

风机中参数变化对变流器直流侧电容可靠性的影响分析

周 涖,薛 赛,李 剑,陈 实,王时征

(重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室,重庆 400030)

摘要:以风电机组功率变流器可靠性评估为背景,给出了一种直流侧电容的可靠性评估方法。基于电容的损耗计算方法,结合热网络结构,构建了直流侧电容的可靠性分析流程。综合考虑电容的可靠性影响因素,分析了环境温度、风速、电容等效串联电阻及热阻的变化对直流侧电容可靠性的影响。以某风电场 2 MW 双馈风电机组结合实际风速、气温数据为例进行验证,实例结果验证了理论分析的正确性。讨论了当风电变流器实际工作时,利用优化变流器直流侧设计或电容的散热环境等措施提高直流侧电容的可靠性,结果表明了所提方案的可行性。

关键词: 风电机组; 功率变流器; 直流侧电容; 参数变化; 可靠性; 影响分析

中图分类号: TM 614

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.11.004

0 引言

随着风电技术的发展和风机容量的增加,电力系统对风电装置可靠性的要求越来越高。功率变流器是风力发电系统的核心装置,影响着风电机组的输出功率及其并网稳定性^[1-2]。因风速和气温的波动,风电变流器输出的功率具有不稳定性,因此需要储能装置平衡变流器系统中的功率差异^[3]。直流侧电容常被作为储能装置用在变流器中,主要起吸收逆变单元向直流侧索取的高幅值纹波电流、维持直流侧电压稳定的作用^[4-5]。研究表明,功率变流器是风能转换系统的主要失效组件之一,而且其中超过 20% 的故障是由直流侧电容的失效引起的^[6-8]。综上所述,研究影响直流侧电容可靠性的影响因素,并提出相应的改进措施,对提高直流侧电容和变流器的可靠性有重要意义。

目前,已有文献主要是从电容的失效机理及其承受的电应力角度出发,研究直流侧电容的可靠性。如文献[9]从电容的纹波电压角度研究了满足直驱风电系统的变流器可靠性的要求;文献[10]根据变流器可靠性对直流侧电容纹波电流的要求,分析了脉宽调制(PWM)变流器直流侧电容的设计方法;文献[11]针对电容容量和等效串联电阻的退化,建立了铝电解电容失效与变流器纹波电压的关系,但上述方法仅考虑电容工作时所承受的电应力对其可靠性的影响,未考虑电容纹波电流与内部温升的关系。文献[12-13]根据直流侧电容的失效模式及失效机理,分析了导致电容可靠性降低的主要因素,并提出了面向直流侧电容

可靠性的设计流程,具有一定的借鉴意义。文献[14]通过将光伏变流器运行时的太阳辐射度和环境温度转换为电容的应力剖面,通过分析直流侧电容的电应力及热应力的变化,分析电容的可靠性,但没有分析变流器参数差异对直流侧电容可靠性的影响。文献[15]通过引入应力加速因子,进而衡量电容容量等电容参数的变化对输出电压和功率损耗的影响,在此基础上建立电容的故障率计算模型,但是该模型计算的是器件的平均无故障时间,不能反映电容实时可靠性。

基于此,本文在分析电应力对电容可靠性的影响的基础上,结合电容的热网络结构,给出了变流器直流侧电容的可靠性预测流程图;然后结合电容的失效机理,分析风电机组参数对电容纹波电流及热点温度的影响;最后以实际风速气温数据为例,分析验证风机中参数变化对直流侧电容可靠性的影响,并在此基础上进一步讨论了提高直流侧电容可靠性的措施。

1 变流器直流侧电容可靠性评估模型

1.1 直流侧电容寿命评估

电容的可靠性主要受其在工作时承受的电应力 and 热应力的影响。如铝电解电容的失效主要是由电解液蒸发和电化学反应引起的。文献[16]给出了电容寿命与其运行环境间的关系,如式(1)所示。

$$L_{op}=L_{rated}\left(\frac{U_{rated}}{U_{op}}\right)^n e^{-\frac{E_a}{K_b}\left(\frac{1}{T_{rated}}-\frac{1}{T_{hop}}\right)} \quad (1)$$

其中, U_{rated} 和 U_{op} 分别为电容的额定电压及实际运行电压; T_{rated} 和 T_{hop} 分别为电容在额定条件下和实际运行条件下的热点温度; L_{op} 为电容在电压 U_{op} 和温度 T_{hop} 下运行时的寿命; L_{rated} 为电容在额定电压 U_{rated} 和额定温度 T_{rated} 下运行时的寿命; K_b 为波兹曼系数; E_a 和 n 分别为活化能和与电压相关的常数,在本文中分别取 1.19 和 2.46。

为体现电容在工作中的寿命损耗偏离额定寿命的

收稿日期:2016-12-23;修回日期:2017-08-10

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2012CB215205)

Project supported by the National Basic Research Program of China(973 Program)(2012CB215205)

程度,引入文献[17]的方法,通过寿命损耗加速因子比较电容在不同运行条件下的可靠性,其计算方法为:

$$A_F = \frac{L_{\text{rated}}}{L_{\text{op}}} = \left(\frac{U_{\text{op}}}{U_{\text{rated}}} \right)^n e^{\frac{E_a}{K_b} \left(\frac{1}{T_{\text{rated}}} - \frac{1}{T_{\text{op}}} \right)} \quad (2)$$

由于电容的稳压作用,所以电容两端电压在运行时相对稳定,因此对电容寿命影响较大的是其热点温度。

1.2 直流侧电容的热模型

为分析风电机组参数对直流侧电容电应力和热应力的影响,基于电热比拟理论,结合如图 1 所示的双馈风电机组拓扑结构,建立变流器直流侧电容的热模型。

电容的电模型常等效为由理想电容、等效串联电阻和等效串联电感串联组成,如图 2 所示。则直流侧电容在运行中承受的电力为:

$$\Delta u \approx \frac{P_0}{2\pi f_g C_{\text{dc}} U_{\text{dc}}} \quad (3)$$

$$i_{\text{c,RMS}} \approx \frac{P_0}{\sqrt{2} U_{\text{dc}}} \quad (4)$$

其中, Δu 为直流侧的纹波电压值; P_0 为网侧变流器的输入功率; f_g 为电网频率; C_{dc} 为直流侧电容; U_{dc} 为直流侧电压; $i_{\text{c,RMS}}$ 为纹波电流的均方根值。

由于电容存在阻抗,使电容在运行中产生功率损耗,进而使电容内部温度升高。电容的电模型与热模型的关系如图 2 所示,图中 ESR 和 ESL 分别为电容的等效串联电阻和等效串联电感, C 为理想电容, $P_{\text{C,loss}}$ 为电容的功率损耗, T_h 和 T_c 分别为电容的热点温度和壳温, R_{thhc} 和 R_{thca} 分别为电容热点到壳与壳到外部环境之间的热阻, R_{th} 为 R_{thhc} 与 R_{thca} 的和, T_a 为环境温度。

由于电容的等效串联电阻是随流经电容上的电流频率变化而变化的^[18-19],因此需要考虑不同谐波电流对电容可靠性的影响,文献[20]提出基于快速傅里叶变换(FFT)的电容功率损耗计算方法为:

$$P_{\text{C,loss}} = \sum_{h=1}^N I_{\text{ch}}^2 \cdot R_{\text{ESR}}(f_h) \quad (5)$$

其中, I_{ch} 为 h 次谐波电流的均方根值; N 为纹波电流的谐波数; $R_{\text{ESR}}(f_h)$ 为电容在 f_h 时的 ESR 值,可通过电容的制造厂家提供的数据表查询获得。

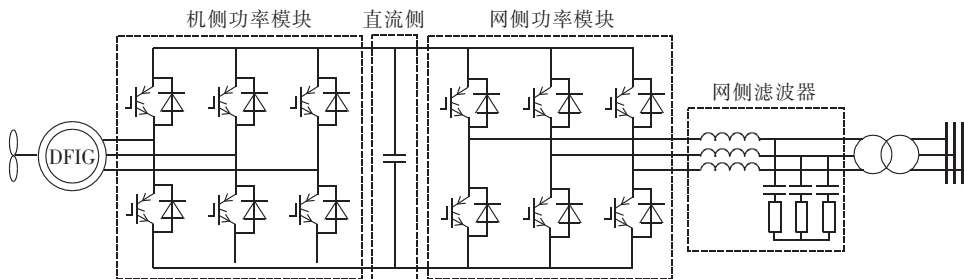


图 1 2 MW 风电机组拓扑结构
Fig.1 Topology of 2 MW wind turbine

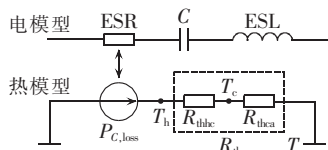


图 2 直流侧电容的简化电模型和热模型
Fig.2 Simplified electrical model and thermal model of DC-link capacitor

则由图 2 可知电容的功率损耗与热点温度的关系式为:

$$T_h = P_{\text{C,loss}}(R_{\text{thhc}} + R_{\text{thca}}) + T_a = P_{\text{C,loss}} R_{\text{th}} + T_a \quad (6)$$

1.3 可靠性评估步骤

基于前文的分析,风电变流器直流侧电容的可靠性评估流程如图 3 所示,首先收集风机运行时的风速、气温数据,结合式(4)计算直流侧电容的纹波电流,然后对纹波电流进行快速傅里叶变换,结合式(5)计算电容的功率损耗,接着利用热模型计算电容的热点温度,利用式(1)计算电容的寿命来评估其可靠性。

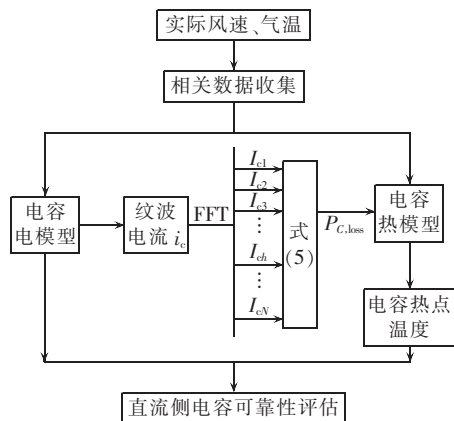


图 3 风电变流器直流侧电容可靠性评估流程
Fig.3 Flowchart of DC-link capacitor reliability evaluation in wind power converter

2 变流器参数对直流侧电容可靠性的影响

2.1 理论分析

由上述分析可知,直流侧电容的寿命主要受其承受的热应力所影响。依据图 2 的热模型可知,电容的

热点温度的大小主要受功率损耗、热阻和环境温度影响,功率损耗又由电容的 ESR 和纹波电流等参数决定。具体分析如下。

a. 当环境温度发生变化时,电容的热点温度也会随之波动。环境温度越高,电容的热点温度越高,其可靠性越低。

b. 由式(4)可知,当风速增大时,变流器处理和变换的功率增大,流经直流侧电容上的纹波电流增大,则电容的功率损耗、热点温度都会增大,进而缩短直流侧电容的寿命。

c. 当电容的 ESR 发生变化时,电容的功率损耗会受到影响,以致改变热点温度的大小。ESR 越小,电容的功率损耗越低,热点温度越小,因此电容的可靠性越高。

d. 由式(6)可知,电容的热阻增大,电容的热点温度增大,电容的寿命随之缩短。

2.2 实例验证

如图 4 所示,本文以甘肃某风电场测得的 2012 年 3 月 1 日的风速及气温数据作为评估变流器直流侧电容可靠性的基础,进而分析验证风速、环境温度及热阻的变化对直流侧电容可靠性的影响。风机参数如下:额定功率为 2 MW,切入风速为 3 m/s,额定风速为 9 m/s,切出风速为 16 m/s,网侧频率为 50 Hz,机侧频率为 0~100 Hz,开关频率为 3 kHz,直流侧电压为 1 100 V。变流器直流侧电容的参数如下:额定容量为 1 000 μF ,额定电压为 315 V,额定寿命(85 $^{\circ}\text{C}$)为 2000h,ESR(25 $^{\circ}\text{C}$)为 207 m Ω ,ESR(45 $^{\circ}\text{C}$)为 145 m Ω ,ESR(65 $^{\circ}\text{C}$)为 124 m Ω ,ESR(85 $^{\circ}\text{C}$)为 124 m Ω ,热阻为 3.6 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。按照图 3 所示直流侧电容可靠性的评估步骤,利用 MATLAB 绘制直流侧电容热点温度的变化情况,并得出相应的电容寿命。

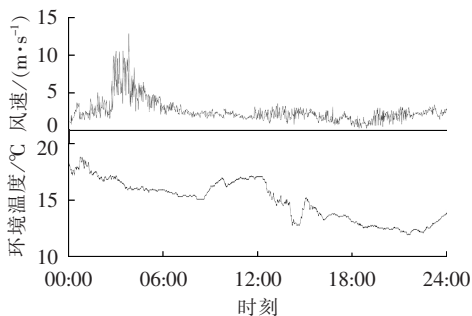


图 4 风电场一天的风速和气温剖面
Fig.4 Profile of daily wind speed and ambient temperature of wind farm

a. 环境温度的影响。当电容在额定电压下运行时,环境温度与直流侧电容的热点温度 T_{hp} 及寿命的关系见图 5。从图 5 可以看出,环境温度 T_a 越大,直流侧电容的寿命越短,这是因为环境温度越高,热点温

度越大,进而导致电容的寿命缩短。

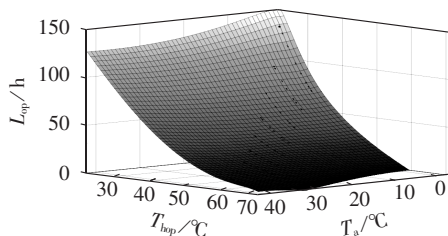


图 5 环境温度与直流侧电容热点温度及寿命的关系
Fig.5 Relationship between ambient temperature and hot-pot temperature and lifetime of DC-link capacitor

当风速保持在 12 m/s 时,环境温度与电容寿命损耗率的关系见表 1。从表 1 可以看出,当环境温度处于 45~65 $^{\circ}\text{C}$ 之间时,与环境温度处于 5~45 $^{\circ}\text{C}$ 相比,电容寿命损耗率增大得更多,即电容的可靠性降低得更快。当环境温度从 5 $^{\circ}\text{C}$ 升到 25 $^{\circ}\text{C}$ 时,电容寿命损耗率增加了 0.046 9,而当环境温度从 45 $^{\circ}\text{C}$ 升到 65 $^{\circ}\text{C}$ 时,电容寿命损耗率增加了 0.75。

表 1 环境温度与电容寿命损耗的关系
Table 1 Relationship between ambient temperature and capacitor consumed lifetime

$T_a/^{\circ}\text{C}$	寿命损耗率	$T_a/^{\circ}\text{C}$	寿命损耗率
5	0.015 6	45	0.25
25	0.062 5	65	1

b. 风机运行风速的影响。保持风机所在的环境温度为 25 $^{\circ}\text{C}$,风机在图 4 所示的风速下运行时,直流侧电容的热点温度如图 6 所示。从图 6 可以看出,当风速在 04:00 时有较大的波动时,电容的热点温度在 04:00 时也产生较大的变化。这是由于在较高风速段时,风机的输出功率较高,使直流侧电容的纹波电流和热点温度较高。

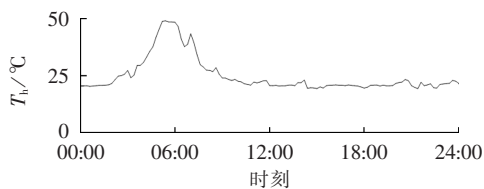


图 6 直流侧电容的热点温度
Fig.6 Hot-pot temperature of DC-link capacitor

c. ESR 的影响。当 ESR 发生变化时,直流侧电容热点温度及寿命损耗率的关系如表 2 所示。从表 2 中可以看出,当 ESR 增大时,电容寿命损耗率增大。

表 2 电容 ESR 与寿命损耗的关系
Table 2 Relationship between capacitor ESR and consumed lifetime

ESR/m Ω	寿命损耗率	ESR/m Ω	寿命损耗率
0.207	0.035 1	0.152	0.076 9
0.165	0.042 5		

d. 电容热阻的影响。电容在环境温度为 25 $^{\circ}\text{C}$ 下运行时,热阻的变化与直流侧电容寿命损耗率的关系

见表 3。从表 3 可以看出,电容的寿命损耗率随热阻的增大而增大。由于热阻的增加会引起壳温以及热点温度的增大,以致直流侧电容的寿命损耗变大。

表 3 电容热阻与寿命损耗的关系

Table 3 Relationship between capacitor thermal resister and consumed lifetime

$R_{th}/(^{\circ}C\cdot W^{-1})$	寿命损耗率	$R_{th}/(^{\circ}C\cdot W^{-1})$	寿命损耗率
3.6	0.0344	15.62	0.1514
6.1	0.0468		

3 提高直流侧电容可靠性措施的讨论

由式(1)和式(2)可知,直流侧电容的可靠性主要由电容的运行电压 U_{op} 及热点温度 T_{hop} 所决定,由于电容的稳压特性导致其两端的运行电压基本维持稳定,所以热点温度的大小对电容可靠性的影响更大。因此提高电容的可靠性主要从降低其热点温度的角度去考虑。

提高直流侧电容的措施总体上分为 2 种类型:优化直流侧设计,使电容能在可靠性较高的状态下持续运行;通过提高电容的制造技术,减少电容在工作中的寿命损耗率,提高直流侧电容的可靠性^[21-24]。

a. 改变直流侧的设计。

通过改变直流侧电容的结构设计,改变流经电容的纹波电流幅值,降低电容的热点温度,进而减少因纹波电流变化导致的电容可靠性降低。传统的变流器直流侧设计如图 7(a)所示。文献[21]采用在直流侧电容一侧增加附加电容的直流侧设计,如图 7(b)所示。

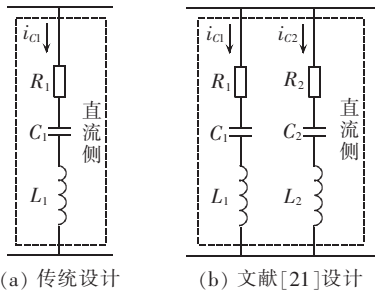


图 7 变流器直流侧的设计方案

Fig.7 DC-link design scheme of power converter

图 8 比较了在 250 kW 的逆变器中,直流侧 40 mF 的铝电解电容在附加 2 mF 的薄膜电容前后的纹波电流频域图。其中深灰色部分为图 7(a)中 C_1 的纹波电流,浅灰色部分为图 7(b)中 C_1 的纹波电流。从图 8 可以看出,在采用附加电容直流侧设计后,流经直流侧铝电解电容的纹波电流减少,则电容产生的功率损耗减少,热点温度降低,使其可靠性得到较为明显的提高。因此通过适当的直流侧设计可以提高直流侧电容的可靠性,但是增加的附加电路可能会引发变流器其他的失效行为,同时增加了变流器的成本,所以具体的直流侧电路的优化设计还需进一步研究。

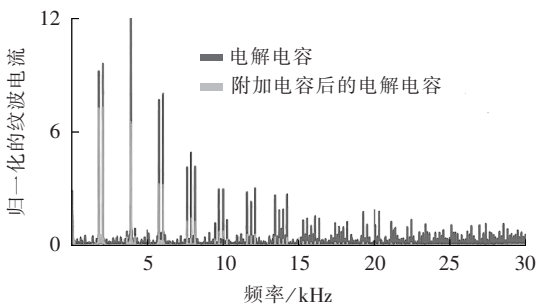


图 8 250 kW 逆变器中 40 mF 的铝电解电容在并联 2 mF 的附加电容前后的纹波电流

Fig.8 Ripple current before and after 40 mF aluminum electrolytic capacitor is paralleled with additional 2 mF capacitor for 250 kW inverter

b. 改变电容的散热环境。

作为处理和变换功率的装置,风电变流器在运行时会产生较大的功率损耗,热阻的变化对电容的热点温度、壳温都会产生较大的影响,所以较大的热阻和不合理的散热设计都会缩短电容的寿命。因此为了提高直流侧电容的可靠性,可以通过改变电容的安装方式、冷却方式及设计方式等降低电容热阻,进而降低电容的热点温度。如可采用螺栓安装方式或者延长的阴极铝箔与电容器铝壳直接接触等方法降低热阻。

除此之外,应尽量将电容安置在远离发热元件的位置,否则过高的环境温度会缩短直流侧电容的使用寿命。在环境温度较高时,尽量采用强迫风冷,将电容安装在进风口。

c. 降低电容的 ESR 值。

常见的降低 ESR 值的方法有:采用多个电极引接片来降低芯包和引脚之间的阻抗,芯包上的电极引接片越多,电容的 ESR 值越低;借助激光焊接电极,可在芯包上加上更多的电极引接片,因此使电容能达到较低的 ESR 值。通过降低电容的 ESR 值,使器件在工作时产生较小的功率损耗和较低的内部温升,从而延长变流器直流侧电容的使用寿命。

4 结论

本文根据电应力及热应力波动对电容的可靠性的影响机理,结合电热比拟理论,给出了风电变流器直流侧电容的可靠性评估模型。结合实际风速及气温数据,分析验证了环境温度、运行风速、电容 ESR 及热阻的变化对直流侧电容可靠性的影响,为风电变流器的运行维护和可靠性设计提供参考依据。

根据分析结果,本文讨论了通过改变直流侧设计、改变电容的散热环境及降低电容的 ESR 值,以降低电容的纹波电流和热点温度,可达到提高变流器直流侧电容的可靠性的目的。对于直流侧设计和电容的散热环境优化设计将是下一步的研究重点。

参考文献:

- [1] CHEN Z, GUERRERO J M, BLAABJERG F. A review of the state of the art of power electronics for wind turbines[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2009, 24(8): 1859-1875.
- [2] BLAABJERG F, LISERRE M, MA K. Power electronics converters for wind turbine systems[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2011, 48(2): 708-719.
- [3] 杜雄, 李高显, 吴军科, 等. 一种用于风电变流器可靠性评估的结温数值计算方法[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(11): 2813-2821.
DU Xiong, LI Gaoxian, WU Junke, et al. A junction temperature numerical calculation method for reliability evaluation in wind power converters[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(11): 2813-2821.
- [4] WANG H, CHUNG H S, LIU W. Use of a series voltage compensator for reduction of the DC-link capacitance in a capacitor-supported system[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(3): 1163-1175.
- [5] HU H, HARB S, KUTKUT N, et al. A review of power decoupling techniques for microinverters with three different decoupling capacitor locations in PV systems[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2013, 28(6): 2711-2726.
- [6] 周维维, 吴军科, 杜雄, 等. 功率变流器的可靠性研究现状及展望[J]. 电源学报, 2013, 45(1): 1-15.
ZHOU Luwei, WU Junke, DU Xiong, et al. Status and outlook of power converter's reliability research[J]. Journal of Power Supply, 2013, 45(1): 1-15.
- [7] WANG H, LISERRE M, BLAABJERG F. Toward reliable power electronics: challenges, design tools, and opportunities[J]. IEEE Industrial Electronics Magazine, 2013, 7(2): 17-26.
- [8] 李辉, 秦星, 刘盛权, 等. 双馈风电变流器 IGBT 模块功率循环能力评估[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(1): 6-12.
LI Hui, QIN Xing, LIU Shengquan, et al. Assessment of power cycling capability for converter IGBT module of DFIG system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(1): 6-12.
- [9] 曾翔君, 张宏韬, 李迎, 等. 大功率直驱风电系统高效率变流器设计[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(30): 15-21.
ZENG Xiangjun, ZHANG Hongtao, LI Ying, et al. Design of high-efficiency converters for large direct-drive wind turbines[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(30): 15-21.
- [10] 杨捷, 金新民, 吴学智, 等. 兆瓦级全功率风电并网变流器功率组件设计[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(10): 21-27.
YANG Jie, JIN Xinmin, WU Xuezhi, et al. Power stack design of MW-level full-power grid-connected converter for wind power generation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(10): 21-27.
- [11] DU Yinyu, GUAN Yong, WU Lifeng, et al. The impact of MOS-FET and electrolytic capacitor on the DC-DC converter[J]. International Journal of Advancements in Computing Technology, 2011, 3(8): 170-180.
- [12] WANG H, LISERRE M, BLAABJERG F, et al. Transitioning to physics-of-failure as a reliability driver in power electronics[J]. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2014, 2(1): 97-114.
- [13] WANG H, BLAABJERG F. Reliability of capacitors for DC-link applications in power electronic converters—an overview[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2014, 50(5): 3569-3578.
- [14] YANG Yongheng, MA Ke, WANG Huai, et al. Mission profile translation to capacitor stresses in grid-connected photovoltaic systems[C]//Energy Conversion Congress and Exposition. Pittsburgh, USA: IEEE, 2014: 5479-5486.
- [15] ALAM M K, KHAN F H. Reliability analysis and performance degradation of a Boost converter[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2014, 50(6): 3986-3994.
- [16] MINFORD W. Accelerated life testing and reliability of high K multilayer ceramic capacitors[J]. IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, 1982, 5(3): 297-300.
- [17] WANG H, MA K, BLAABJERG F. Design for reliability of power electronic systems[C]//Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. Montreal, Canada: IEEE, 2012: 3344.
- [18] 李星宇, 李崇坚, 朱春毅, 等. 三电平变流器直流侧电容的纹波分析[J]. 电气传动, 2013(增刊1): 93-97.
LI Xingyu, LI Chongjian, ZHU Chunyi, et al. Ripple components analysis of DC capacitor of three-level converters[J]. Electric Drive, 2013(Supplement 1): 93-97.
- [19] 王久和, 李华德, 王立明. 电压型 PWM 整流器直接功率控制系统[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(18): 54-60.
WANG Jiuhe, LI Huade, WANG Liming. Direct power control system of three phase Boost type PWM rectifiers[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(18): 54-60.
- [20] YANG Y, MA K, WANG H. Instantaneous thermal modeling of the DC-link capacitor in photovoltaic systems[C]//Applied Power Electronics Conference and Exposition. Charlotte, USA: IEEE, 2015: 15-19.
- [21] BRUBAKER M A, HAGE D E, HOSKING T A, et al. Increasing the life of electrolytic capacitor banks using integrated high performance film capacitors[C]//Europe Power Conversion Intelligent Motion (PCIM). Nuremberg, Germany: [s.n.], 2013: 206-213.
- [22] WANG H, CHUNG S H, LIU W. Use of a series voltage compensator for reduction of the DC-link capacitance in a capacitor-supported system[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(30): 1163-1175.
- [23] FREITAS I S, JACOBINA C B, SANTOS E C, et al. Single-phase to single-phase full-bridge converter operating with reduced AC power in the DC-link capacitor[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2010, 25(2): 272-279.
- [24] KREIN P, BALOG R, MISRHAFARI M. Minimum energy and capacitance requirements for single-phase inverters and rectifiers using a ripple port[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, 27(11): 4690-4698.

作者简介:



周 淦

周 淦(1973—),男,重庆人,教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向为电气设备在线监测与故障诊断、电力系统风险评估、风电设备监测与故障诊断及可靠性(E-mail: zhouquan@cqu.edu.cn);

薛 赛(1992—),男,安徽宿州人,硕士研究生,主要研究方向为风电设备监测与故障诊断及可靠性(E-mail: 1440566760@qq.com)。

(下转第31页 continued on page 31)

2015,30(23):116-125.

YIN Jun,BI Tianshu,XUE Ancheng,et al. Study on short circuit current and fault analysis method of double fed induction generator with low voltage ride-through control strategy [J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2015,30 (23): 116-125.

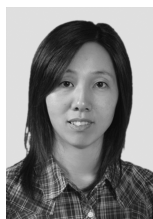
[20] 孔祥平,张哲,尹项根,等. 计及励磁调节特性影响的双馈风力发电机组故障电流特性[J]. 电工技术学报,2014,29(4):256-265.

KONG Xiangping,ZHANG Zhe,YIN Xianggen,et al. Fault current characteristics of DFIG considering excitation and regulation characteristics [J]. Transactions of China Electro-technical Society,2014,29(4):256-265.

[21] 谢会玲,鞠平,罗建裕,等. 基于灵敏度计算的电力系统参数可辨识性分析[J]. 电力系统自动化,2009,33(7):17-21.

XIE Huiling,JU Ping,LUO Jianyu,et al. Identifiability analysis of load parameters based on sensitivity calculation[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(7):17-21.

作者简介:



潘学萍

潘学萍(1972—),女,安徽天长人,教授,博士,主要研究方向为新能源发电系统建模(E-mail:xueping_pan@163.com);

殷紫吟(1993—),女,江苏扬中人,硕士研究生,主要研究方向为风力发电系统建模(E-mail:447142228@qq.com);

鞠平(1962—),男,江苏靖江人,教授,博士,主要研究方向为电力系统建模与控制(E-mail:pju@hhu.edu.cn);

吴峰(1977—),男,江苏如皋人,教授,博士,主要研究方向为可再生能源发电系统的建模与控制(E-mail:wufeng@hhu.edu.cn);

金宇清(1980—),男,江苏苏州人,副教授,博士,主要研究方向为电力系统建模与控制(E-mail:jyq16@hhu.edu.cn);

马倩(1973—),女,江苏常州人,高级工程师,硕士,主要研究方向为电力系统自动化。

Model parameter identification of DFIG based on short circuit current

PAN Xueping¹,YIN Ziyin¹,JU Ping¹,WU Feng¹,JIN Yuqing¹,MA Qian²

(1. College of Energy and Electrical Engineering,Hohai University,Nanjing 211100,China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Company,Nanjing 210024,China)

Abstract: Accurate model parameters of wind turbine generators are needed to study the dynamic characteristics of power systems with large-scale wind power. Generator is the main component of wind turbine generator, whose accurate modeling is very important. An identification method of model parameters of DFIG (Doubly-Fed Induction Generator) based on short circuit current of wind turbine generator is proposed. The electromagnetic transient characteristics are analyzed when three-phase short circuit fault occurs at the terminal of DFIG-based wind turbine generator, and the analytical expression of the short circuit current is given. The short circuit current is simulated based on a single-machine infinite bus system with a DFIG wind turbine, the identifiability and identification difficulties of DFIG's parameters are analyzed based on trajectory sensitivity method, the parameters are identified based on the analytical expression of the short circuit current, and the error analysis is carried out according to the identification results.

Key words: DFIG; short circuit currents; parameter identification; trajectory sensitivity; error analysis

(上接第 26 页 continued from page 26)

Effects of wind turbine parameters on reliability of DC-link capacitor in power converter

ZHOU Quan,XUE Sai,LI Jian,CHEN Shi,WANG Shizheng

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: With the background of reliability evaluation in wind turbine power converter, a reliability evaluation method for DC-link capacitor is proposed. Based on the loss calculation of capacitor, the flowchart for reliability analysis of DC-link capacitor combined with the thermal network model is investigated. Considering the influence factors of the capacitor reliability, the influence of the ambient temperature, wind speed, equivalent series resistance of capacitor and thermal resistance on the reliability of DC-link capacitor are discussed. Taking a 2 MW DFIG (Doubly-Fed Induction Generator)-based wind farm as an example and combining with the real wind speed and air temperature profiles, the results verify the correctness of theoretical analysis. The measures to improve the reliability of the DC-link capacitor through optimizing the DC-link design or thermal dissipated condition are discussed in view of actual work condition of wind power converter, and the results show the feasibility of the proposed scheme.

Key words: wind turbines; power converters; DC-link capacitor; parameter variation; reliability; effect analysis