

风电接入对继电保护的影响(五)—— 风电分散式接入配电网对电流保护影响分析

张保会¹, 郭丹阳¹, 王 进¹, 黄仁谋², 吴伟明², 袁 欢²

(1. 西安交通大学 电气工程学院, 陕西 西安 710049; 2. 海南电网公司, 海南 海口 570100)

摘要:通过对 3 种不同类型风力发电机电磁暂态模型的故障仿真分析指出:永磁直驱式风力发电机由于其控制器的限流作用,接入系统短路时不会提供大的短路电流,对过流保护的影响可以忽略;感应式和双馈式风力发电机可能造成风电接入点下游的过流保护误动,造成接入点上游的过流保护范围缩短,导致Ⅱ段拒动。仿真过程中通过改变风电接入位置、故障点位置、线路长度及风电接入容量,分析风电助增电流或分流作用对短路电流及保护各段定值的影响。通过描绘短路电流与风电接入点短路容量比的关系曲线,验证了为防止保护的不正确动作,限制风电接入点短路容量比在 10% 以下是必要的。

关键词:风电场;故障特征;继电保护;短路电流;仿真

中图分类号: TM 614; TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.05.001

0 引言

近年来,随着风力发电技术的持续发展,单台风电机组额定容量不断增大,风电分散式接入配电网后电流保护正确工作存在的问题受到越来越广泛的关注^[1-2]。风电接入使配电网原供电结构发生变化,故障时系统电源和风电电源可能同时向故障点提供短路电流。由于风电接入对短路电流的助增或者分流作用,流过保护装置的短路电流可能增大也可能减小。当风电接入超过一定容量时,电流保护将不正确动作。风电接入对电流保护的影响与风机种类、风电接入容量、风电接入位置以及故障点位置等有很大关系^[3-8]。风电接入配电网电流保护适应性分析以及限制接入点最大短路容量比有着重要意义。

本文首先利用在 PSCAD/EMTDC 软件平台上搭建的感应式、双馈式以及永磁直驱式风机模型,分析了 3 种风力发电机的故障特征及其对电流保护的影响;分别讨论了风电接在故障点上游及下游时电流保护不正确动作的情况;针对 2 种典型算例,拟合了风电接入点短路容量比与保护安装处短路电流关系曲线,给出了可能导致保护不正确动作的风电接入点最大短路容量比。

1 风力发电机组故障特征分析

根据风力发电机组的运行特征和控制技术,目前世界上主流的风力发电机可以分为恒速恒频与变

速恒频 2 类,前者的代表机型是鼠笼式感应风力发电机,后者的代表机型是双馈式风力发电机和永磁直驱式风力发电机^[9-11]。

若风电接入点与故障点位置不变,在故障发生时,由于接入的风电机组类型不同,流过同一保护的短路电流也不同。因此,研究不同类型风电机组故障特性是十分必要的。

1.1 鼠笼式风电机组故障特征分析

鼠笼式风力发电机组在正常运行状态时,机组的转速只能维持在同步速附近,属于恒速恒频发电系统^[12]。在 PSCAD/EMTDC 平台建立鼠笼式风电机组电磁暂态模型,分别研究机组出口三相短路和不对称短路时的故障特征,机组参数详见文献^[13]。

a. 三相短路故障。

在 $t=0$ s 时刻,鼠笼式风力发电机出口发生三相短路故障,仿真得到机端三相短路电流如图 1 所示。由于鼠笼式发电机没有独立的励磁绕组,在故障瞬间定子绕组将产生很大的短路电流,但会迅速衰减,如果故障一直未清除,短路电流将逐步衰减至零。

故障后 1~2 个周期内鼠笼机短路电流幅值迅

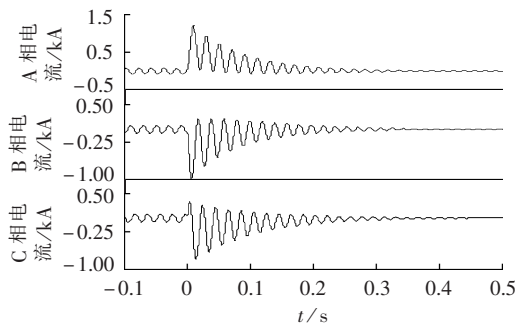


图 1 鼠笼式风机出口三相短路故障电流波形
Fig.1 Current waveforms of FSIG with output three-phase short circuit fault

收稿日期:2013-01-27;修回日期:2013-03-18

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012-AA050201)

Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2012AA-050201)

速增大而后衰减,这种特性可能对电流速断保护正确动作产生影响。

b. 不对称短路故障。

在 $t=0$ s 时刻,鼠笼式风力发电机出口发生 BC 两相短路故障,仿真得到机端三相短路电流如图 2 所示。与三相短路故障时故障电流会逐步衰减至零不同,当发生不对称故障时,风机能维持一定的短路电压和短路电流。故障相在短路瞬间可以提供较大的电流,但会发生衰减;非故障相电流会逐渐增大;故障相与非故障相都有一恒定的短路电流^[14]。

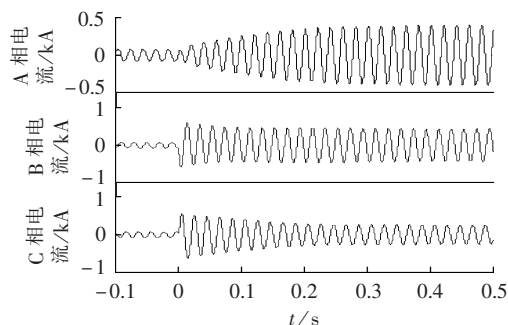


图 2 鼠笼式风机出口不对称短路故障电流波形

Fig.2 Current waveforms of FSIG with output unbalanced short circuit fault

故障发生后,由于故障相短路电流瞬间增大,可能影响电流速断保护不正确动作;非故障相电流在故障后不断增大,而后逐渐趋于稳定,该稳定电流值仍比正常状态下电流大得多,可能导致限时电流保护不正确动作。

1.2 双馈式风电机组故障特征分析

双馈式发电机组的实质是绕线式的感应发电机,其定子直接与电网相连,转子通过背靠背的整流桥与电网连接,转子侧变流器为电机提供转差频交流励磁电流,转子可以向系统馈出或从系统吸收交流功率。运行在正常发电状态时,转速的变化范围较大,因此为变速恒频发电系统。双馈式风电机组在发生短路故障时,定转子会出现过流现象,目前普遍采用双馈式风电机的转子侧加装撬棒保护(Crowbar)来实现低电压穿越。

在 PSCAD/EMTDC 平台建立双馈式风电机组电磁暂态模型,分别研究机组出口三相短路和不对称短路时的故障特征,机组参数详见文献^[15]。

a. 三相短路故障。

在 $t=0$ s 时刻,双馈式风力发电机出口发生三相短路故障,5 ms 后投入 Crowbar 电路,仿真得到机端三相短路电流如图 3 所示。投入 Crowbar 后,机端故障电流近似由稳态交流分量、衰减直流分量与衰减交流分量三部分组成。当电压跌落较深时,衰减交流分量为故障初期电流的主要构成部分,其频率取决于当前转速,由图 3 得机端电流频率约为 $0.8 \times 50 = 40$ (Hz)。

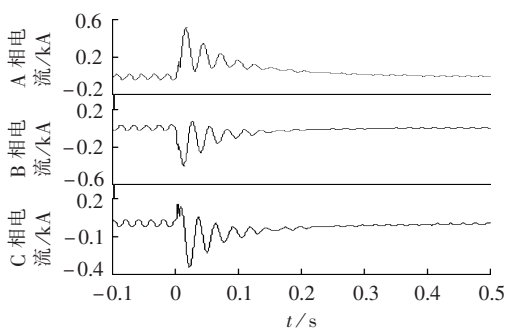


图 3 双馈式风机出口三相短路故障电流波形

Fig.3 Current waveforms of DFIG with output three-phase short circuit fault

故障后投入 Crowbar 的双馈式风电机组故障特征与鼠笼式感应风电机组故障特征相似,即在故障瞬间短路电流很大,在故障后数周期内迅速衰减^[8]。这种特性将对电流速断保护产生影响,而对限时电流速断保护影响不大。

b. 不对称短路故障。

在 $t=0$ s 时刻,双馈式风力发电机出口发生 BC 两相短路故障,5 ms 后投入 Crowbar 电路,仿真得到机端三相短路电流如图 4 所示。故障相短路电流在故障瞬间增大,而后逐渐衰减并维持在一稳定值;非故障相也可以维持一稳定故障电流,而且可能会比故障相电流大。

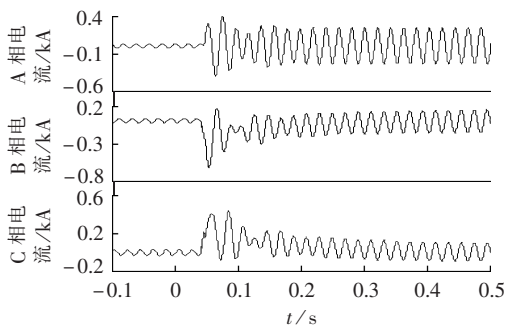


图 4 双馈式风机出口不对称短路故障电流波形

Fig.4 Current waveforms of DFIG with output unbalanced short circuit fault

由于故障瞬间风机提供助增电流,电流速断保护可能不正确动作;对于非故障相,与鼠笼式风机类似,会提供一稳定的短路电流,该值比正常状态下电流大很多,同样可能对限时电流速断保护产生影响。

1.3 永磁直驱式风电机组故障特征分析

永磁直驱式风力发电机的转子为永磁体,无需外部提供励磁电源,属于变速恒频发电系统,采用功率变流器并网方式。风机检测到外部故障后,进入低电压穿越状态,来抑制直流母线过压现象。

受到永磁直驱式风机控制器限流作用的影响,出口故障时风机提供的短路电流增加,但增幅不大,一般要求不超过正常运行时电流的 1.5 倍。因此,直驱

式风电机组接入配电网对电流保护适应性的影响不大。

综上,可以得到以下结论:不同类型风电机组由于工作原理、机组控制规律各不相同,导致其故障特征及对继电保护影响也各不相同。其中,鼠笼式与投入 Crowbar 后双馈式风电机组在发生出口故障时机端提供的短路电流波形相似,都可能对电流速断及限时电流速断保护产生影响。本文以鼠笼式感应风力发电机接入配电网为例,分析不同情况下其对电流保护的影响。

2 风电接入位置对电流保护影响分析

目前在配电网中常用的电流保护方案通常由电流速断保护、限时电流速断保护和过电流保护组成。根据以上对不同类型风力发电机组的故障特征分析可知,故障发生后,风机提供的短路电流迅速衰减。为了简化分析,本文采用电流速断保护和限时电流速断保护构成的两段式电流保护,其中电流速断按照躲过下条线路出口短路电流整定,不能保护线路全长;限时电流速断保护可以保护本级线路的全长,但故障切除时间变长^[16]。

假设风电接入 10.5 kV 配电网,并且将 10.5 kV 变电站以上的电网等值为一个电压源,典型配电网结构如图 5 所示。最大运行方式下系统阻抗 $Z_{\min}=j0.91\ \Omega$,最小运行方式下系统阻抗 $Z_{\max}=j1.16\ \Omega$;线路阻抗为 $0.169+j0.394\ \Omega/\text{km}$ 。以鼠笼式风电机组为例,风电由母线 B 接入系统。

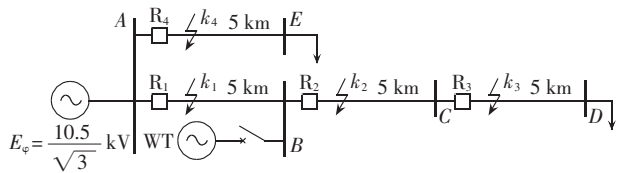


图 5 风电接入配电网对保护影响仿真算例

Fig.5 Simulation model of wind power connected to distribution network

由继电保护整定原则,对于电流速断保护 R_2 ,其整定的动作电流 $I_{\text{set},2}^I$ 必须大于最大运行方式下母线 C 三相短路时电流 $I_{k,C,\max}$,动作电流为:

$$I_{\text{set},2}^I=K_{\text{rel}}^I I_{k,C,\max}=\frac{K_{\text{rel}}^I E_{\varphi}}{Z_{\min}+Z_{B-C}} \tag{1}$$

其中,可靠系数 K_{rel}^I 取值 1.2~1.3; E_{φ} 为系统等效电源的相电动势; Z_{B-C} 为线路 BC 阻抗值。

根据限时电流速断保护的整定原则,保护 R_1 的 II 段动作电流为:

$$I_{\text{set},1}^{\text{II}}=K_{\text{rel}}^{\text{II}} I_{\text{set},2}^I \tag{2}$$

其中,可靠系数 $K_{\text{rel}}^{\text{II}}$ 取值 1.1~1.2, $I_{\text{set},2}^I$ 为保护 R_2 的电流速断保护 I 段整定值。

保护 R_1 的限时电流速断保护动作时限 t_{II}^I 应比保护 R_2 的电流速断保护固有动作时限 t_2^I 大一个时

限级差 Δt ,即:

$$t_{\text{II}}^I=t_2^I+\Delta t \tag{3}$$

通常取 $\Delta t\approx0.5\ \text{s}$ 。

不考虑风电接入时,各电流保护整定值如表 1 所示,取 $K_{\text{rel}}^I=1.2, K_{\text{rel}}^{\text{II}}=1.1$ 。

表 1 不考虑风电接入情况下各电流保护定值
Tab.1 Protection settings without consideration of grid-connected wind farm

保护	I 段定值/kA	II 段定值/kA
R_1	2.424	1.558
R_2	1.416	1.100
R_3	1.000	—

2.1 风电接在故障点上游时对电流保护影响分析

2.1.1 风电接入容量对各保护影响分析

如图 5 所示,系统最大运行方式下线路 CD 首端 k_3 处发生三相短路故障,当风机接入容量改变时,流过各保护的故障电流如表 2 所示。

表 2 k_3 点短路,接入容量变化时的短路电流
Tab.2 Variation of fault current and integrated capacity when short circuit happens at k_3

风机接入容量/MW	短路电流/kA		
	R_1	R_2	R_3
0	1.162	1.162	1.162
1	1.133	1.214	1.214
3	1.068	1.336	1.336
5	0.994	1.471	1.471

对于保护 R_1 ,由于受风电分流作用影响,故障电流随风电接入容量增大而减小,保护灵敏度减小;对于保护 R_2 ,由于受风电助增电流影响,故障电流随风电接入容量增大而增大,当风电容量达到 5 MW 时,流过保护 R_2 故障电流已经大于其电流速断 I 段整定值,保护将误动,风机容量越大,误动范围越大;对于保护 R_3 ,由于受风电助增电流影响,故障电流随风电接入容量增大而增大,保护灵敏度增大;保护 R_4 由于不流过风电电流,其动作不受影响。

2.1.2 可靠系数对保护影响分析

当风机容量为 5 MW,系统最大运行方式下线路 CD 首端 k_3 发生三相短路,可靠系数 K_{rel}^I 改变时流过保护 R_2 的故障电流如表 3 所示。

表 3 k_3 点短路,可靠系数变化时流过保护 R_2 的短路电流

Tab.3 Variation of fault current via protection R_2 and reliability coefficient when short circuit happens at k_3

K_{rel}^I	故障电流/kA	I 段定值/kA
1.20	1.471	1.416
1.25	1.471	1.475
1.30	1.471	1.534

随着可靠系数 K_{rel}^I 的增大,保护 I 段整定值增大;可靠系数的增大可能避免保护 R_2 的 I 段在下级线路

发生故障时误动。例如当取 $K_{\text{rel}}^1=1.25$ 时,保护 R_2 不再误动。

2.1.3 线路长度对保护影响分析

a. 被保护线路 BC 长度变化。

当风机接入容量为 5 MW,系统最大运行方式下线路 CD 首端 k_3 发生三相短路,线路 BC 长度改变时流过保护 R_2 的故障电流如表 4 所示。

表 4 k_3 点短路,线路 BC 长度变化时流过保护 R_2 的短路电流

Tab.4 Variation of fault current via protection R_2 and BC line length when short circuit happens at k_3

BC 长度/km	故障电流/kA	I 段定值/kA
1	2.364	2.122
5	1.471	1.416
10	0.991	1.000

当被保护线路 BC 长度增大时,保护 R_2 的 I 段定值减小,流过保护 R_2 的风电故障电流减小更多,当 BC 长度增大到一定数值时,流过保护 R_2 的故障电流已经小于其 I 段定值,保护不再误动。

b. 电源线路 AB 长度变化。

当风机接入容量为 3 MW,系统最大运行方式下线路 CD 首端 k_3 发生三相短路,线路 AB 长度改变时流过保护 R_2 的故障电流如表 5 所示。

表 5 k_3 点短路,线路 AB 长度变化时流过保护 R_2 的短路电流

Tab.5 Variation of fault current via protection R_2 and AB line length when short circuit happens at k_3

AB 长度/km	故障电流/kA	I 段定值/kA
1	1.834	2.122
5	1.336	1.416
10	1.056	1.000

当 AB 长度增大时,等价于系统阻抗增大,保护 R_2 的 I 段定值减小,流过保护 R_2 的系统故障电流也随之减小。当 AB 长度增大到一定数值时,保护 R_2 定值降低,而风电故障电流不变,保护将误动。 AB 长度越长,保护误动范围越大。

2.2 风电接在故障点下游时对电流保护影响分析

2.2.1 风电接入容量对各保护影响分析

如图 5 所示,最小运行方式下线路 AB 末端等价于 k_1 发生两相短路故障,当风机接入容量改变时,故障后 0.4 s 左右流过保护 R_1 故障电流如表 6 所示。

保护 R_2 、 R_3 、 R_4 由于不流过风电电流,其动作不受影响;保护 R_1 受风电分流作用影响,流过保护的故障相电流减小,可能导致保护 R_1 的 II 段拒动。当风电接入容量为 5 MW 时,流过保护 R_1 的故障电流已经小于其 II 段定值,保护 R_1 将拒动。非故障相不会提供大的短路电流。

表 6 k_1 点短路,风电容量变化时流过保护 R_1 的短路电流

Tab.6 Variation of fault current via protection R_1 and wind turbine capacity when short circuit happens at k_1

风机接入容量/MW	故障相短路电流/kA	非故障相短路电流/kA	II 段定值/kA
0	1.645	0.143	1.558
1	1.597	0.229	1.558
3	1.563	0.471	1.558
5	1.549	0.673	1.558

2.2.2 可靠系数对保护影响分析

当风机接入容量为 3 MW,可靠系数 $K_{\text{rel}}^{\text{II}}$ 改变时流过保护 R_1 故障电流如表 7 所示。

表 7 k_1 点短路,可靠系数变化时流过保护 R_1 的短路电流

Tab.7 Variation of fault current via protection R_1 and reliability coefficient when short circuit happens at k_1

$K_{\text{rel}}^{\text{II}}$	故障电流/kA	II 段定值/kA
1.10	1.563	1.558
1.15	1.563	1.628
1.20	1.563	1.699

随着可靠系数 $K_{\text{rel}}^{\text{II}}$ 的增大,保护 II 段整定值均增大,其保护拒动范围增大;当 $K_{\text{rel}}^{\text{II}}=1.15$ 时,3 MW 风电机组接入就会导致保护 R_1 的拒动。

2.2.3 线路长度对保护影响分析

当风机接入容量为 3 MW,电源线路 AB 长度改变时流过保护 R_1 的故障电流如表 8 所示。

表 8 k_1 点短路,线路 AB 长度变化时流过保护 R_1 的短路电流

Tab.8 Variation of fault current via protection R_1 and AB line length when short circuit happens at k_1

AB 长度/km	故障电流/kA	II 段定值/kA
1	3.310	2.334
5	1.563	1.558
10	0.940	1.100

当 AB 长度增大时,保护 R_1 的 II 段整定值逐渐减小,而故障电流减小更多。当线路 AB 长度为 10 km 时,流过保护 R_1 的故障电流小于其 II 段定值,保护将拒动。 AB 长度越长,保护 R_1 的拒动范围越大。

综上,可以得出以下结论:当风电接入位置在故障点上游时,风电助增电流作用可能导致故障点所在线路相邻线路电流保护 I 段超越;当风电接入位置在故障点下游时,风电分流作用可能导致故障点所在线路电流保护 II 段拒动,其误动及拒动范围与可靠系数、线路长度、风机接入容量有关。

3 风电接入点短路容量比对电流保护影响分析

风电接入会对配电线路电流速断保护带来 I 段

超越以及Ⅱ段拒动问题。风电接入容量越大,风电电源的助增或者分流作用越明显,当风电接入容量达到一定数值时,保护将会发生误动或拒动。以下考察风电接入点接入容量与短路容量之比即短路容量比对保护误动以及拒动的影响。

3.1 风电接入容量对保护Ⅰ段超越的影响

算例1:已知母线B的短路容量为36.7 MV·A,系统最大运行方式下保护R₃出口处发生三相短路故障,当风电接入容量改变时,保护R₂的速断将误动。短路电流与风电接入点短路容量比关系曲线如图6所示。

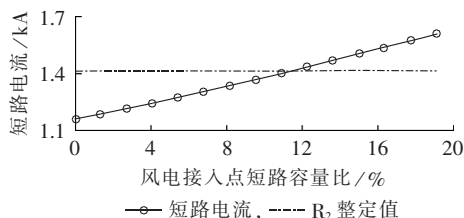


图6 保护R₂处短路电流与风电接入点短路容量比关系曲线

Fig.6 Curve of fault current via protection R₂ vs. short circuit capacity ratio of wind turbine grid-connection point

当风电接入容量与接入点短路容量之比大于11.72%时,流过保护R₂的故障电流将大于其电流速断的Ⅰ段整定值,导致保护误动。

3.2 风电接入容量对保护Ⅱ段拒动的影响

算例2:系统最小运行方式下保护R₂出口处发生两相短路故障,提取故障后0.4 s流过保护R₁的故障电流,当风电接入容量改变时,短路电流与风电接入点短路容量比关系曲线如图7所示。

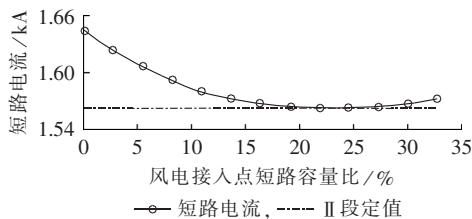


图7 保护R₁处短路电流与风电接入点短路容量比关系曲线

Fig.7 Curve of fault current via protection R₁ vs. short circuit capacity ratio of wind turbine grid-connection point

随着风电接入容量增大,流过保护R₁的故障电流先减小后缓慢增大。若可靠系数 $K_{\text{rel}}^{\text{II}} \geq 1.103$,保护R₁的Ⅱ段整定值 $I_{\text{set1}}^{\text{II}} \geq 1.562$ kA,当风电接入容量约为接入点短路容量的21.8%时,流过保护R₁的故障电流将小于其保护整定值,保护R₁的Ⅱ段拒动。

综上,可以得出以下结论:风电接入配电网容量变化将对配电线路电流速断保护的Ⅰ段超越及Ⅱ段拒动产生影响;综合2种情况考虑,当风电接入容量

与接入点短路容量之比大于11.72%时,风电接入将可能导致配电线路电流保护的不正确动作。

4 结论

永磁直驱式风电机组由于机组的限流作用,接入配电网后不会对保护产生影响。而感应式和双馈式风电机组接入配电网时:当风电接入位置在故障点上游,风电接入容量的增大可能导致故障点所在线路的相邻线路电流速断保护Ⅰ段超越;当风电接入位置在故障点下游,可能导致故障点所在线路电流保护的Ⅱ段拒动,其保护误动及拒动范围与可靠系数、线路长度、风电接入容量等因素相关。为了防止配电网电流保护的不正确动作,限制风电接入点最大短路容量比在10%以下是必要的。

参考文献:

- [1] 迟永宁. 大型风电场接入电网的稳定性问题研究[D]. 北京:中国电力科学研究院,2006.
CHI Yongning. Studies on the stability issues about large scale wind farm grid integration[D]. Beijing:China Electric Power Research Institute,2006.
- [2] 刘万琨,张志英,李银凤,等. 风能与风力发电技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007:205-230.
- [3] 孙景钉,李永丽,李盛伟,等. 含分布式电源配电网保护方案[J]. 电力系统自动化,2009,33(1):81-89.
SUN Jingdiao,LI Yongli,LI Shengwei,et al. A protection scheme for distribution system with distributed generators[J]. Automation of Electrical Power Systems,2009,33(1):81-89.
- [4] 冯希科,邵能灵,宋凯,等. DG容量对配电网电流保护的影响及对策研究[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(22):156-165.
FENG Xike,TAI Nengling,SONG Kai,et al. Research on the impact of DG capacity on the distribution network current protection and countermeasure[J]. Power System Protection and Control,2010,38(22):156-165.
- [5] 陶顺,郭静,肖湘宁. 基于电流保护原理的DG准入容量与并网位置分析[J]. 电网技术,2012,36(1):265-270.
TAO Shun,GUO Jing,XIAO Xiangning. Analysis on allowed penetration level of distributed generation and its grid-connected position based on principles of current protection[J]. Power System Technology,2012,36(1):265-270.
- [6] 张保会,王进,李光辉,等. 具有低电压穿越能力的风电接入电力系统继电保护的配合[J]. 电力自动化设备,2012,32(3):1-6.
ZHANG Baohui,WANG Jin,LI Guanghui,et al. Cooperation of relay protection for grid-connected wind power with low-voltage ride-through capability[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(3):1-6.
- [7] BRAND A J,GIBESCU M,KLING W L,et al. Impacts of wind power on thermal generation unit commitment and dispatch[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion,2007,22(1):44-51.
- [8] 孙元章,吴俊,李国杰. 风力发电对电力系统的影响[J]. 电网技术,2007,31(20):55-62.
SUN Yuanzhang,WU Jun,LI Guojie. Influence research of wind power generation on power systems[J]. Power System Technology,2007,31(20):55-62.

- [9] CHEN Z. Characteristics of induction generators and power system stability[J]. *Electrical Machines and Systems*, 2005, 27(2): 919-924.
- [10] 赵宏伟. 风力发电机暂态特性及其对继电保护的影响研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2007.
- ZHAO Hongwei. Study on the transient characteristics of wind power generators and their effects on relay protection [D]. Baoding: North China Electric Power University, 2007.
- [11] 李欣. 风电机组的短路电流特性及低电压穿越的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2008.
- LI Xin. Short circuit current of wind generators and analysis of low-voltage ride through [D]. Baoding: North China Electric Power University, 2008.
- [12] 张保会, 李光辉, 王进, 等. 风电接入电力系统故障电流的影响因素分析及对继电保护的影响[J]. *电力自动化设备*, 2012, 32(2): 1-8.
- ZHANG Baohui, LI Guanghui, WANG Jin, et al. Affecting factors of grid-connected wind power on fault current and impact on protection relay[J]. *Electric Power Automation Equipment*, 2012, 32(2): 1-8.
- [13] 张保会, 李光辉, 王进, 等. 风电接入对继电保护影响(一)——鼠笼式风电场电磁暂态等值建模[J]. *电力自动化设备*, 2013, 33(1): 1-6.

- ZHANG Baohui, LI Guanghui, WANG Jin, et al. Impact of wind farm integration on relay protection(1): electromagnetic transient equivalent model of FSIG-based wind farm[J]. *Electric Power Automation Equipment*, 2013, 33(1): 1-6.
- [14] 马志云. 电机瞬态分析[M]. 中国电力出版社, 1998: 88-94.
- [15] 张保会, 李光辉, 王进, 等. 风电接入对继电保护影响(二)——双馈式风电场电磁暂态等值建模[J]. *电力自动化设备*, 2013, 33(2): 1-8.
- ZHANG Baohui, LI Guanghui, WANG Jin, et al. Impact of wind farm integration on relay protection(2): DFIG-based wind farm electromagnetic transient equivalent model [J]. *Electric Power Automation Equipment*, 2013, 33(2): 1-8.
- [16] 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.

作者简介:

张保会(1953-), 男, 河北魏县人, 教授, 博士研究生导师, 从事电力系统继电保护、安全自动装置、电力系统通信等方面的研究(E-mail: bhzhang@mail.xjtu.edu.cn);

郭丹阳(1990-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 主要从事分布式电源接入电力系统继电保护适应性研究(E-mail: cappuccino5026@hotmail.com)。

Impact of wind farm integration on relay protection(5): impact of wind farms dispersedly connected to distribution network on current protection

ZHANG Baohui¹, GUO Danyang¹, WANG Jin¹, HUANG Renmou², WU Weiming², YUAN Huan²

(1. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. Hainan Power Grid Corporation, Haikou 570100, China)

Abstract: The analysis of fault simulation with electro-magnetic transient model for three kinds of wind power generator shows that, due to the current limitation of its controller, the direct-driven permanent magnetic synchronous generator will not supply big fault current when it is connected to the system with short circuit and its impact on over-current protection can be neglected; the induction generator or doubly-fed induction wind power generator, when it is connected to the system, may cause the misoperation of over-current protection downstream to the grid-connection point and the refuse-to-trip of over-current protection upstream because of the shortened II-zone. The impact of wind power in-feed current or shunt current on short circuit current or the settings of different protection zones is analyzed by changing the grid-connection point, fault location, transmission line length and wind turbine capacity. The curve of short circuit current vs. the short circuit capacity ratio of grid-connection point of wind power shows that, in order to prevent the improper operation of protection, the short circuit capacity ratio of grid-connection point should be less than 10%.

Key words: wind farms; fault characteristic; relay protection; short circuit currents; computer simulation