

# Vliv velikosti přenášeného výkonu a délky vedení na proudovou nesymetrii netransponovaného kombinovaného vedení 2x400 kV + 2x110 kV

Tomáš Nazarčík

Katedra teoretické elektrotechniky

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

nazarcik@kte.zcu.cz

## Influence of the value of transmitted power and line length on the current asymmetry of non-transposed combined transmission line 2x400 kV + 2x110 kV

**Abstract** – This article is concerned with the phase current asymmetry on the combined non-transposed transmission line that carries circuits of different voltages. The current asymmetry has been analyzed on the created two-port transmission line model, which allows taking into account the mutual inductive and capacitive couplings between the conductors. The performed calculations observed the dependency of the current asymmetry on the value of transmitted power and the line length.

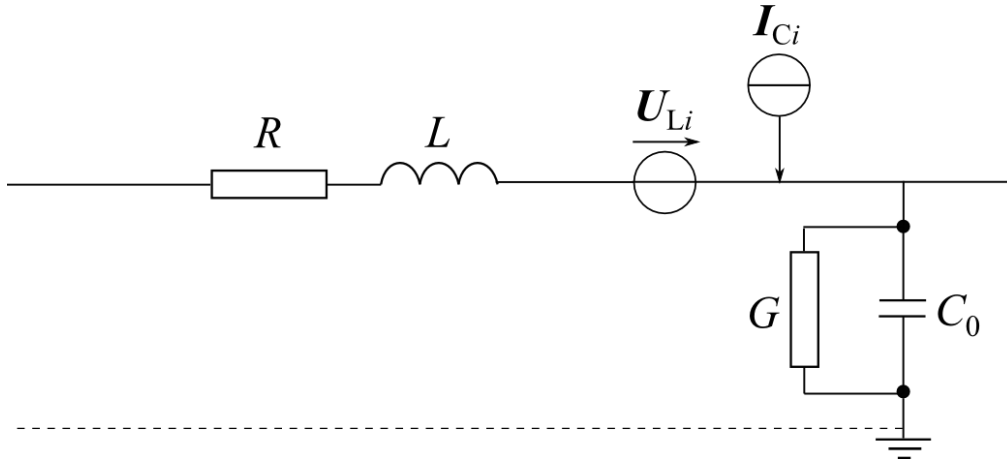
**Keywords** – non-transposed transmission line; phase current asymmetry; mutual couplings

### I. ÚVOD

V současné době je výstavba nových tras pro vedení zvláště vysokého napětí (zvn) a velmi vysokého napětí (vvv) značně problematická z mnoha důvodů (výkup pozemků, posouzení vlivu na životní prostředí, změna územních plánů...). Možným řešením tak může být rekonstrukce stávajících vedení a jejich přestavba na kombinovaná vedení, kdy na jednom stožáru je umístěno několik linek často o různých napěťových hladinách. U kombinovaného vedení obsahujícího alespoň čtyři linky je konstrukční řešení transpozičního stožáru značně komplikované, proto je odvozen model netransponovaného vedení. Během provozu lze očekávat vzájemné ovlivňování mezi jednotlivými linkami způsobené induktivními a kapacitními vazbami mezi vodiči. Následkem vzniká proudová nesymetrie. Účinky těchto vazeb závisí na délce vedení a zatížení linek, což bylo analyzováno a je popsáno v tomto článku.

### II. MODEL VEDENÍ

Vydeme z běžně užívaného modelu vedení tvořeného dvojbranem s prvky  $R$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $G$  viz obr. 1 [1]. Model vedení je pro netransponované vedení ještě nutné doplnit zdroji napětí a proudů, které respektují induktivní a kapacitní účinky od ostatních vodičů [2]. Vedení je modelováno jako kaskáda těchto gama dvojbranů. Zátěž je modelována pomocí impedance spojené do hvězdy, jejíž velikost odpovídá požadovanému přenášenému výkonu na vedení. Vliv zemní cesty je respektován fiktivním vodičem podle Ruddenbergovy teorie. Zemní lana jsou modelována kaskádou sériové kombinace odporu a vlastní indukčnosti.



**Obrázek I. Základní gama dvojbran**

### A. Indukčnost

Induktivní vazby ve vícevodičové soustavě jsou dány vlastní indukčností vodičů (je dána součtem vnitřní a vnější indukčnosti) a vzájemnými indukčnostmi mezi vodiči všech paralelních soustav. Jak je obvyklé, byly indukční vazby vyjádřeny pomocí matic podle postupu uvedenému v [3]. Indukované napětí  $i$ -tého vodiče v rámci indukčních vazeb s ostatními vodiči je možné vyjádřit sumou dílčích indukovaných napětí, což je v modelu vedení reprezentováno napětovým zdrojem.

$$\mathbf{U}_{Li} = \sum_{j=1, j \neq i}^n j\omega L_{ij} \mathbf{I}_j \quad (1)$$

### B. Kapacita

Ve vícevodičové soustavě se uplatňují kapacitní vazby mezi jednotlivými vodiči a mezi vodiči a zemí. Kapacitní vazby byly vyjádřeny pomocí metody parciálních kapacit [4], která vychází z metody zrcadlení. Indukovaný proud  $i$ -tého vodiče způsobený kapacitními vazbami je v modelu vedení reprezentován pomocí proudového zdroje.

$$\mathbf{I}_{Ci} = \sum_{j=1, j \neq i}^n j\omega C_{ij} (\mathbf{U}_j - \mathbf{U}_i) \quad (2)$$

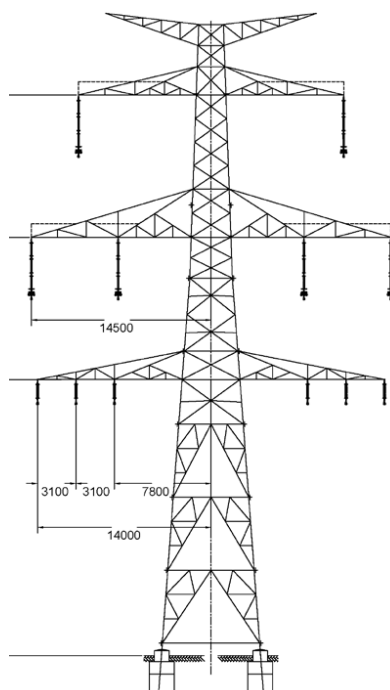
### C. Odpor a svod

Odpor fázových vodičů je počítán pro provozní teplotu odpovídající 40°C typového vodiče 490-AL1/64-ST1A. Na napětové hladině 400 kV je uvažován pro fázové vodiče trojsvazek, pro 110 kV pak jednoduchý vodič. Odpor zemních lana odpovídá typové vodiči 185-AL1/43-ST6C. Velikost svodu byla určena výpočtem z měření nabíjecího proudu a činných ztrát u vedení naprázdno.

Model vedení byl popsán pomocí Kirchhoffových zákonů, což vede na soustavu lineárních algebraických rovnic s komplexními koeficienty, kde neznámé jsou všechny větvové proudy. Důležité pro další analýzu jsou získané proudy na zátěži, které byly pro posuzování nesymetrie fázových proudů následně rozloženy do souměrných složek a poté použity pro vyjádření koeficientů nesymetrie.

$$p_{02} = \frac{|\mathbf{I}^{(2)}|}{|\mathbf{I}^{(1)}|} 100 \text{ [%]} \quad p_{01} = \frac{|\mathbf{I}^{(0)}|}{|\mathbf{I}^{(1)}|} 100 \text{ [%]} \quad (3)$$

### III. ILUSTRATIVNÍ PŘÍKLADY VÝPOČTŮ



Výpočty byly provedeny pro stožár Donau se čtyřmi linkami. Vodiče napěťové hladiny 400 kV jsou umístěny do trojúhelníka, pod nimi jsou pak horizontálně umístěné vodiče 110 kV. Základní výpočet byl proveden pro asymetrickou konfiguraci fází, kdy sled fází jednotlivých obvodů je shodný (po řadě ABC resp. abc) viz TAB. I. Bylo uvažováno zatížení 700 MW pro 400 kV (fázový proud 1000 A) a 57 MW pro 110 kV (fázový proud 300 A). Délka vedení byla zvolena na 20 km. Velikosti fázových proudů a koeficienty nesymetrie pro všechny čtyři obvody jsou uvedeny v TAB. II

TABULKA I. ZÁKLADNÍ VÝPOČET – KONFIGURACE FÁZÍ

1.obvod	B A C	2.obvod	B A C
3.obvod	a b c	4.obvod	a b c

Obrázek II. Stožár Donau

TABULKA II. FÁZOVÉ PROUDY A KOEFICIENTY NESYMETRIE

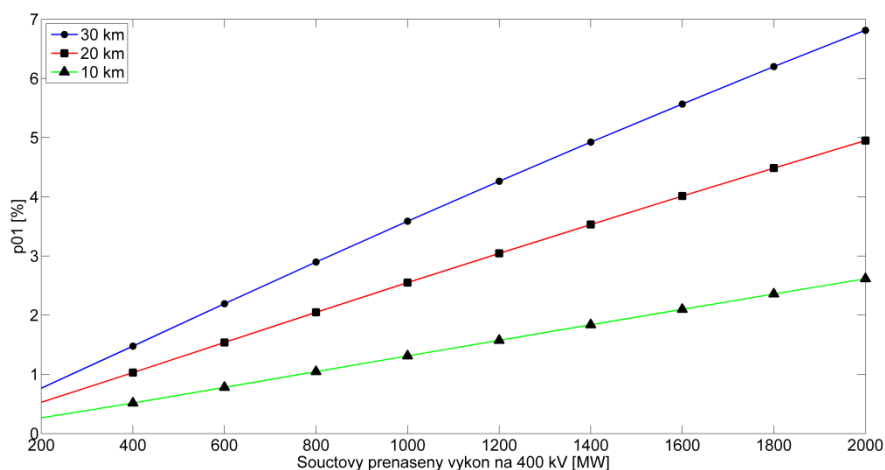
1. obvod	$I_a = 1024,9 \text{ A}$	$p_{21} = 0,27 \%$	2. obvod	$I_a = 1028 \text{ A}$	$p_{21} = 0,27 \%$
	$I_b = 1024,5 \text{ A}$			$I_b = 1021,7 \text{ A}$	
	$I_c = 1012,5 \text{ A}$			$I_c = 1014,3 \text{ A}$	
3. obvod	$I_a = 311,93 \text{ A}$	$p_{21} = 0,41 \%$	4. obvod	$I_a = 413,88 \text{ A}$	$p_{21} = 0,43 \%$
	$I_b = 313,18 \text{ A}$			$I_b = 461,98 \text{ A}$	
	$I_c = 297,77 \text{ A}$			$I_c = 439,24 \text{ A}$	
		$p_{01} = 3,51 \%$			

Vliv zatížení byl nejprve demonstrován na následujících modelových případech. Pro obvody 400 kV i 110 kV byly uvažovány kombinace maximálního a nízkého zatížení. Maximální zatížení je definováno pomocí maximálního dovoleného proudu daného vodiče (pro 400 kV proud 2500 A, pro 110 kV proud 600 A). Jako nízké zatížení je uvažována desetina maximálního přenášeného výkonu.

TABULKA III. KOEFICIENTY NESYMETRIE PRO KOMBINACE MAXIMÁLNÍHO A NÍZKÉHO ZATÍŽENÍ

Zatížení	Max 400 kV Max 110 kV	Max 400 kV Min 110 kV	Min 400 kV Max 110 kV	Min 400 kV Min 110 kV
1. obvod	$p_{21} = 0,64 \%$ $p_{01} = 1,03 \%$	$p_{21} = 0,68 \%$ $p_{01} = 1,44 \%$	$p_{21} = 0,05 \%$ $p_{01} = 0,22 \%$	$p_{21} = 0,07 \%$ $p_{01} = 0,17 \%$
2. obvod	$p_{21} = 0,63 \%$ $p_{01} = 0,85 \%$	$p_{21} = 0,68 \%$ $p_{01} = 1,25 \%$	$p_{21} = 0,05 \%$ $p_{01} = 0,17 \%$	$p_{21} = 0,07 \%$ $p_{01} = 0,16 \%$
3. obvod	$p_{21} = 0,85 \%$ $p_{01} = 7,19 \%$	$p_{21} = 0,48 \%$ $p_{01} = 8,53 \%$	$p_{21} = 0,49 \%$ $p_{01} = 0,91 \%$	$p_{21} = 0,09 \%$ $p_{01} = 0,95 \%$
4. obvod	$p_{21} = 0,91 \%$ $p_{01} = 6,59 \%$	$p_{21} = 0,50 \%$ $p_{01} = 8,37 \%$	$p_{21} = 0,50 \%$ $p_{01} = 0,77 \%$	$p_{21} = 0,09 \%$ $p_{01} = 0,95 \%$

Z celkového pohledu se jeví jako více nepříznivé varianty s maximálním zatížením na 400 kV. Naopak pro nízké zatížení 400 kV jsou poměry z pohledu nesymetrie fázových proudů příznivější. Výsledky ukazují, že vliv fázových vodičů 400 kV na 110 kV je výrazně vyšší než v opačném směru. Další faktor, který ovlivňuje výslednou proudovou nesymetrii, je délka souběhu obou napěťových hladin. Doposud provedené výpočty uvažovaly délku vedení 20 km. Na následujícím grafu je ukázán vliv jak zatížení linek 400 kV tak i právě délky na koeficient nesymetrie pro netočivou složku linek 110 kV. Pro výpočty byly zvoleny tři délky (10 km, 20 km a 30 km).



**Obrázek III. Závislost koeficientu nesymetrie  $p_{01}$  obvodů 110 kV na přenášeném výkonu na 400 kV**

#### IV. ZÁVĚR

Z provedených výpočtů lze vyvodit závěr, že celkové poměry proudové nesymetrie obvodů vyšší i nižší napěťové hladiny jsou zejména ovlivněny zatížením linek vyšší napěťové hladiny. Koeficient  $p_{21}$  všech obvodů se výrazně nemění. Naopak koeficient  $p_{01}$  roste s narůstajícím přenášeným výkonem i s prodlužující se délkou vedení poměrně výrazně. Uvažujeme-li délku vedení 30 km a desetinásobné zvýšení výkonu (z 200 MW na 2000 MW), vzroste koeficient  $p_{01}$  cca 8x. Dále výsledky ukazují, že pro dodržení dané hodnoty  $p_{01}$  se s vzrůstající délkou vedení výrazně snižuje dovolený přenášený výkon na 400 kV.

#### PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2016-006 a projektu SGS-2015-035.

#### LITERATURA

- [1] Hejtmánková, P., Mertlová, J., Kocmich, T.: Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie, Plzeň: ZČU v Plzni 2004
- [2] Novitskiy, A., Westermann, D.: "Interaction of Multi-Circuit Overhead Transmission Lines of Different Voltages Located on the Same Pylon", Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ), 2012
- [3] Benešová, Z., Mayer, D.: Algorithm for computation of inductances of three/phase overhead lines, AMTEE'03 Plzeň: ZČU v Plzni 2003
- [4] Benesova, Z., Sroubova, L.: "Capacitive Coupling in Double-Circuit Transmission Lines", Advances in Electrical and Electronic Engineering, Zilina 2004