

逆变器交流侧等值工频电气量暂态特性分析

袁静 陈林 吴长敏 叶辉

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610066)

摘要: 随着交直流混联系统在中国的逐步形成, 交流系统的运行环境变得更为复杂。详细分析了逆变器交流侧等值工频电气量暂态特性, 分析发现逆变器交流侧等值电流的暂态特性与纯交流系统完全不同, 但电压的暂态特性变化不大。并基于暂态特性的分析进一步指出了在交直流互联系统当中, 交流侧传统的继电保护可能存在的问题。最后基于 PSCAD/EMTDC 仿真验证了结论的正确性。

关键词: 交直流互联系统; 逆变器; 低压限流; 继电保护

Abstract: With the completion of AC/DC interconnected system in China, the operation environment of AC system becomes more complicated. Firstly, the transient characteristics of equivalent power-frequency components in AC side of inverter are analyzed in detail. Then, the results show that the effect of AC/DC interconnected system on AC voltage is little. On the contrary, the power-frequency current is affected by the AC/DC interconnected system significantly. Then, the possible problems of traditional relay protection are presented based on the analysis of the transient characteristics of power-frequency components. At last, the simulation results based on PSCAD/EMTDC platform prove the conclusion to be correct.

Key words: AC/DC interconnected system; inverter; VDCOL; relay protection

中图分类号: TM464 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)01-0063-03

0 引言

随着高压直流输电(high voltage direct current, HVDC)的迅速发展, 交直流混合输电电网在中国已逐步形成。HVDC 在实现远距离、大容量、非同步电网互联等方面具有独特优势^[1-2], 因此在中国得到了迅速的发展。但是交流系统故障会导致逆变器不正常工作, 严重时会导致换相失败的发生, 使得逆变器产生复杂的电磁暂态过程, 可能导致传统的交流侧继电保护不正确动作。

现阶段, 世界范围内的继电保护都是利用电流(如过流保护、差动保护等)、电压(低电压保护)以及两者相结合(距离保护等)对电力系统进行保护。现阶段, 纯交流系统在故障期间电流、电压的暂态过程已经清楚, 即电流显著增大, 电压降低^[3]; 但交直流互联系统中, 逆变器交流侧等值电气量的暂态过程对交流系统的暂态环境会产生重大影响; 同时考虑到现有继电保护都是基于工频电气量, 因此研究逆变器交流侧等值工频电气量暂态特性是很有必要的。

下面重点分析了逆变器交流侧等值工频电流、换流母线电压的暂态特性。分析结果表明, 交直流互联系统对换流母线电压的影响不大; 但由于直流控制系统的影响, 逆变器交流侧等值工频电流的暂态特性与纯交流系统电流的暂态特性截然不同, 由于直流控制(主要为低压限流控制)的原因, 幅值一般呈现出先增大后减小的趋势。并进一步指出了交直流互联系统对传统继电保护可能造成的影响。最后基于 PSCAD/EMTDC 仿真验证了结论的正确性。

1 逆变器交流侧等值电气量暂态特性分析

图1所示为交直流互联系统图, 其中图1(a)为正常运行状态时等效电路图; 图1(b)为故障时等效电路图。图1(b)中分为两大部分, 一部分是纯交流系统 E_M 和 E_N , 另一部分是逆变器等值交流系统, 如图中虚线框所示。

纯交流系统电气量的暂态特征在此不再累述, 重点分析逆变器交流侧等值电流 $i_{dc, eq1}$ 以及换流母线电压 u_{bus} 的暂态特性。由于直流控制等非线性因

素的影响,现阶段对于逆变器交流侧等值电气量的暂态特性只能借助于仿真手段。下面利用 PSCAD/EMTDC 搭建了如图 1(b) 所示的仿真模型,重点对 u_{bus} 和 $i_{dc,eq1}$ 的暂态特性展开研究。表 1 给出了线路 T 的仿真参数。

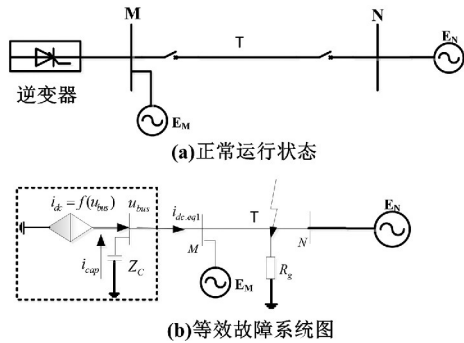


图 1 交直流互联系统等效电路图

表 1 线路 T 参数列表

参数	数值
长度/km	100
$Z_1 / (\Omega \cdot \text{km}^{-1})$	$0.025 + i \times 0.3$
Z_0	$0.075 + i \times 0.9$
电压/kV	230

1.1 逆变器交流侧等值电压暂态特性分析

图 2 虚线表示在距 M 侧 50 km 处发生 A 相经 20Ω 过渡电阻接地故障时换流母线电压幅值变化曲线图;实线表示去掉逆变器等值交流系统后换流母线电压变化曲线。通过图 2 对比可以看出,当存在逆变器等值交流系统时,会对换流母线处的电压产生影响,但影响不大。这是由于直流控制系统中,无论是定电流控制,还是定电压控制,都是对直流电气量产生影响,并未对交流电压量进行控制,因此逆变器等值电压暂态特性与纯交流环境中电压的暂态特性差异不大。

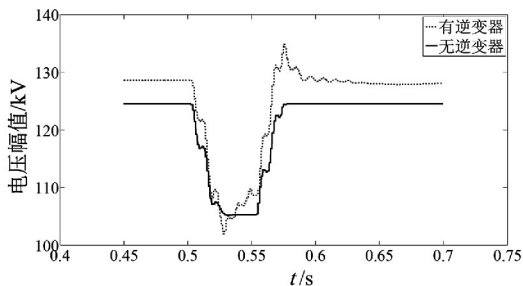


图 2 换流母线电压幅值对比图

1.2 逆变器交流侧等值电流暂态特性分析

图 3 给出了当交流系统发生故障时,逆变器等

值工频电流 $i_{dc,eq1}$ 幅值的典型变化趋势图。由图 3 可以看出,逆变器等值工频电流幅值在故障期间,先增大后迅速减小,与纯交流系统电流迅速增大的暂态过程完全不同。这是由于直流系统控制,使得直流电流的整定值在交流故障期间迅速降低,通过调制理论可得,交流侧电流是直流电流的调制^[8],所以直流电流降低,交流侧电流也随之降低。其中低压限流环节(voltage dependent current order limit, VDCOL)是造成直流电流整定值下降的主要原因。

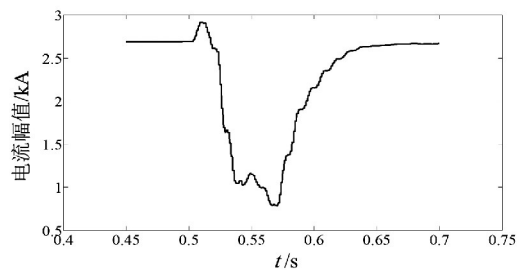


图 3 $i_{dc,eq1}$ 幅值典型变化趋势

图 4 表示在交流故障期间(故障形式与图 2 完全相同) VDCOL 的变化曲线图。通过图 4 可以看出,故障未发生时,直流电流整定值为 1 p.u。故障期间,直流电流的整定值最低降到 0.58 p.u,因此造成了逆变器交流侧工频电流幅值不升反降。

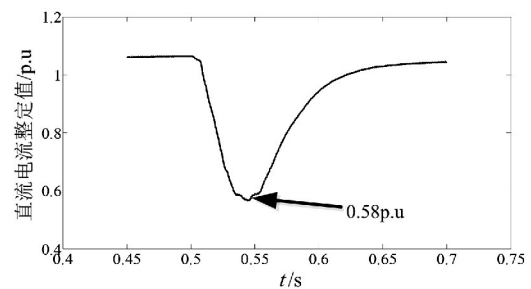


图 4 VDCOL 变化示意图

1.3 交直流互联系统对交流侧保护的影响探讨

通过上面的分析可以看出,交直流互联系统对交流侧电压影响不大,因此对利用电压量构成的继电保护影响有限;但对交流侧电流影响较大,呈现出下降的趋势,这对利用电流量构成的保护会产生较大影响,如可能引发电流差动保护拒动^[4-5],导致距离保护稳态超越等^[6];并且可能会引发基于电流差突变量选相元件误选相^[7]。因此,需要深入研究逆变器交流侧等值电流暂态特性,对进一步研究交直流互联系统对交流侧保护的影响意义重大。

2 仿真算例

基于 PSCAD/EMTDC 搭建了如图 1(a) 所示的交直流互联系统,其中直流控制部分采用国际大电网会议提供的标准测试模型,交流侧故障开始时刻为 0.5 s。

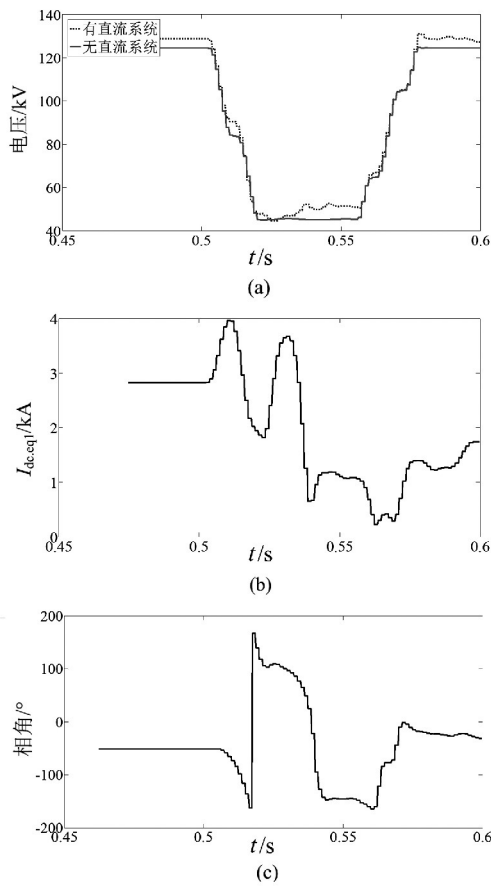


图5 交直流互联系统对交流电气量的仿真分析

图5表示距M侧10 km处发生了A相金属性短路时仿真分析图,其中图5(a)表示有无直流系统时换流母线电压幅值变化曲线图,其中虚线表示存在直流系统时电压幅值的大小,实线表示无直流系统时电压幅值的大小。通过两者的比较可以看出,交直流互联系统对电压影响不大;图5(b)表示电流 $I_{dc,eq1}$ 的变化曲线图。通过图5(b)可以看出,直流系统注入交流系统的电流特性较为复杂,一般呈现出先增大后减小的趋势,这是由于直流控制,特别是低压限流环节的作用,这与纯交流系统故障电流显著增大的特点差异较大;图5(c)表示电流 $I_{dc,eq1}$ 相角的变化情况,纯交流系统中电流相角变化较为平稳,显然在交直流互联系统中,相角在故障期间变化范

围很大,而且较为复杂。因此交直流互联系统不仅对电流幅值影响较大,对电流的相角影响也较为严重。这些特点都会对传统的交流侧继电保护产生影响。

3 结论

通过对逆变器等值工频电气量的研究发现,交直流互联系统对交流侧电压影响不大;但由于直流控制的原因,特别是低压限流环节的影响,使得交流侧等值工频电流变化趋势与纯交流系统中电流的暂态过程完全不同,进而会对传统的交流系统的继电保护产生重大影响,因此需要引起相关从业者的注意。

参考文献

- [1] 浙江大学直流输电科研组. 直流输电[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985: 181-182.
- [2] 李兴源. 高压直流输电系统[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 110-120.
- [3] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005: 113-115.
- [4] 申洪明, 黄少锋, 费彬. 交直流互联系统对电流差动保护的影响分析及对策[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2014, 41(4): 1-6.
- [5] 张璞. 多直流馈入受端交流电网继电保护动作特性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [6] 张璞, 王钢, 李海锋. 直流馈入下的输电线路距离保护动作特性分析[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(6): 56-62.
- [7] 张健康, 索南加乐, 焦在滨, 等. 交直流混联电网突变量选相元件动作性能分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(17): 76-80.
- [8] 刘俊磊, 王钢, 李海锋, 等. HVDC系统换相失败对交流电网继电保护影响的机理分析[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(19): 111-118.

作者简介:

袁静(1988), 助理工程师, 主要从事电力系统维护与检修;

陈林(1987), 助理工程师, 主要从事电力系统后勤保障工作;

吴长敏(1986), 工程师, 主要从事电气一次检修维护;

叶辉(1976), 工程师, 主要从事电气一次检修维护。

(收稿日期: 2015-09-25)