přípojnice 25 kV trakčních napájecích stanic (TNS). Na tuto přípojnici je rovněž připojena rozvodna 27 kV, 50 Hz pro napájení AC trakční soustavy.

Na rozdíl od TNS 3kV DC, kde zdrojem proudových harmonických je trakční usměrňovač (11., 13. popř. 23., 25. harmonická) je zde zdrojem proudových harmonických hnací vozidlo (HV). Hnací vozidla AC soustavy lze z hlediska EMC charakterizovat takto:

- HV s diodovým trakčním měničem, které se vůči soustavě chovají jako generátory proudových harmonických, jejichž spektrum v trakčně ustáleném stavu obsahuje složky všech lichých harmonických (3., 5., 7., atd.) bez stejnosměrné složky, průměrný účinník leží hluboko pod požadovanou neutrální hodnotou (0,95 – 1,0 IND.)
- HV s fázově řízeným trakčním měničem, který generuje proudové harmonické stejných řádů (3., 5., 7., atd.), avšak podstatně větší hodnoty, účinník je ještě horší než u HV s diodovým měničem
- HV vybavená čtyřkvadrantovým trakčním měničem, který vykazuje vůči soustavě charakter lineárního spotřebiče se zanedbatelným spektrem proudových harmonických, účinník se blíží 1, navíc umožňuje rekuperaci brzdné energie do sítě

Tyto proudové harmonické způsobují na straně 25 kV napět'ové harmonické (Ohmův zákon). Velikost těchto harmonických je závislá na zatížení HV (velikosti odebíraného proudu) a na velikosti impedance napájecí sítě. Přes transformátor 25/6 kV se můžou dostat tyto harmonické do kabelového rozvodu 6 kV, 50 Hz a způsobit v něm nebezpečné rezonance, které mohou ovlivnit funkčnost zabezpečovacích zařízení (výpadky jistících prvků a přerušení dodávky proudu pro releová zabezpečovací zařízení zkreslením tvaru sinusovky napětí).

Vstupní podklady

Z transformátorů TZ 25/6 kV jsou napájena rozvodny 6 kV TNS Otrokovice a TNS Říkovice. Z TNS Otrokovice je možno napájet kabelový rozvod 6 kV na dva směry, TNS Nedakonice a TNS Říkovice. Z TNS Říkovice je možno napájet kabelový rozvod 6 kV na tři směry, TNS Otrokovice, TNS Prosenice a TNS Grygov.

Navrhovaný výkon transformátoru TZ: 250 kVA, $u_k=3\%$, tento transformátor bude použit na obou výše uvedených trakčních napájecích stanicích.

Odběry pro zabezpečovací zařízení mají nárazový charakter a zpravidla nedosahují v daném úseku vyšší soudobosti než 0,6. S touto soudobostí je též počítáno při návrhu výkonů transformátorů.

- PROTOKOL O ZKOUŠCE měření parametrů FKZ v KNS Nedakonice č. Z15003

Vstupní údaje pro analýzu

a) TNS Otrokovice

- parametry kabelu 6-AYKCY
 $s = 50 \text{ mm}^2$
 $R = 0,64 \text{ } \Omega/\text{km}$
 $L = 0,346 \text{ mH/km}$
 $C = 0,560 \text{ } \mu\text{F/km}$
- parametry transformátoru
 $S_{nT} = 250 \text{ kVA}$
 $u_k = 3 \text{ } \%$
 $p = 25/6$

b) TNS Říkovice

- parametry kabelu 6-AYKCY
 $s = 50 \text{ mm}^2$
 $R = 0,64 \text{ } \Omega/\text{km}$
 $L = 0,346 \text{ mH/km}$
 $C = 0,560 \text{ } \mu\text{F/km}$
- parametry transformátoru
 $S_{nT} = 250 \text{ kVA}$
 $u_k = 3 \text{ } \%$
 $p = 25/6$

Vypočítané hodnoty pro simulaci v programu PSpice 9.1

- náhradní indukčnost transformátoru 25/6 kV
 $L_{T250} = 13,75 \text{ mH}$

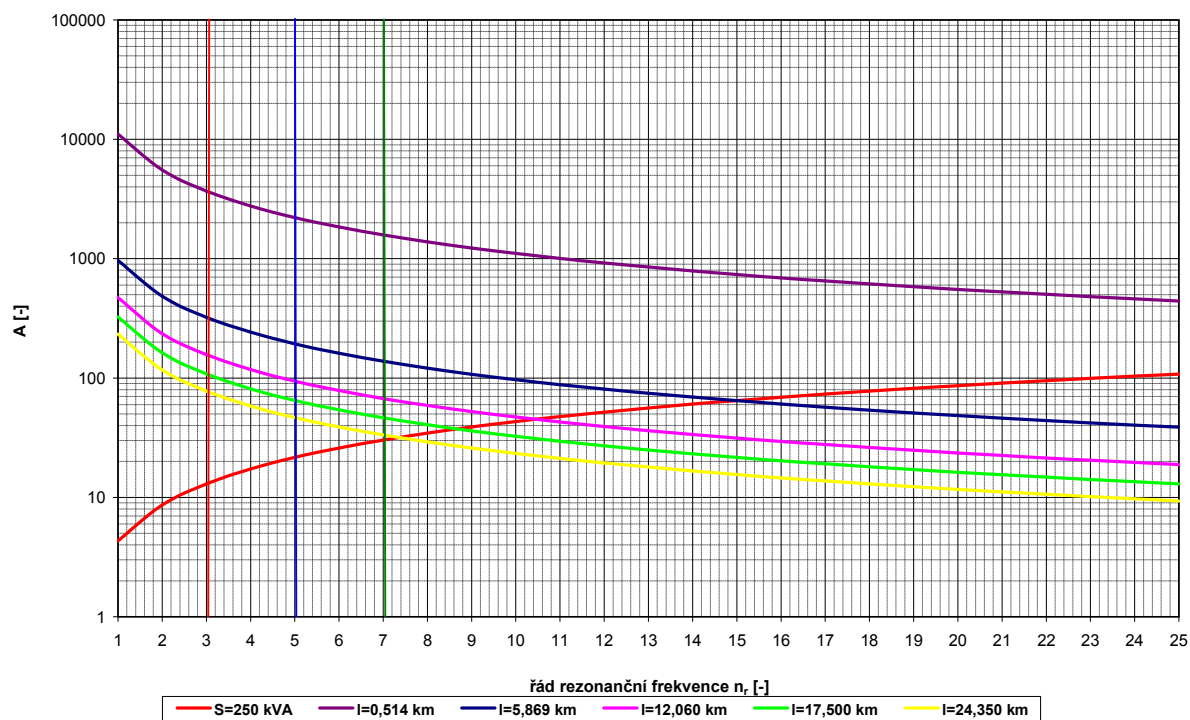
Výpočet kompenzace

Úsek	délka [km]	Q_C [kvar]	Q_L [kvar]
TNS Otrokovice-STS 723	0,514	3,3	3,5
STS 723-STS 719	5,355	33,9	34,0
STS 719-STS 713	6,191	39,2	40,0
STS 713-STS 710	5,440	34,5	35,0
STS 710-TNS Nedakonice	6,850	43,4	44,0
TNS Otrokovice-STS 729	5,725	36,3	37,0
STS 729-STS 734	7,375	46,7	47,0
STS 734-TNS Říkovice	7,030	44,5	45,0
TNS Říkovice-STS 902	4,865	30,8	31,0
STS 902-STS 901	1,074	6,8	7,0
STS 901-STS 900	1,281	8,1	8,5
STS 900-STS 217	0,570	3,6	4,0
STS 217-TTS 216	0,880	5,6	6,0
TTS 216-STS 201A	7,015	44,5	45,0
STS 201A-TNS Prosenice	0,695	4,4	4,5
TTS 216-STS 223	2,660	16,8	17,0
STS 223-PTS 227	2,320	14,7	15,0
PTS 227-STS 233	3,680	23,3	24,0
STS 233-TNS Grygov	5,340	33,8	39,0

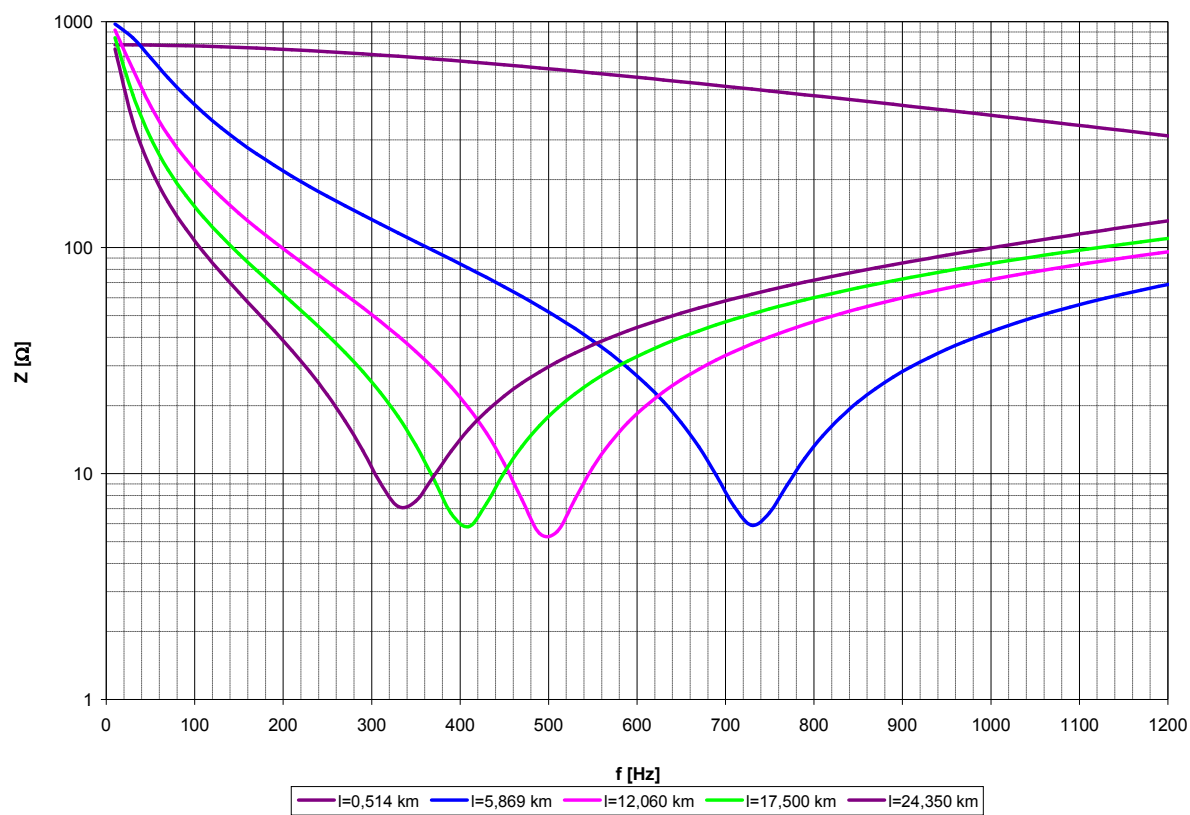
Konfigurace obvodu

Náhradní schéma obvodu se skládá z náhradní indukčnosti transformátoru TZ 25/6 kV a náhradních parametrů kabelů. Tyto prvky tvoří sériový rezonanční L-C obvod.

1. TNS Otrokovice-TNS Nedakonice



obr.1

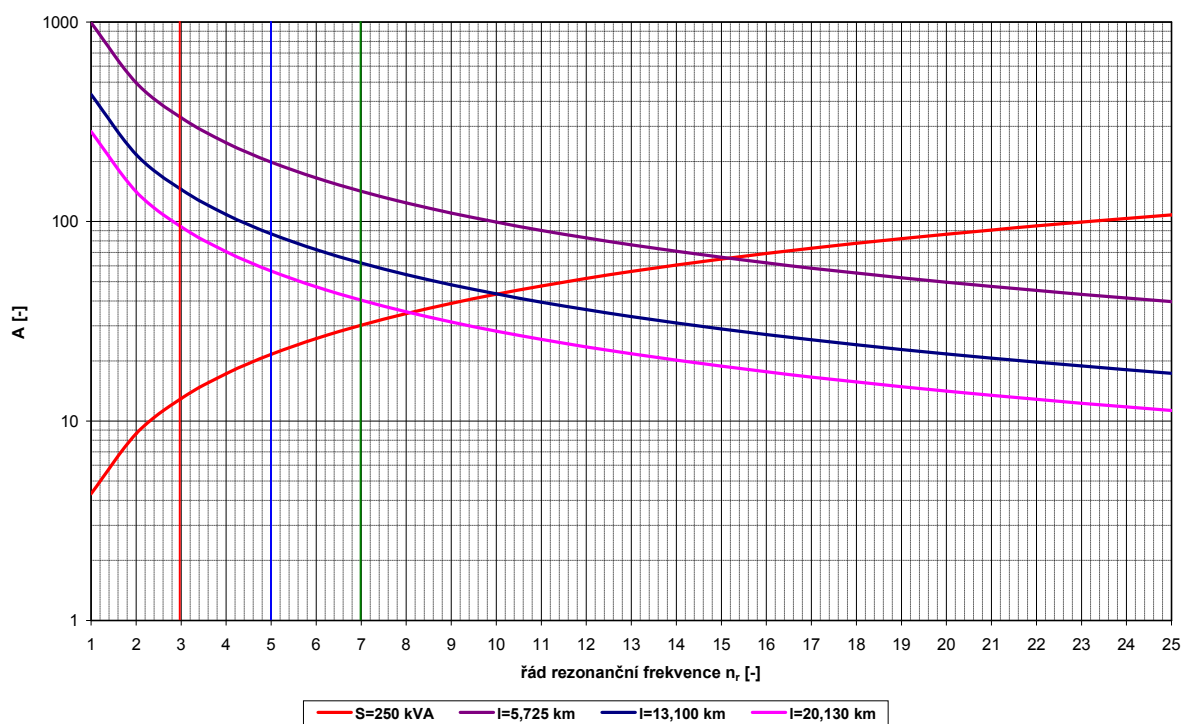


obr.2

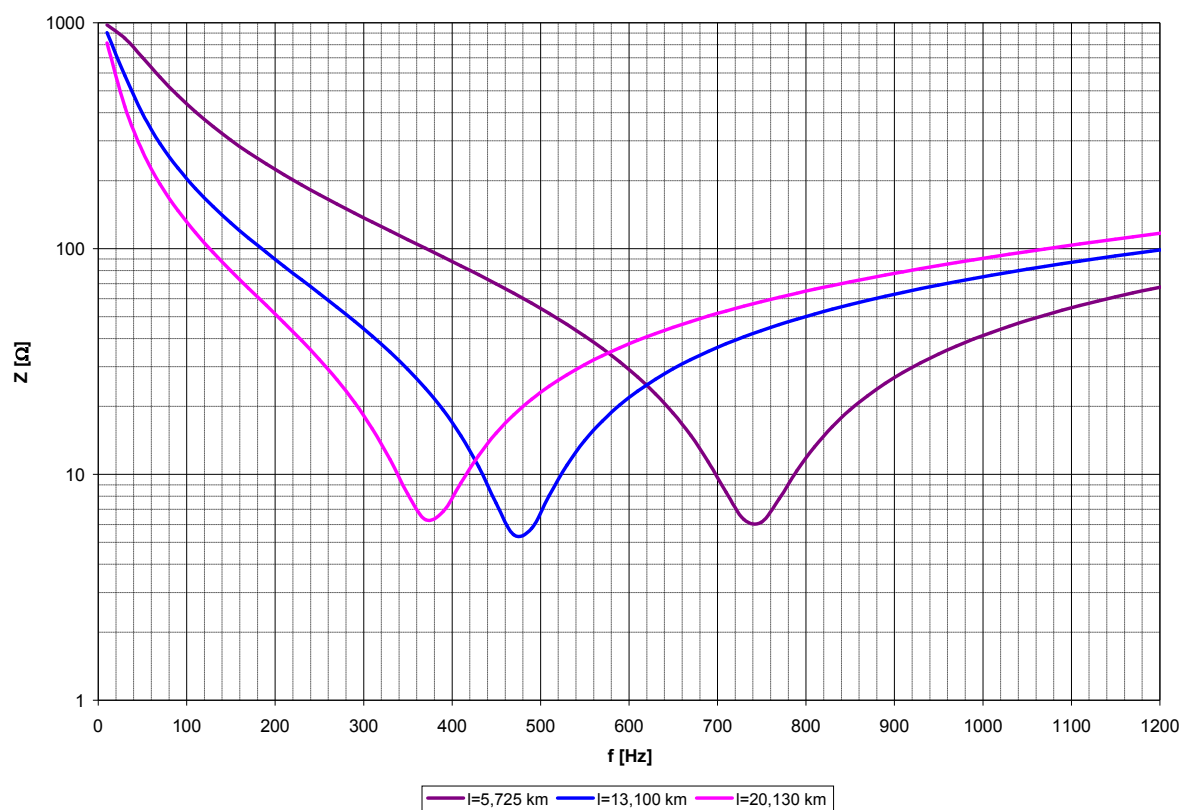
Úsek kabelu 6 kV, 50 Hz	Délka [km]	f _{rez} [Hz]
TNS Otrokovice-STS 723	0,514	2528,7
TNS Otrokovice-STS 719	5,869	729,6
TNS Otrokovice-STS 713	12,060	489,8
TNS Otrokovice-STS 710	17,500	410,0
TNS Otrokovice-TNS Nedakonice	24,350	329,8

tabulka č.1

2. TNS Otrokovice-TNS Říkovice



obr.3

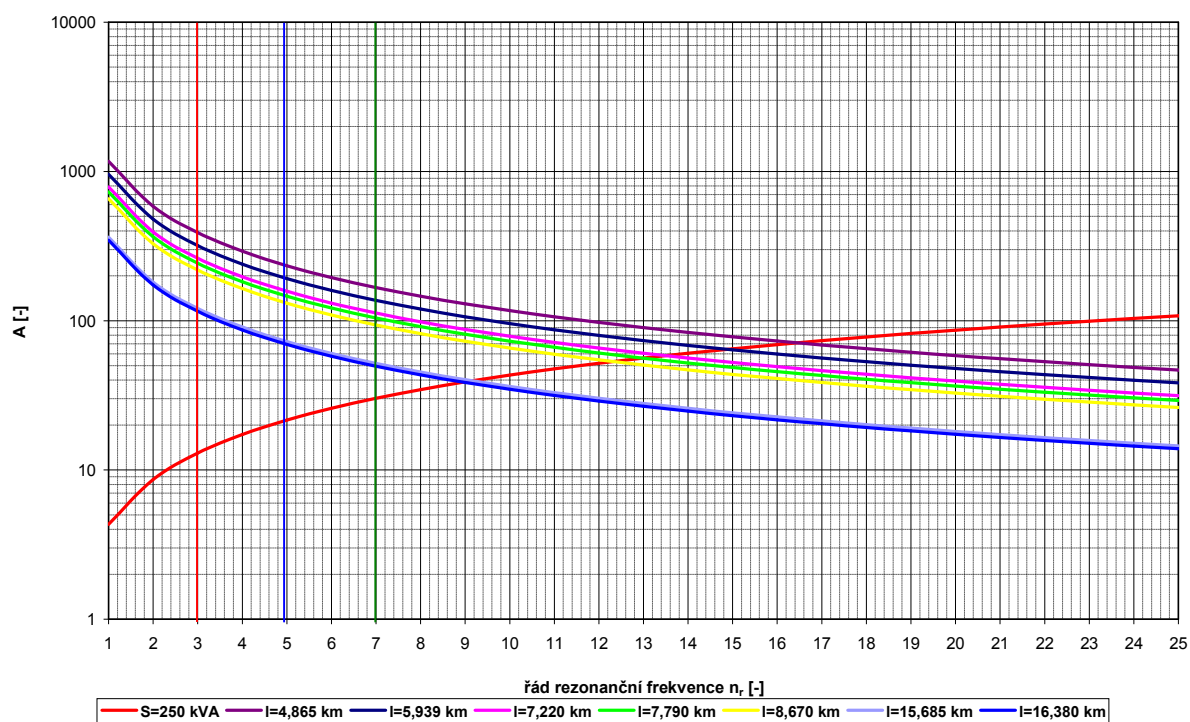


obr.4

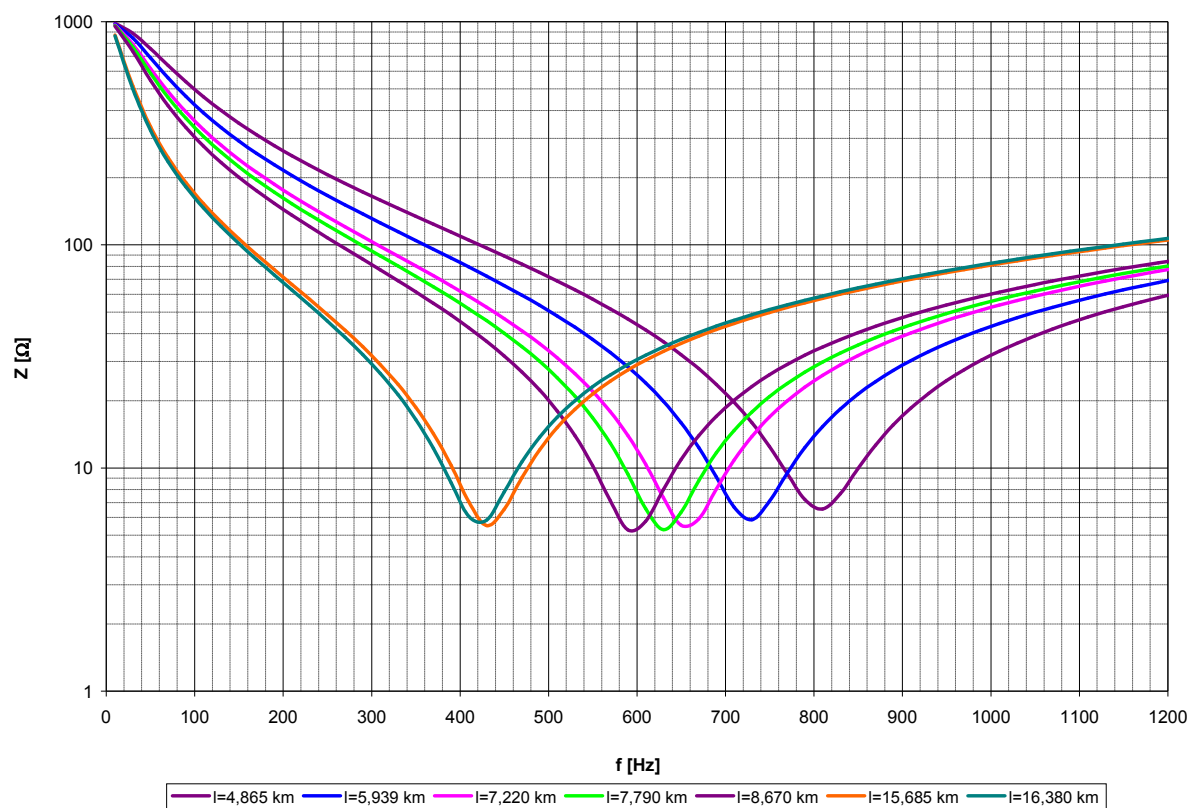
Úsek kabelu 6 kV, 50 Hz	délka [km]	f _{rez} [Hz]
TNS Otrokovice-STS 729	5,725	649,7
TNS Otrokovice -STS 734	13,100	470,0
TNS Otrokovice-TNS Říkovice	20,130	369,8

tabulka č.2

3. TNS Říkovice-TNS Prosenice



obr.5

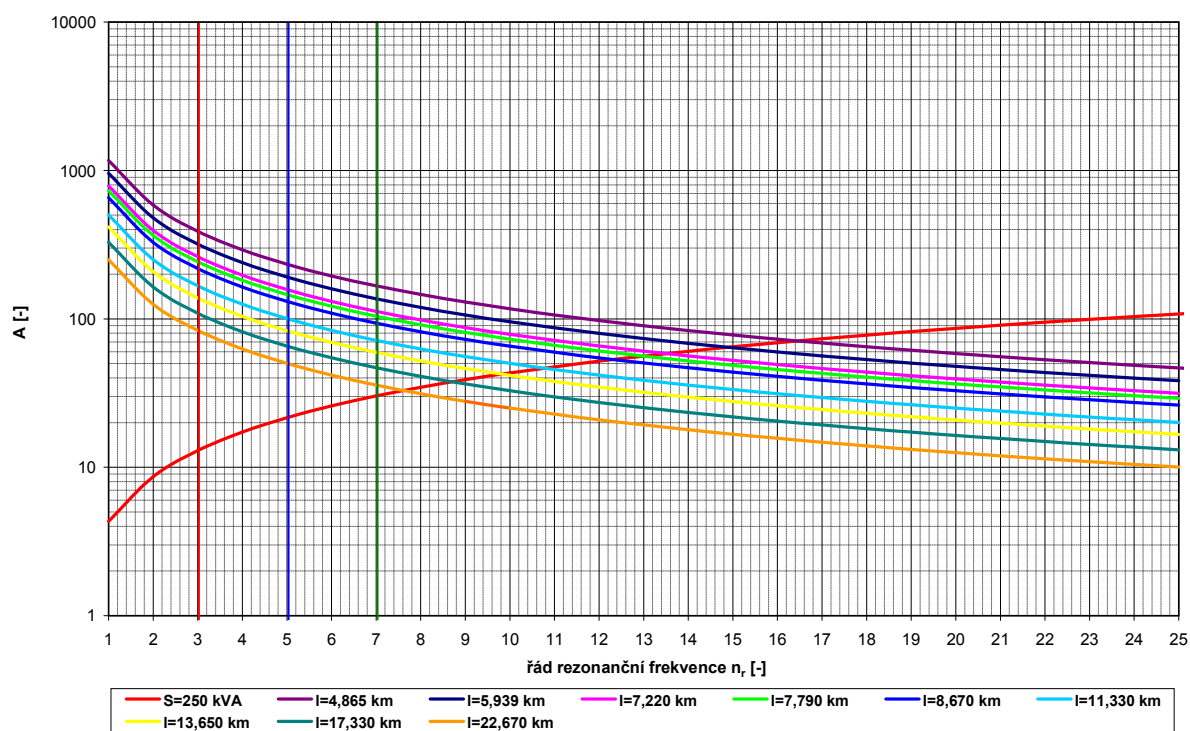


obr.6

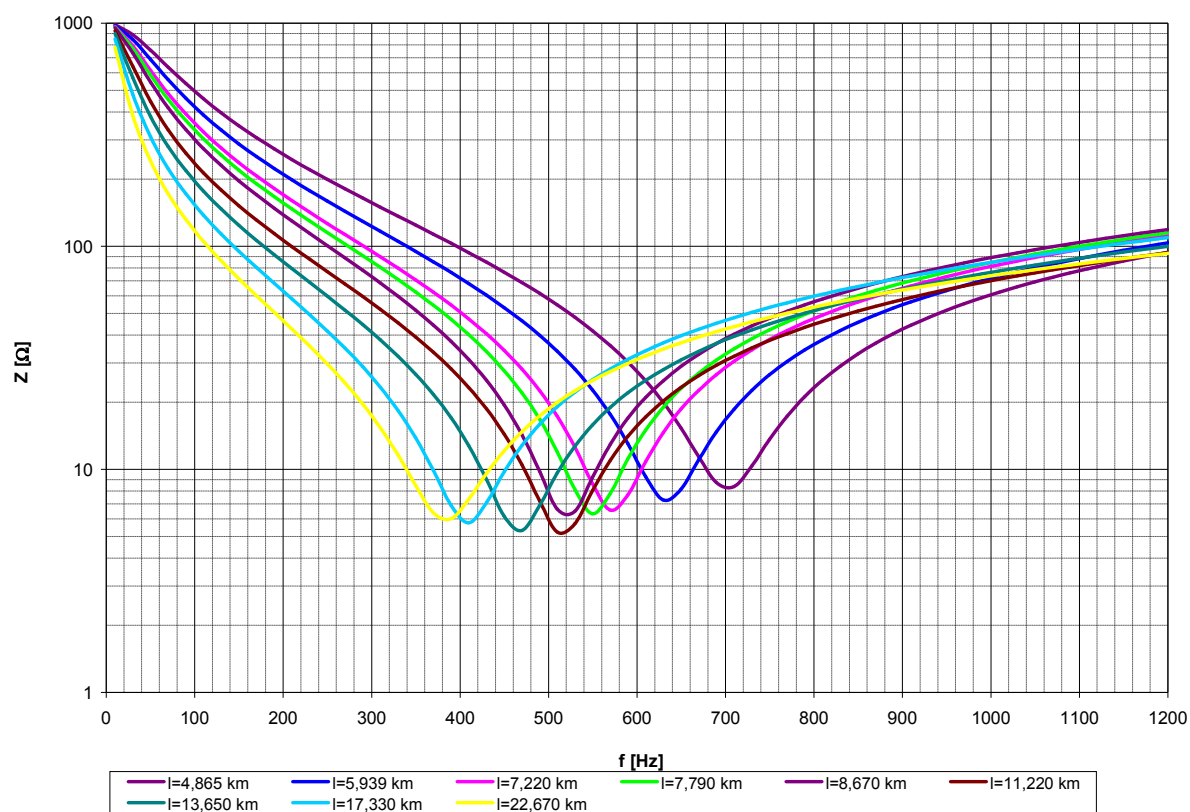
Úsek kabelu 6 kV, 50 Hz	délka [km]	f _{rez} [Hz]
TNS Říkovice-STS 902	4,865	809,6
TNS Říkovice-STS 901	5,939	730,0
TNS Říkovice-STS 900	7,220	649,6
TNS Říkovice-STS 217	7,790	628,9
TNS Říkovice-TTS 216	8,670	589,7
TNS Říkovice-STS 201A	15,685	429,9
TNS Říkovice-TNS Prosenice	16,380	429,5

tabulka č.3

4. TNS Říkovice-TNS Grygov



obr.7

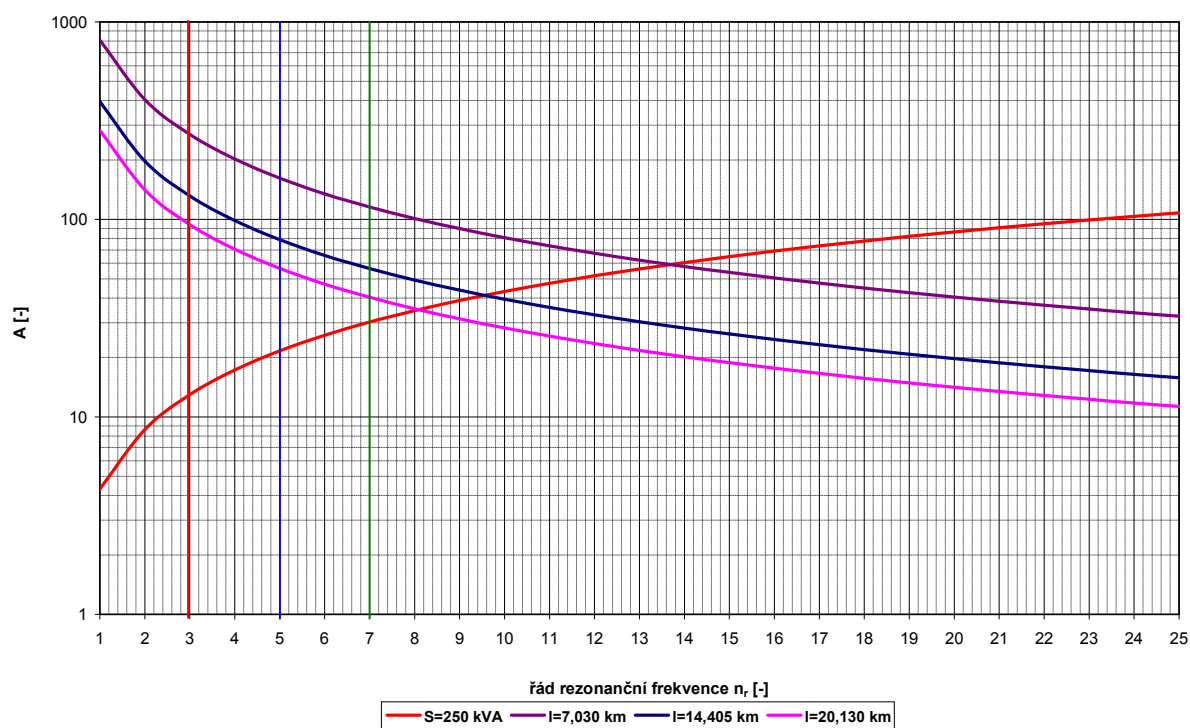


obr.8

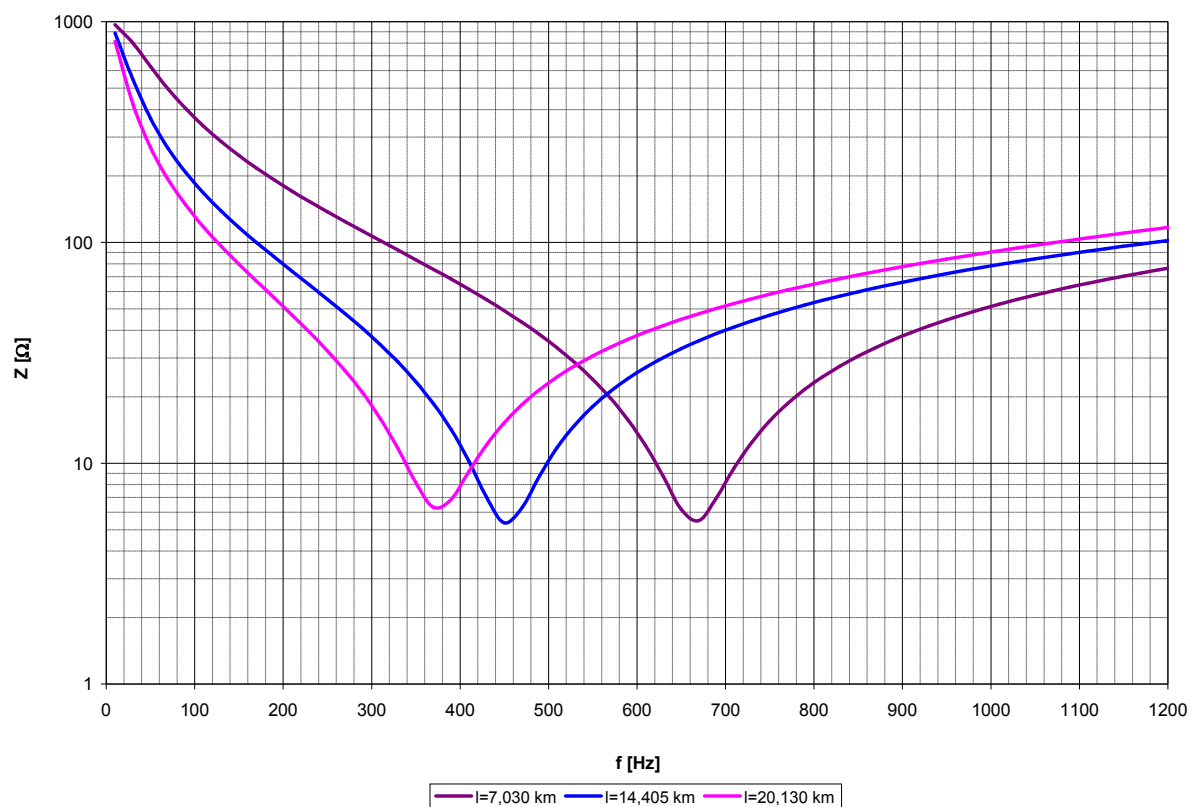
Úsek kabelu 6 kV, 50 Hz	délka [km]	f _{rez} [Hz]
TNS Říkovice-STS 902	4,865	809,6
TNS Říkovice-STS 901	5,939	730,0
TNS Říkovice-STS 900	7,220	649,6
TNS Říkovice-STS 217	7,790	628,9
TNS Říkovice-TTS 216	8,670	589,7
TNS Říkovice-STS 223	11,330	509,8
TNS Říkovice-PTS 227	13,650	470,0
TNS Říkovice-STS 233	17,330	409,9
TNS Říkovice-TNS Grygov	22,670	389,8

tabulka č.4

5. TNS Říkovice-TNS Otrokovice



obr.9



obr.10

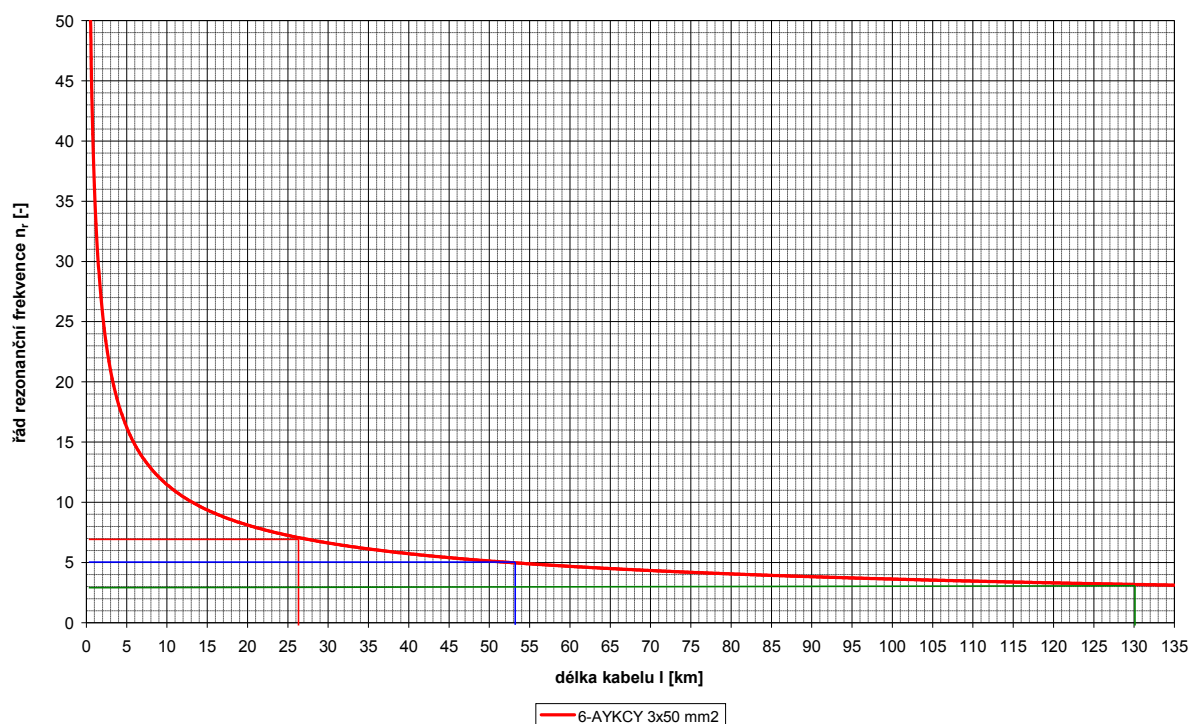
Úsek kabelu 6 kV, 50 Hz	délka [km]	f_{rez} [Hz]
TNS Říkovice-STS 704	7,030	669,7
TNS Říkovice-STS 729	14,405	449,7
TNS Říkovice-TNS Otrokovice	20,130	369,8

tabulka č.5

Na **obr.1, 3, 5, 7, 9** jsou znázorněny grafické průběhy, jejichž křivky charakterizují vlastnosti kabelů a vlastnosti transformátoru 25/6 kV (viz. legenda pod grafem). Průsečíky těchto křivek určují řád rezonanční frekvence. Červená čára (3. harmonická), modrá čára (5. harmonická), zelená čára (7. harmonická) představují hranice, kdy by nemohlo dojít k rezonančním jevům.

Na **obr.2, 4, 6, 8, 10** jsou znázorněny závislosti impedance sériového rezonančního LC obvodu složeného z transformátoru 25/6 kV a kabelů jednotlivých délek v daných úsecích rozvodu 6 kV, 50 Hz. V **tabulkách č.1-5** jsou uvedeny délky kabelů v jednotlivých úsecích a hodnoty rezonančních frekvencí.

Závislost řádu rezonanční frekvence na délce kabelu 6kV



obr.11

Závěr

a) TNS Otrokovice

Z **tabulky č.1** je patrné, že rezonance vznikající v napájeném úseku TNS Otrokovice-TNS Nedakonice leží mimo hodnoty 3., 5., 7. harmonické, nebude docházet k nebezpečným rezonancím. Vypočtená velikost jalového výkonu dekompenzačních tlumivek je **$Q_L = 156,5$ kvar.**

Z **tabulky č.2** je patrné, že rezonance vznikající v napájeném úseku TNS Otrokovice-TNS Říkovice leží mimo hodnoty 3., 5., 7. harmonické, nebude docházet k nebezpečným rezonancím. Vypočtená velikost jalového výkonu dekompenzačních tlumivek je **$Q_L = 129,0$ kvar.**

Doporučuji nainstalovat do TNS Otrokovice tlumivku s odbočkami 20-40-60 kvar, aby byla možnost upravit velikost kompenzačního výkonu pro úsek TNS Otrokovice-TNS Nedakonice, kde v daném úseku už jsou nainstalovány tlumivky o jalovém výkonu 180 kvar a v úseku TNS Otrokovice-TNS Říkovice instalovány tlumivky o jalovém výkonu 100 kvar.

b) TNS Říkovice

Z **tabulky č.3** je patrné, že rezonance vznikající v napájeném úseku TNS Říkovice-TNS Prosenice leží mimo hodnoty 3., 5., 7. harmonické, nebude docházet k nebezpečným rezonancím. Vypočtená velikost jalového výkonu dekompenzačních tlumivek je **$Q_L = 106,0$ kvar.**

Z **tabulky č.4** je patrné, že rezonance vznikající v napájeném úseku TNS Říkovice-TNS Grygov leží mimo hodnoty 3., 5., 7. harmonické, nebude docházet k nebezpečným rezonancím. Vypočtená velikost jalového výkonu dekompenzačních tlumivek je **$Q_L = 151,5$ kvar.**

Z **tabulky č.5** je patrné, že rezonance vznikající v napájeném úseku TNS Říkovice-TNS Otrokovice leží mimo hodnoty 3., 5., 7. harmonické, nebude docházet k nebezpečným rezonancím. Vypočtená velikost jalového výkonu dekompenzačních tlumivek je **$Q_L = 129,0$ kvar.**

Vypočtená velikost jalového výkonu dekompenzačních tlumivek je hodnota teoretická, vypočtená z náhradních parametrů pro jednotlivé typy kabelů a jejich délky. Nejsou zde zahrnuty indukčnosti případných odběrů jejichž velikosti se můžou měnit. Doporučuji použít **tlumivky s odbočkami ± 5 %** a umístit je do jednotlivých odpojitelných úseků kabelů 6 kV. Pro potvrzení této volby dále doporučuji před samotnou realizací provést měření jalového výkonu kabelů 6 kV, 50 Hz ve výše uvedených úsecích a ověření rezonancí.

Kritická délka kabelu je délka při které kabel 6 kV a transformátor 25/6 kV jsou "naladěny" na frekvenci 150 Hz (3. harmonická), 250 Hz (5. harmonická), 350 Hz (7. harmonická). Na **obr.11** jsou znázorněny průběhy závislosti délky kabelu 6 kV na řádu rezonanční frekvence. Je patrné, že kritická délka kabelu pro výše uvedené frekvence je 26 km a výše.

Literatura

- *TKP kapitola 30 Silnoprůdové rozvody VN a soustava 6kV*
- *TKP kapitola 33 Elektromagnetická kompatibilita (EMC)*