

超高压交流线路对平行架设特高压直流线路的电磁感应

李宝聚 郭雷 张磊

(国网吉林省电力有限公司, 吉林 长春 130021)

摘要: 交流输电线路与特高压直流输电线路平行架设时,通过电磁耦合交流线路会在特高压直流线路上感应出工频交流分量。感应产生的工频电流,经过换流器后会产生直流分量。此直流分量流经换流变压器,会导致换流变压器偏磁。采用 EMTDC 程序建立了交/直流输电系统仿真模型,对交流输电线路对平行架设的特高压直流输电线路产生的电磁感应影响进行仿真研究,分析了交/直流线路平行架设长度、接近距离、土壤电阻率、杆塔接地电阻等因素对特高压直流线路的工频电磁感应影响。另外,对比分析了超高压紧凑型线路、常规型线路分别与特高压直流线路平行架设时特高压直流线路上的工频感应电压、电流和直流偏磁电流。

关键词: 直流偏磁电流; 感应电压; 感应电流; 电磁感应; 仿真计算; 特高压直流

Abstract: When AC transmission line is in parallel with UHVDC line, it may cause electromagnetic influence upon UHVDC transmission line and the power-frequency AC component will occur along the UHVDC transmission line. The power-frequency AC current will be transformed into DC current by current converter. When flowing into converter transformer, DC current can cause magnetic bias. Based on EMTDC software, the simulation model of AC/DC transmission lines is established. The electromagnetic induction influence of AC transmission line on parallelly erected UHVDC transmission line is studied. The factors that affect the influence of electromagnetic induction on UHVDC transmission line are analyzed such as parallel erection length, adjacent distance, soil resistivity and tower grounding resistance. The power-frequency induced voltage, induced current and DC bias current in UHVDC lines which are in parallel with EHVAC compact line or EHVAC conventional line are compared and analyzed.

Key words: DC bias current; induced voltage; induced current; electromagnetic induction; simulation calculation; UHVDC
中图分类号: TM761 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)06-0066-04

随着输电线路的不断建设,输电线路走廊资源越来越紧缺。交流输电线路与直流输电线路平行架设共用走廊有时不可避免^[1-3]。交流线路与特高压直流线路平行架设时,由于两者之间存在的电磁耦合,交流输电线路会在平行架设的特高压直流输电线路中产生工频感应电压和电流。而工频电流通过直流输电线路进入两端换流站后,在换流器的作用下会在换流变压器阀侧产生直流偏磁电流^[4-9]。若变压器处在直流偏磁工作状态,将导致变压器的损耗、温升及噪音增大,甚至影响使用寿命。

根据云广±800 kV特高压直流线路参数,建立交/直流输电系统的仿真模型。在不同平行架设长度、不同接近距离(文中接近距离为线路杆塔中心之间的距离)、不同土壤电阻率、不同杆塔接地电阻的条件下,对特高压直流线路上的感应电压、电流以

及换流变压器阀侧的直流偏磁电流进行了仿真计算。对比分析了平行架设时超高压紧凑型线路和常规型线路对特高压直流线路的电磁影响。

1 超高压交流线路对平行架设特高压直流线路的工频电磁感应

1.1 系统概况及线路参数

以图1所示的超高压交流输电线路和云广±800 kV特高压直流输电线路并行为例,分析超高压交流线路对平行架设特高压直流线路的工频电磁感应影响^[10-11]。超高压交流输电线路输送功率为1 000 MW,云广特高压直流线路全长1 446 km,双极输送功率为5 000 MW。交/直流线路参数和杆塔布置见表1、2和图1。

表1 ±800 kV 直流线路导线和地线参数

名称	线路	地线
导线型号	6 × LGJ - 630/45	LBGJ - 180 - 20AC
导线外径/cm	3.36	1.75
直流电阻/(Ω · km ⁻¹)	0.046 33	0.709 8
分裂间距/cm	45.0	

表2 600 kV 超高压交流线路导线和地线参数

名称	线路	地线
导线型号	4 × LGJ - 400/35	LBGJ - 180 - 20AC
导线外径/cm	2.682	1.575
直流电阻/(Ω · km ⁻¹)	0.073 89	0.295 2
分裂间距/cm	45.0	

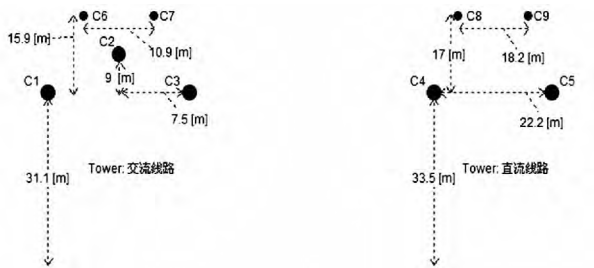


图1 交/直流线路平行架设的杆塔布置

1.2 超高压交流线路与特高压直流线路平行架设的仿真计算

特高压直流线路单独架设时整流侧的直流电压、电流波形如图2所示。交/直流线路平行架设时(平行长度为100 km、接近距离为50 m)特高压直流线路整流侧的直流电压、电流波形如图3所示。

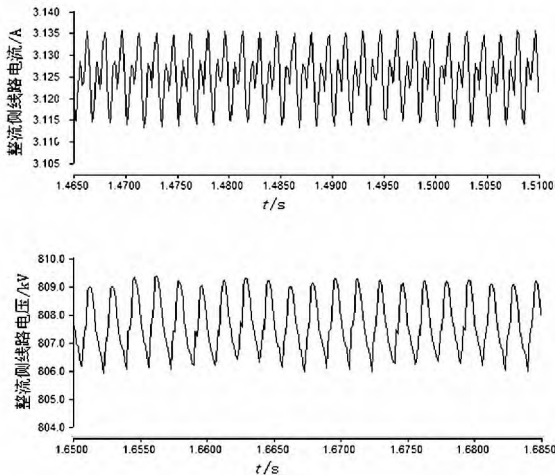


图2 特高压直流单独架设运行时线路电流、电压

对比图2、3可以看出,交/直流平行架设后,特高压直流线路电压、电流中的工频分量明显增加。超高压交流线路在平行架设特高压直流线路上感应出稳定的工频电压、电流。

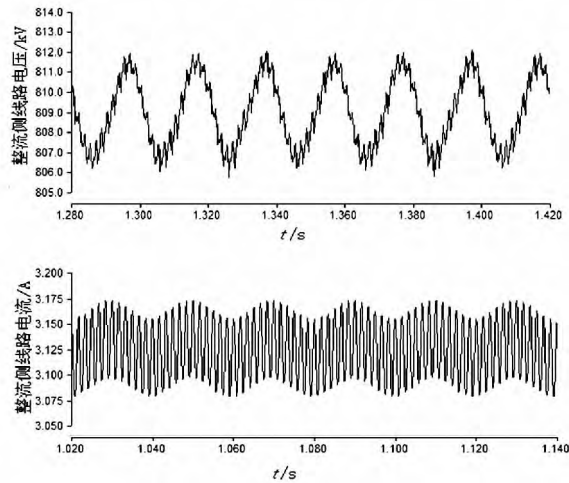


图3 交/直流平行架设时特高压直流线路电流、电压

2 交流线路对平行架设特高压直流线路电磁感应的影响因素

2.1 交/直流线路平行长度和接近距离

2.1.1 工频感应电压、电流

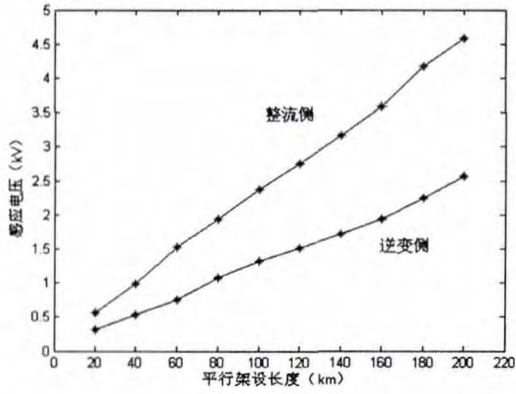
在接近距离为50 m时,不同平行架设长度下特高压直流线路上感应工频电压、电流如图4所示。平行长度100 km,不同接近距离下特高压直流线路上感应工频电压、电流如图5。

由图4、5可见,工频感应电压、电流随着交/直流线路平行架设长度的增加而增大,两者基本呈线性关系。工频感应电压、电流随着交/直流线路接近距离的增加而减小,当交/直流线路接近距离较近时,工频感应分量随着距离的增大衰减得很快,但当接近距离大于100 m时,工频感应分量的衰减幅度越来越小。

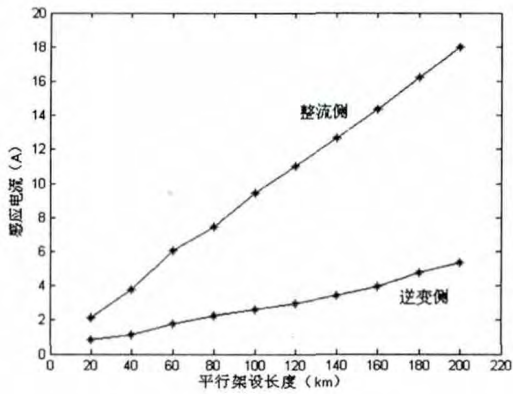
2.1.2 直流偏磁电流

工频感应电流通过直流输电线路进入两端换流站后,在换流器的作用下会在换流变压器阀侧产生直流偏磁电流。直流偏磁电流进入换流变压器后,可能导致换流变压器偏磁。特高压直流线路整流侧和逆变侧换流变压器阀侧直流偏磁电流如表3、4所示。

从表3、4可知,整流站与逆变站的换流变压器阀侧直流偏磁电流随着平行长度的增大而增加;随着接近距离的增大而逐渐衰减。交直流线路的平行长度和接近距离会受到换流变压器所承受的最大直流偏磁电流的制约。

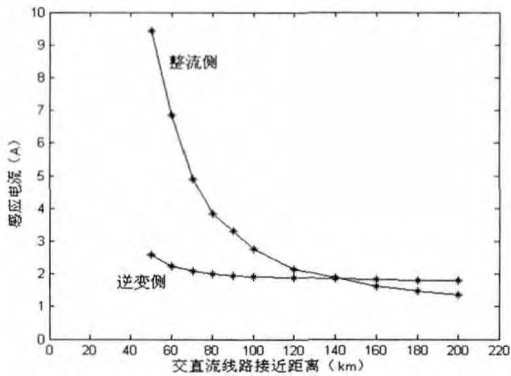


a 工频感应电压

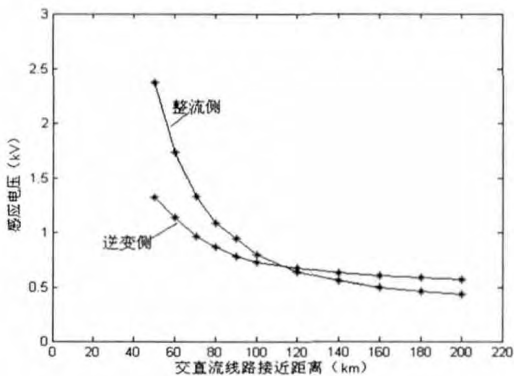


b 工频感应电流

图4 不同平行架设长度下的电磁耦合影响



a 工频感应电压



b 工频感应电流

图5 不同接近距离下的电磁耦合影响

表3 整流站换流变压器阀侧直流偏磁电流 /A

间距 /m	平行长度/km						
	20	40	60	80	100	120	140
50	1.57	3.31	5.22	6.45	7.91	8.92	10.3
60	1.28	2.23	3.46	4.61	5.83	6.27	7.33
70	1.08	1.71	2.37	4.01	4.34	4.81	5.47
80	0.73	1.52	1.89	2.53	3.54	3.75	4.36
90	0.64	1.27	1.51	2.11	3.16	3.32	3.61
100	0.57	1.05	1.34	1.82	2.49	2.72	3.07
120	0.49	0.79	0.99	1.42	1.98	2.11	2.37
140	0.42	0.71	0.88	1.13	1.62	1.75	1.93
160	0.38	0.64	0.76	0.97	1.34	1.48	1.62
180	0.36	0.59	0.67	0.83	1.12	1.21	1.38
200	0.32	0.55	0.62	0.75	1.02	1.11	1.19

表4 逆变站换流变阀侧直流偏磁电流 /A

间距 /m	平行长度/km						
	20	40	60	80	100	120	140
50	1.93	2.71	3.51	4.38	5.34	6.34	7.49
60	1.67	2.45	3.34	3.97	4.74	5.58	6.17
70	1.61	2.32	2.77	3.69	4.38	5.21	5.99
80	1.54	2.21	2.63	3.47	4.03	5.11	5.74
90	1.51	2.12	2.55	3.31	3.87	5.01	5.43
100	1.49	2.01	2.44	3.23	3.56	4.89	5.11
120	1.46	1.92	2.15	2.92	3.33	4.24	4.49
140	1.42	1.79	1.95	2.44	3.11	3.76	3.99
160	1.36	1.68	1.83	2.21	2.84	3.39	3.55
180	1.32	1.61	1.75	2.09	2.63	3.11	3.19
200	1.27	1.52	1.68	1.82	2.42	2.69	2.92

2.2 土壤电阻率和杆塔接地电阻

图6、7为不同土壤电阻率、杆塔接地电阻下,直流系统中电磁感应参量的变化情况。

由图6可知,平行段土壤电阻率对直流线路工频感应电压、电流以及直流偏磁电流的影响很小。由图7可知,随着平行段杆塔接地电阻的增大,直流线路工频感应电压、电流以及直流偏磁电流也有所增加,但增加幅度较小。

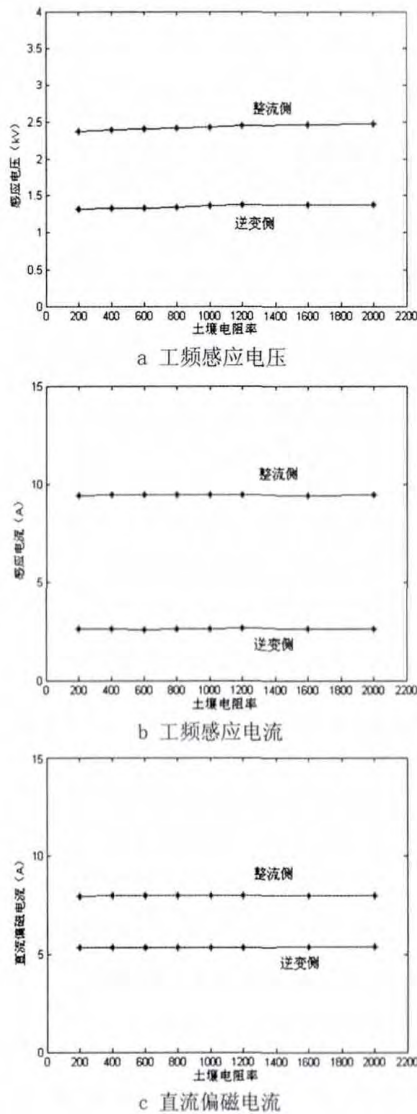


图6 电磁感应参量随土壤电阻率的变化趋势

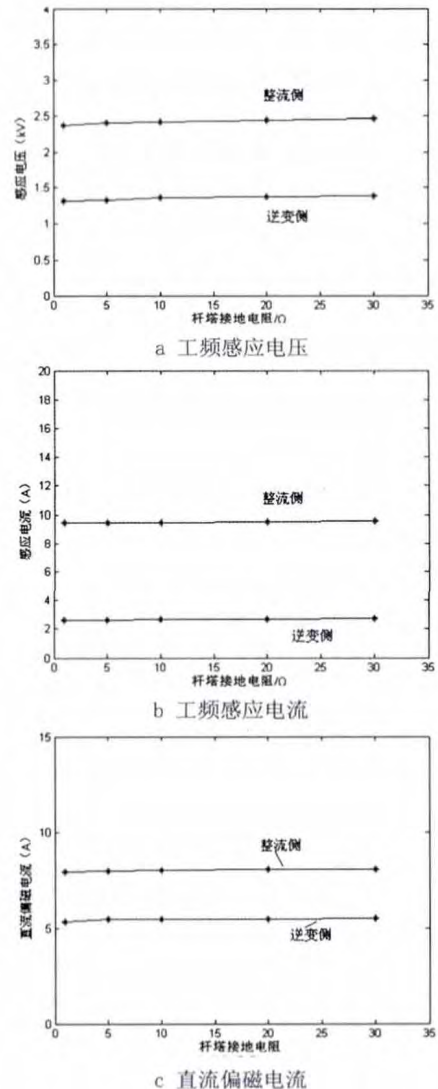


图7 电磁感应参量随杆塔接地电阻的变化趋势

3 超高压紧凑型、常规线路对平行架设特高压直流线路的电磁影响

超高压紧凑型线路和常规线路的导线布置以及导线参数如图8、表2.5所示。

表5 超高压紧凑型线路的导线和地线参数

名称	线路	地线
导线型号	6 × LGJ - 300/40	GJ - 80
导线外径 /cm	2.394	1.105
直流电阻 /($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)	0.073 89	2.864 5
分裂间距/cm	37.5	

超高压常规线路的输送功率控制在1 000 MW，由于紧凑型线路自然功率大，将其输送功率控制在1 500 MW。那么，直流线路上的感应参量见表6。

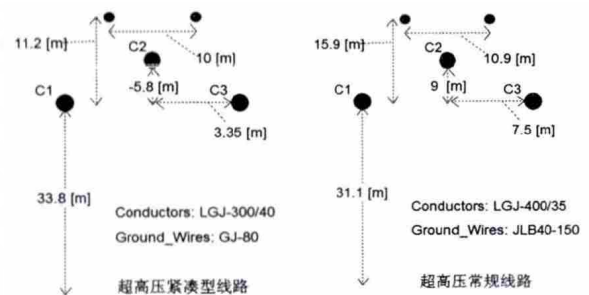


图8 超高压紧凑型线路及常规线路导线布置

表6 超高压线路对平行架设特高压直流线路的电磁影响

线路	整流侧			逆变侧		
	感应电压 /kV	感应电流 /A	直流偏磁电流 /A	感应电压 /kV	感应电流 /A	直流偏磁电流 /A
超高压紧凑型线路	1.28	5.31	5.36	1.06	2.35	4.39
超高压常规线路	3.5	13.3	11.89	3.18	7.3	12.89

(下转第91页)

应、电磁感应和自由振荡 3 个过程组成 所以冲击电压通过 CVT 的隔离变换后 低压侧波形出现了失真 暂态过电压在 CVT 中并不是按其额定变比来传递的。

2) 低压侧输出地电压信号与高压侧冲击电压信号几乎同时出现 极性相同。实测结果表明 高压侧电压幅值与低压侧输出的稳态电压值是按照 CVT 的额定变比传递的。

3) 当冲击电压参数和副边电阻一定时 原边电阻越大, 高压侧电压幅值就越大, 波前时间亦越长, 低压侧响应电压波形振荡越剧烈; 当冲击电压参数和原边电阻一定时, 副边电阻越大, 低压侧响应电压幅值就越大, 波前时间反而越短, 但对高压侧电压的幅值和波前时间几乎不影响。

虽然, CVT 不能完整地传变高频暂态信号, 但低压侧响应波形波头部分的特性与一次侧是一致的。在合理配置 CVT 电路参数的情况下, 依然能够使低压侧响应波形满足相关标准的要求, 并运用于暂态过电压的在线监测中。

参考文献

[1] 郭克勤, 刘翔, 陈鹏, 等. 电容式电压互感器传递过电

(上接第 69 页)

由计算结果可知, 由于紧凑型线路减小了交流三相线路对直流线路电磁耦合影响的不平衡, 交流紧凑型线路要比常规线路对特高压直流线路的电磁影响明显减小。

5 结 论

(1) 交/直流平行架设后, 特高压直流线路电压、电流中的工频分量明显增加。超高压交流线路会在平行架设特高压直流线路产生工频感应电压、电流。特高压直流线路换流变压器阀侧产生直流偏磁电流。

(2) 特高压直流线路工频感应电压、电流和换流变压器阀侧直流偏磁电流随着交/直流线路平行架设长度的增加而增大, 两者基本呈线性关系; 随着交/直流线路接近距离的增加而减小, 呈非线性关系。

(3) 并行段土壤电阻率和杆塔接地电阻对特高压直流线路工频感应电压、电流以及直流偏磁电流的影响很小。

(4) 对平行段特高压直流线路的电磁影响, 超高压交流紧凑型线路比常规线路明显减小。

参考文献

[1] 陆国庆, 何宏明, 张军. 交直流输电线路相邻架设或共

压试验研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2009, 30(4): 25-28.

- [2] 赵智大. 高电压技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [3] Martinez, J. A; Walling, R; Mork, B. A, et al. Parameter Determination for Modeling System Transients - Part III: Transformers [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(3): 2051-2062.
- [4] 姚晓健, 蔡祖安, 陈红. 电容式电压互感器的高频暂态特性仿真分析[J]. 湖南电力, 2011, 31(2): 13-16.
- [5] 曾祥君, 刘正谊, 屈明志, 等. 互感器暂态行波传输特性仿真分析与实验测试[J]. 长沙理工大学学报: 自然科学版, 2004, 1(1): 71-75.
- [6] 王黎明, 方斌. 500 kV 电容式电压互感器暂态特性仿真[J]. 高电压技术, 2012, 38(9): 2389-2396.
- [7] Hassan Khorashadi Zadeh, Zuyi Li. A Compensation Scheme for CVT Transient Effects Using Artificial Neural Network [J]. Electric Power Systems Research, 2008(78): 30-38.
- [8] D. Fernandes Jr, W. L. A. Neves, J. C. A. Vasconcelos. Coupling Capacitor Voltage Transformer: A Model for Electromagnetic Transient Studies [J]. Electric Power Systems Research, 2007(77): 125-134.

(收稿日期: 2013-09-27)

用走廊的探讨[J]. 高电压技术, 1997, 23(4): 68-70.

- [2] 黎小林, 黄琦, 唐剑, 等. 交流线路对邻近并行直流线路影响[C]. 中国电机工程学会 2006 无线电干扰和变电站电磁兼容研讨会 2006.
- [3] 周沛洪, 修木洪, 聂定珍. 同廊道架设交直流线路的相互影响[J]. 高电压技术, 2003, 29(9): 5-9.
- [4] 马为民. 换流变压器中直流偏磁电流的计算[J]. 高电压技术, 2004, 30(11): 48-49.
- [5] 赵松涛. 交流输电线路对并行直流输电线路电磁感应的仿真研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2006: 1-2.
- [6] ±800 kV 直流输电技术研究[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [7] Tiebing Lu, Songtao Zhaoxiang Cui. Simulation of Electromagnetic Induction on DC Transmission Lines from Parallel AC Transmission Lines [C]. Electromagnetic Compatibility 2007: 114-117.
- [8] E. V. Larsen, R. A. Walling, C. J. Bridenbaugh. Parallel AC/DC Transmission Lines Steady-state Induction Issues. [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1989, 4(1): 667-673.
- [9] 曾嵘, 唐剑, 张波, 等. 交直流输电线路并行对换流变直流偏磁影响及对策[J]. 陕西电力, 2008, 36(9): 1-5.
- [10] 王琦, 曾嵘, 唐剑. 罗百交流线路对云广±800 kV 直流电磁干扰研究[J]. 南方电网技术 2007, 3(1): 27-31.
- [11] 刘振亚. 特高压直流输电技术研究成果专辑 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

(收稿日期: 2013-07-01)