

A New Evaluation Index for Static Voltage Stability of Multi-Infeed HVDC Receiving Terminal System

Qianyu Wu, Jing Wang, Peixin Zhu, Kai Zhang, Yongzhang Huang

School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electrical Power University, Beijing
Email: 18810663690@163.com

Received: Jun. 9th, 2017; accepted: Jun. 25th, 2017; published: Jun. 28th, 2017

Abstract

The study on the static voltage stability of multi-infeed DC systems is generally based on multi port Thevenin equivalent model. The mutual impedance between the DC infeeds makes the corresponding relation between the static voltage stability evaluation index and the voltage stability at the receiving end of the multi-infeed AC/DC system uncertain. This letter diagonalizes the node impedance matrix of the multi-infeed HVDC receiving system based on Thevenin equivalent model to propose a new equivalent terminal decoupling model. Based on the decoupling model, a new static voltage stability evaluation index for multi-infeed HVAC/HVDC system is proposed. BPA software is used to simulate two multi-infeed systems with different evaluation indexes; we set line fault in the two systems and compare the voltage waveforms of the receiving terminal buses to determine the voltage stability of two systems.

Keywords

MIDC System, Voltage Stability, System Decoupling Model, Static Voltage Stability Evaluation Index, Characteristic Value of Equivalent Impedance, Maximum Eigenvalue

一种新的多馈入交直流受端系统静态电压稳定的评价指标

武倩羽, 王 婧, 祝培鑫, 张 恺, 黄永章

华北电力大学电气与电子工程学院, 北京
Email: 18810663690@163.com

收稿日期: 2017年6月9日; 录用日期: 2017年6月25日; 发布日期: 2017年6月28日

摘要

多馈入受端系统静态电压稳定的研究一般都是建立在多端口戴维南等值模型的基础上,各条直流馈入之间的互阻抗使得已有的多馈入交直流受端系统静态电压稳定评价指标与受端线路电压稳定的对应关系不明确。在多端口戴维南等值模型的基础上对多馈入受端系统节点阻抗矩阵进行对角化,用对角线元素即节点阻抗矩阵的特征值来等效各条直流馈入相对应的交流系统的阻抗值,实现了多馈入系统的解耦,将多馈入直流输电系统等效为多个单馈入系统来研究。在解耦模型的基础上提出了新的多馈入受端系统静态电压稳定评价指标。应用BPA软件进行故障仿真,对两个新评价指标计算值不同的简单三馈入系统进行故障仿真,对比两个三馈入系统故障后的电压稳定性。

关键词

多馈入交直流系统, 电压稳定, 系统解耦模型, 静态电压稳定评价指标, 等值阻抗特征值, 最大特征值

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前,我国已投运云广、复奉、锦苏、溪浙、哈郑、宁绍等特高压直流工程,出现多回直流密集馈入长江三角洲和珠江三角洲地区的情况。未来几年,在华北地区也会陆续投运多条特高压直流,届时,我国东部地区将形成多个容量巨大、结构复杂的多直流密集馈入受端系统。多馈入受端系统的直流落点近,交直流系统间和直流子系统间的相互作用强,系统电压稳定问题远较纯交流系统和单馈入系统更加突出和复杂[1] [2] [3] [4]。当受端交流系统较弱的情况下,电压稳定问题将成为电网运行面临的主要威胁[5]。

在多馈入交直流受端系统电压稳定方面还未形成成熟的指标体系,现有的最广泛应用的多馈入静态电压稳定评价指标为多馈入短路比指标(MSCR)。多馈入短路比是基于多馈入受端系统经多端口戴维南等值后的简化模型提出的,其各直流馈入之间的互阻抗使得多馈入短路比计算中需考虑其余各条直流馈入的影响[6] [7] [8]。另外多馈入短路比指标与静态电压稳定性的对应关系欠清晰,物理意义不很明确,因此找到一种新的多馈入静态电压稳定评价指标是非常必要的。

本文在传统多馈入受端简化模型的基础上通过对交流受端节点阻抗矩阵的对角化得到各特征值,提出了新的多馈入受端系统解耦模型,分析了各特征值的物理意义并根据解耦模型提出了新的多馈入电压稳定评价指标。对两个简单三馈入系统分别计算新指标值,在BPA软件中进行故障仿真对比两个系统故障后的系统电压稳定性,验证了新指标的可行性和实用性。

2. 多馈入受端交流系统的解耦

目前研究多馈入交直流系统的受端静态电压稳定常应用的模型是受端交流系统通过多端口戴维南等值后的系统简化模型[9],如图1所示。

由于多条直流馈入之间有互阻抗的联系使得受端电压稳定的研究比单馈入系统复杂得多,因此,寻找一种更为简化的模型十分必要。由于静态电压稳定分析忽略交直流系统的动态过程,整个系统可简化为纯代数方程,因此可以在原有的模型基础上进行线性变化[10] [11]。

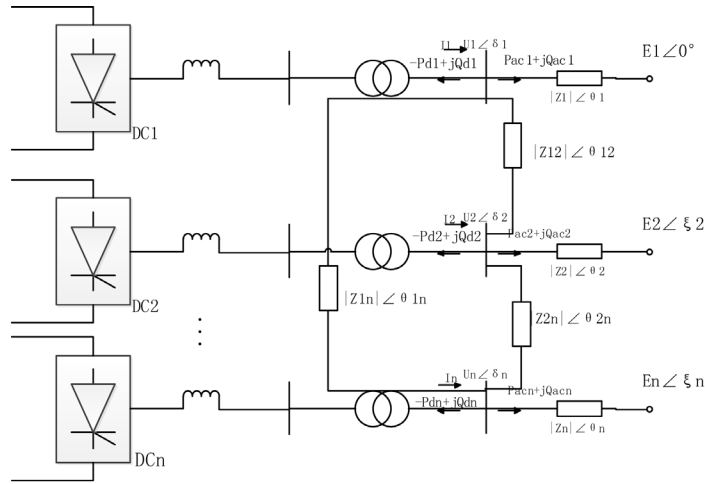


Figure 1. Traditional simplified model of multi-infeed HVDC system
图 1. 多馈入交直流系统戴维南等值简化模型

在图 1 中，假设 Z_{eq} 为从各回直流换流器母线处看进去的交流系统的等值节点阻抗矩阵，在包含 n 回直流的多馈入交直流系统中，各回直流注入交流系统的电流分别为 i_1, i_2, \dots, i_n ，则可列出交流等效发电机端各点电压和交流母线节点电压之间的关系式为：

$$\begin{bmatrix} \dot{E}_1 \\ \dot{E}_2 \\ \vdots \\ \dot{E}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_1 \\ \vdots \\ \dot{U}_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{Z}_{eq11} & \dot{Z}_{eq12} & \cdots & \dot{Z}_{eq1n} \\ \dot{Z}_{eq21} & \dot{Z}_{eq22} & \cdots & \dot{Z}_{eq2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dot{Z}_{eqn1} & \dot{Z}_{eqn2} & \cdots & \dot{Z}_{eqnn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ i_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

在(1)中对等值节点阻抗矩阵进行对角化，设：

$$\begin{bmatrix} \dot{Z}_{eq11} & \dot{Z}_{eq12} & \cdots & \dot{Z}_{eq1n} \\ \dot{Z}_{eq21} & \dot{Z}_{eq22} & \cdots & \dot{Z}_{eq2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dot{Z}_{eqn1} & \dot{Z}_{eqn2} & \cdots & \dot{Z}_{eqnn} \end{bmatrix} = T^{-1} \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda_n \end{bmatrix} T \quad (2)$$

其中 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 为等值节点阻抗矩阵的特征值， T 矩阵为各特征值对应的特征向量组成的矩阵。

将式(1)左乘矩阵 T 可得：

$$T \begin{bmatrix} \dot{E}_1 \\ \dot{E}_2 \\ \vdots \\ \dot{E}_n \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_1 \\ \vdots \\ \dot{U}_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda_n \end{bmatrix} T \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ i_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

在式(3)中令 $\dot{F} = T \begin{bmatrix} \dot{E}_1 \\ \dot{E}_2 \\ \vdots \\ \dot{E}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{F}_1 \\ \dot{F}_2 \\ \vdots \\ \dot{F}_n \end{bmatrix}$ 作为新的等效解耦系统的交流母线节点电压；

令 $\dot{V} = T \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_1 \\ \vdots \\ \dot{U}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \\ \vdots \\ \dot{V}_n \end{bmatrix}$ 作为解耦系统的交流侧发电机节点的电压；

令 $J = T \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ i_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j_1 \\ j_2 \\ \vdots \\ j_n \end{bmatrix}$ 作为解耦系统的直流换流器注入交流系统的电流；

则 $\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix}$ 为等效解耦系统中交流侧各线路的等值阻抗。等效后的各条直流馈入的交流侧等

值阻抗为原受端系统等值阻抗矩阵的各特征值，等效系统模型如图 2。

由图 2 可看出在多馈入系统解耦后的简化模型中，原阻抗矩阵的各个特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 为解耦后每条单馈入受端系统的等值阻抗，原系统等效为多个单馈入系统，以电压最薄弱的那条单馈入馈入直流来作为原多馈入系统电压稳定的衡量标准。

3. 多馈入系统静态电压评价新指标

多馈入系统的静态电压稳定的判定方法大多都是将单馈入交直流系统的研究方法推广到多馈入系统中。静态电压稳定的分析忽略了交流和直流系统的动态过程，整个系统简化为线性系统。已有的多馈入系统静态电压稳定评价指标应用最广泛的为多馈入短路比指标，但多馈入短路比物理意义较为模糊，与多馈入系统静态电压稳定的对应关系不清晰[12] [13]，因此有必要研究并提出一种新的多馈入系统静态电压稳定评价指标。在图 2 所示的解耦模型中，多馈入系统被等效为多个单馈入系统，因此可以用单馈入系统静态电压稳定的研究方法来分析多馈入系统。将单馈入系统的受端系统通过戴维南等值简化[14] [15]，若假定受端换流母线电压恒定，负载用恒定阻抗表示，单馈入交直流系统可简化如图 3 所示的模型。

受端换流母线电压和交流负载节点的电压关系为：

$$\bar{E} = \bar{U} - \bar{Z} \cdot \bar{I} \tag{4}$$

负载节点功率计算式为：

$$\bar{S} = \bar{E} \cdot \bar{I}^* \tag{5}$$

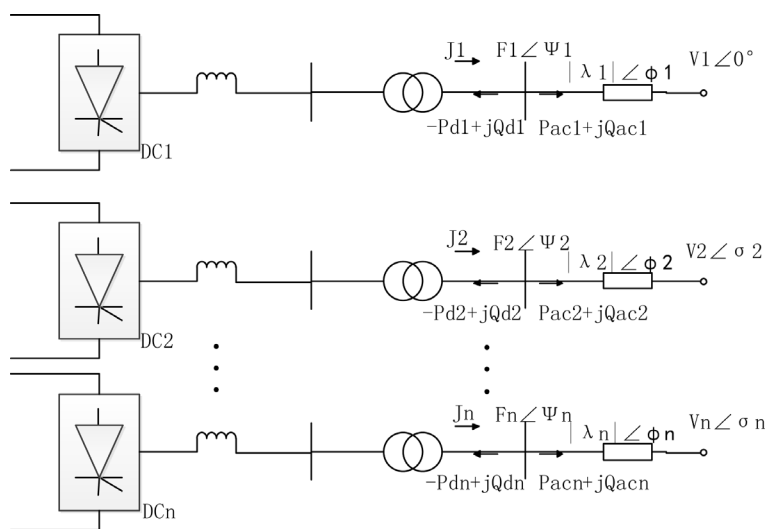


Figure 2. Decoupling model of multi infeed HVDC system

图 2. 多馈入交直流系统解耦后的模型

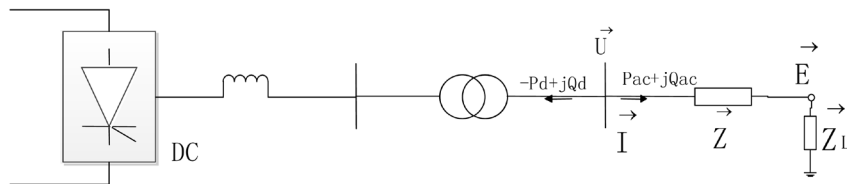


Figure 3. Equivalent model of single infeed HVDC system
图 3. 单馈入交直流系统等效模型

若 \bar{Z}_L 为负载阻抗, 正常情况下, 交流受端通过减小负载阻抗以求获得更大的功率需求, 当负载阻抗减小到和戴维南等值阻抗一样大时, 系统不能再通过减小负载阻抗以获取更大的功率, 此时电压失稳[16][17]。根据文献[18]电压稳定预测器的预测方法介绍可知当受端负载阻抗减小到跟戴维南等值阻抗一样大 ($|\bar{Z}_L| = |\bar{Z}|$) 时, 负载节点电压失稳。由此可见单馈入系统中戴维南等值阻抗对受端交流负荷节点的静态电压稳定起到关键作用, 可以把戴维南等值阻抗的大小作为静态电压稳定的评价指标, 通过比较负荷阻抗和戴维南等值阻抗的大小可以判断系统静态电压稳定性, 戴维南等值阻抗越小说明负荷达到稳定极限的裕度越大, 系统静态电压稳定越好。

图 2 所示的解耦模型把各回直流馈入有相互影响的多馈入系统等效为多个单馈入系统, 受端系统等值阻抗矩阵对角化后的各个特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 即为每条单馈入系统对应的交流受端的等值阻抗 Z_1, Z_2, \dots, Z_n , 对于一个多馈入直流系统, 在图 2 所示的多馈入解耦模型中, 若定义戴维南等值阻抗最大值即最大特征值 λ_{\max} 为多馈入系统静态电压评价的新指标, 最大特征值的值 λ_{\max} 越大, 说明多馈入系统静态电压失稳的可能性越大。

4. 仿真计算

在 BPA 软件中搭建两个结构相同的三馈入系统模型算例 A 和算例 B, 电气接线图如图 4。

对于这两个算例, 将送端系统等值为三台无穷大的发电机, 受端系统发电机用次暂态参数模型来表示, 三台发电机的次暂态电抗都为 0.01 p.u., 不计励磁调节系统和调速器的作用。

在本算例中以 230 kV 为电压基准值, 100 MW 为功率基准值, 所有参数均以标幺值计算。算例 A 和算例 B 的直流系统参数和交流系统参数及潮流数据见附录 A 和附录 B。

利用多端口戴维南等值方法求取系统的短路阻抗。发电机的短路阻抗由次暂态电抗参数表示; 短路后电网上依旧接负荷, 近似用恒定阻抗表示, 阻抗值由潮流计算结果中的负荷端电压和负荷功率求得。通过戴维南等值方法, 在 MATLAB 中计算交流受端的等值阻抗和解耦系统的各个特征值, 解耦后系统等效模型如图 5。

算例 A 和算例 B 的最大特征值 λ_{\max} 指标计算值如表 1。

应用 BPA 软件的暂态仿真进行故障模拟, 10 周波时, 直流系统 DC2 的逆变侧换流母线 HLZ22 发生三相金属性短路接地, 15 周波后故障消失。A 系统和 B 系统故障前后受端交流母线电压曲线如图 6、图 7 所示。A 系统和 B 系统故障前后的换流母线频率偏差如图 8、图 9 所示。从图 6、图 7 可看出当故障发生后, 受端系统交流母线电压跌落, 算例 A 的 HLZ12、HLZ22、HLZ32 三条母线电压跌落明显比算例 B 系统的电压跌落更严重; 图 8、图 9 可看出故障后算例 B 系统比算例 A 系统母线电压频率偏差更大。所以可以得出 λ_{\max} 值越小, 多馈入系统的静态电压稳定性越好, 最大特征值对于多馈入系统的电压稳定有指导意义。

比较最大特征值 λ_{\max} 为 0.0298 的算例 A 与最大特征值 λ_{\max} 为 0.0210 的算例 B 仿真结果, 对于同样的网络拓扑同一故障条件下, 系统 B 在故障前后交流受端各母线电压波动相比系统 A 更小, 系统 B 的换

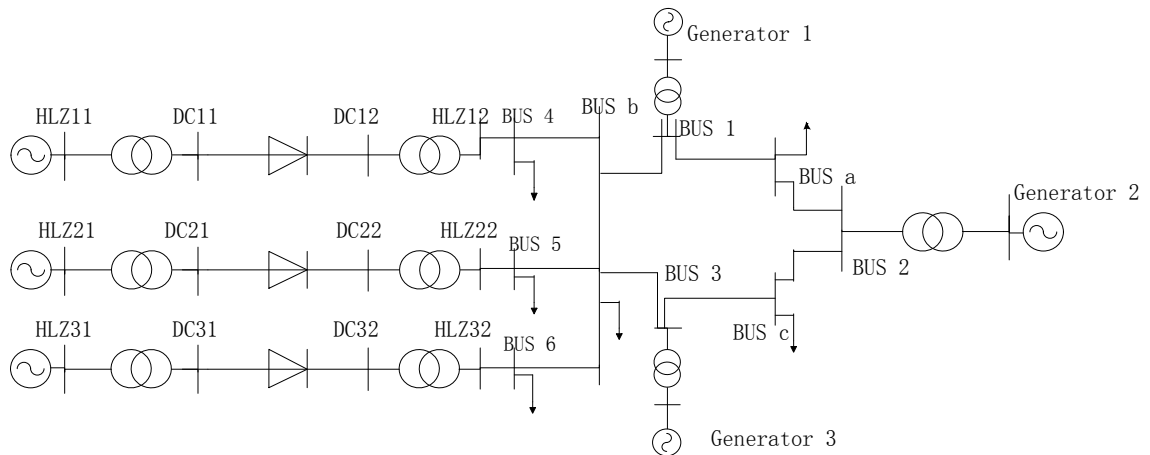


Figure 4. The electrical wiring diagram of the three infeed HVDC system
图 4. 三馈入交直流系统电气接线图

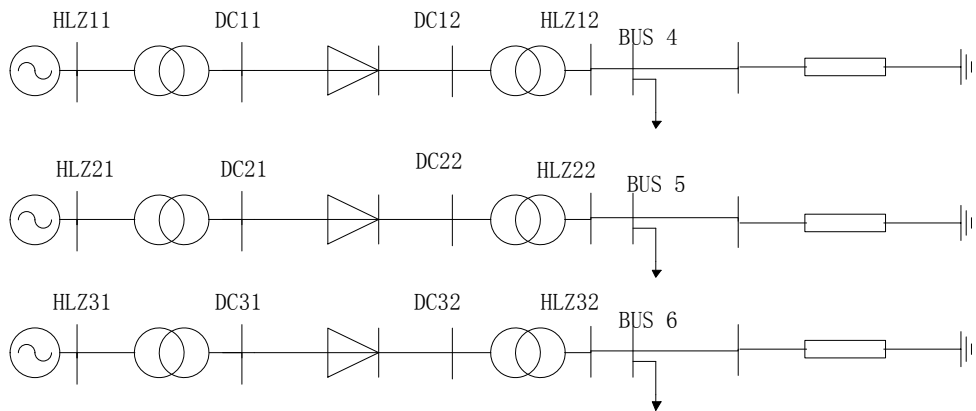


Figure 5. Equivalent circuit of three-infeed example system decoupling model
图 5. 三馈入算例系统的解耦模型等值电路

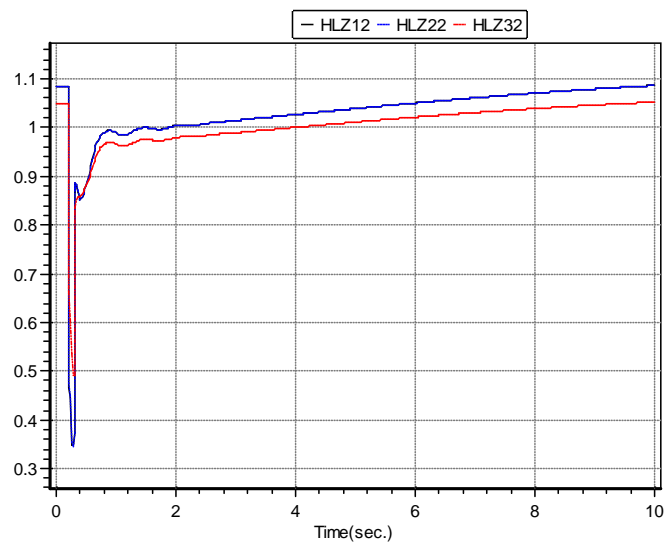


Figure 6. The main bus voltage curve of A system
图 6. 算例 A 交流受端系统母线电压

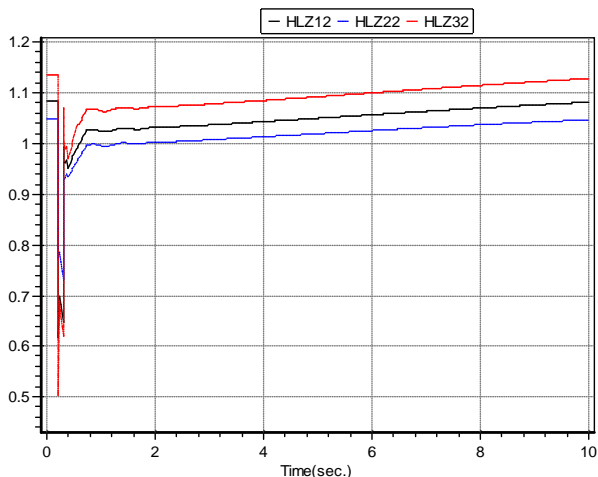


Figure 7. The main bus voltage curve of B system

图 7. 算例 B 交流受端系统母线电压

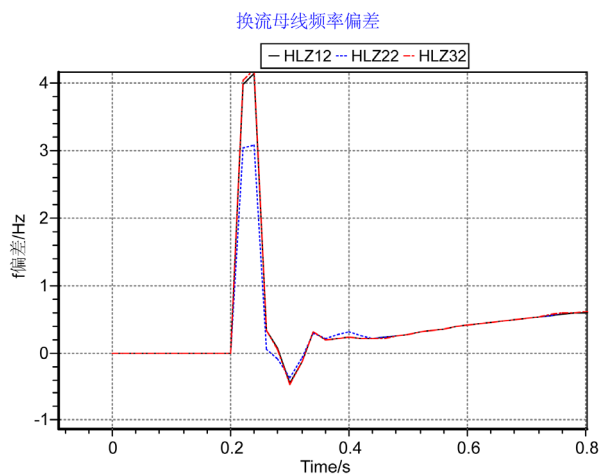


Figure 8. Frequency deviation of commutation bus of A system

图 8. 算例 A 换流母线频率偏差

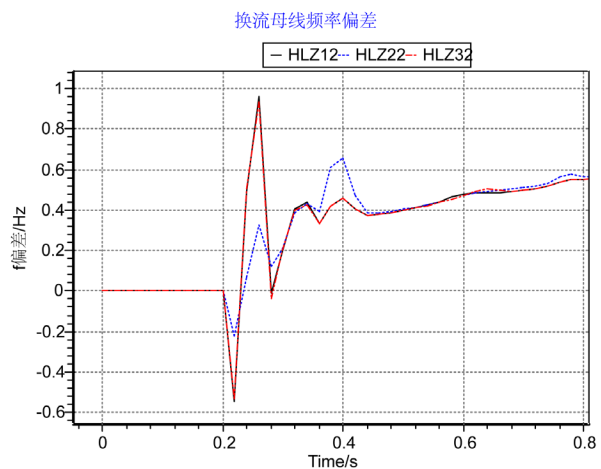


Figure 9. Frequency deviation of commutation bus of B system

图 9. 算例 B 换流母线频率偏差

Table 1. Calculation results of maximum eigenvalue
表 1. 最大特征值计算结果

	λ_{\max}
算例 A	0.0298
算例 B	0.0210

流母线频率偏差也比系统 A 更小，从而说明了最大特征值 λ_{\max} 越大的多馈入系统交流受端对直流的支撑能力越强，系统电压稳定性越强。

5. 结论

在传统研究多馈入交直流受端系统静态电压稳定的所用的多端口戴维南等值模型的基础上提出了一种多馈入受端系统解耦模型，多馈入交直流系统被等效为多个单馈入系统，实现了多馈入交直流系统的解耦。在解耦模型中，通过分析受端系统等值阻抗矩阵对角化后各个特征值的物理意义，应用单馈入系统静态电压稳定的分析方法提出了新的多馈入电压稳定评价指标(最大特征值 λ_{\max})，并在 BPA 软件中搭建了两个电气结构相同而新指标 λ_{\max} 计算值不同的简单三馈入交直流系统模型，并进行线路三相短路故障仿真，根据两个系统的电压频率波动图说明了新评价指标对多馈入交直流系统受端电压稳定的分析具有指导意义。

基金项目

国家电网公司科技项目，5201011600TS；国家重点研发计划重点专项，2016YFB0101900。

参考文献 (References)

- [1] 温家良, 吴锐, 彭畅, 等. 直流电网在中国的应用前景分析[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(13): 7-12.
- [2] 韩祯祥, 徐政. 直流输电中的多馈入问题[J]. 加入 WTO 和中国科技与可持续发展——挑战与机遇, 责任和对策(上册), 2002.
- [3] 杨卫东, 徐政, 韩祯祥. 多馈入交直流电力系统研究中的相关问题[J]. 电网技术, 2000, 24(8): 13-17.
- [4] 陈修宇. 多馈入直流系统电压相互作用及其影响[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京华北电力大学, 2012.
- [5] Franken, B. and Andersson, G. (1990) Analysis of HVDC Converters Connected to Weak AC Systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 5, 235-242. <https://doi.org/10.1109/59.49111>
- [6] 郭小江. 多直流馈入系统特性及其评估方法研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2013.
- [7] 邵瑶, 汤涌. 多馈入直流系统交互作用因子的影响因素分析[J]. 电网技术, 2013, 37(3): 794-799.
- [8] 林伟芳. 多馈入交直流系统电压稳定分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国电力科学研究院, 2008.
- [9] 林伟芳, 汤涌, 卜广全. 多馈入交直流系统短路比的定义和应用[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(31): 1-8.
- [10] Davies, J. (2007) CIGRE WG B4.41 Report: Systems with Multiple DC Infeed. CIGRE Electra, 2007.
- [11] Xu, W., Pordanjani, I.R., Wang, Y., et al. (2012) A Network Decoupling Transform for Phasor Data Based Voltage Stability Analysis and Monitoring. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3, 261-270. <https://doi.org/10.1109/TSG.2011.2163175>
- [12] 林伟芳, 汤涌, 卜广全. 多馈入交直流系统电压稳定性研究[J]. 电网技术, 2008, 32(11): 7-12.
- [13] 邵瑶, 汤涌. 多馈入交直流混合电力系统研究综述[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 24-30.
- [14] 张梅. 交直流混合系统电压稳定性分析的研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 四川大学, 2006.
- [15] 汤涌. 电力系统电压稳定性分析[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [16] Taylor, C.W. (1994) *Power System Voltage Stability*. McGraw-Hill, New York.
- [17] 周双喜, 朱凌志, 郭锡玖, 等. 电力系统电压稳定性及其控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [18] Zhao, J., Wang, Z., Chen, C., et al. (2017) Robust Voltage Instability Predictor. *IEEE Transactions on Power Systems*, 32, 1578-1579.

附录 A

Table A1. DC system parameters of example A

表 A1. 算例 A 直流系统参数

	整流侧	逆变侧
换流母线	HLZ11, HLZ21, HLZ31	HLZ12, HLZ22, HLZ32
直流电压(kV)		500
直流电流(kA)		3.1
直流功率(MW)		1000
触发角(°)	15	
熄弧角(°)		18
控制方式	定功率	定熄弧角

Table A2. AC system parameters of example A

表 A2. 算例 A 交流系统参数

节点名称	电压		发电机输出功率		负荷功率	
	幅值(p.u)	相角(°)	有功功率(MW)	无功功率(MVar)	有功功率(MW)	无功功率(MVar)
发电机 1	1.01	0	802.1	1915.8	0	0
发电机 2	1.01	2.1	4000.0	1937.0	0	0
发电机 3	1.01	6.3	4000.0	1965.2	0	0
发电机 4	1.0	0	1500.6	350.3	0	0
发电机 5	1.0	0	1500.6	349.2	0	0
发电机 6	1.0	0	1500.6	349.2	0	0
母线 A	1.023	-4.4	0	0	6000.	1000.
母线 B	1.004	1.35	0	0	2400.	900.
母线 C	1.024	-1.48	0	0	4000.	900.
母线 1	1.031	-0.74	0	0	0	0
母线 2	1.04	-0.66	0	0	0	0
母线 3	1.029	2.12	0	0	0	0
母线 4	0.992	6.88	0	0	300.	0
母线 5	0.890	16.82	0	0	300.	0
母线 6	0.890	16.82	0	0	300.	0
HLZ12	0.991	8.19	0	0	0	0
HLZ22	0.884	18.42	0	0	0	0
HLZ32	0.884	18.42	0	0	0	0

Table A3. Impedance and power flow of AC system of example A**表 A3.** 算例 A 受端交流系统线路阻抗及潮流

节点	节点	线路阻抗(p.u)	线路电纳(p.u)	有功潮流(MW)	无功潮流(Mvar)
HLZ12	母线 4	0.0015	0	1498.4	-93.5
HLZ22	母线 5	0.0015	0	1472.1	-347.8
HLZ32	母线 6	0.0015	0	1472.1	-347.8
母线 1	母线 A	0.0025	0.0044	2693.0	427.0
母线 1	母线 B	0.002	0.0039	-1890.7	1421.1
母线 2	母线 A	0.0021	0.0076	3306.9	954.6
母线 2	母线 C	0.0022	0.00372	693.1	750.0
母线 3	母线 B	0.002	0.0089	693.0	1271.1
母线 3	母线 C	0.002	0.00522	3306.7	343.7
母线 B	母线 4	0.008	0	-1198.7	211.1
母线 B	母线 5	0.02	0	-1190.7	735.5
母线 B	母线 6	0.02	0	-1190.7	735.5

附录 B

Table B1. DC system parameters of example B**表 B1.** 算例 B 直流系统参数

	整流侧	逆变侧
换流母线	HLZ11, HLZ21, HLZ31	HLZ12, HLZ22, HLZ32
直流电压(kV)		500
直流电流(kA)		3.1
直流功率(MW)		1000
触发角(°)	15	
熄弧角(°)		18
控制方式	定功率	定熄弧角

Table B2. AC system parameters of example B**表 B2.** 算例 B 交流系统参数

节点名称	电压		发电机输出功率		负荷功率	
	幅值(p.u)	相角(°)	有功功率(MW)	无功功率(MVar)	有功功率(MW)	无功功率(MVar)
发电机 1	1.01	0	1901.3	648.2	0	0
发电机 2	1.01	1.14	4000.0	1219.2	0	0
发电机 3	1.01	3.98	4000.0	778.0	0	0
发电机 4	1.0	0	1000.4	56.9	0	0

Continued

发电机 5	1.0	0	1000.4	0	0	0
发电机 6	1.0	0	1000.4	0	0	0
母线 A	1.039	-4.65	0	0	5000.	1000.
母线 B	1.004	1.35	0	0	2400.	900.
母线 C	1.024	-1.48	0	0	4000.	900.
母线 1	1.052	-1.73	0	0	0	0
母线 2	1.049	-1.59	0	0	0	0
母线 3	1.051	-0.11	0	0	0	0
母线 4	1.082	0.62	0	0	500.	0
母线 5	1.082	0.62	0	0	500.	0
母线 6	1.082	0.62	0	0	500.	0
HLZ12	1.088	1.35	0	0	0	0
HLZ22	1.088	1.35	0	0	0	0
HLZ32	1.088	1.35	0	0	0	0

Table B3. Impedance and power flow of AC system of example B

表 B3. 算例 B 受端交流系统线路阻抗及潮流

节点	节点	线路阻抗(p.u)	线路电纳(p.u)	有功潮流(MW)	无功潮流(Mvar)
HLZ12	母线 4	0.0015	0	999.6	408.7
HLZ22	母线 5	0.0015	0	999.6	408.8
HLZ32	母线 6	0.0015	0	999.6	408.8
母线 1	母线 A	0.0025	0.0044	2231.3	654.5
母线 1	母线 B	0.002	0.0039	-330.0	-69.5
母线 2	母线 A	0.0021	0.0076	2768.7	596.7
母线 2	母线 C	0.0022	0.00372	1231.3	-140.3
母线 3	母线 B	0.002	0.0089	1231.3	1271.1
母线 3	母线 C	0.002	0.00522	2768.7	625.2
母线 B	母线 4	0.008	0	-499.6	-366.3
母线 B	母线 5	0.008	0	-499.6	-366.4
母线 B	母线 6	0.008	0	-499.6	-366.4

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：sg@hanspub.org