

含 T 接逆变型分布式电源配电网的 自适应距离保护

赵建文, 张鸿波, 胡雨佳

(西安科技大学 电气与控制工程学院, 陕西 西安 710600)

摘要: 大量逆变型分布式电源(Inverter Interfaced Distributed Generation, IIDG)接入配电网,传统继电保护技术的可靠性无法满足。为了提高配电网供电可靠性,适应可再生能源大量渗透的新型电力系统,针对含 T 形接入 IIDG 的配电网,文章提出了一种自适应性的距离保护方案。分析了故障发生在不同位置对保护的影响,根据 IIDG 在系统发生故障时的输出特性,通过 BP 神经网络利用保护本地电气信息计算 IIDG 的输出电流,实时整定动作值。该方法由于无需与远方通信,动作速度快,并且减少了通信系统的投资。最后在 MATLAB 中建立了含 T 形接入 IIDG 的 10 kV 配电网模型,并与传统距离保护进行了对比,验证了该保护方法的优越性。

关键词: 逆变型分布式电源; T 形; 自适应保护; 距离保护

中图分类号: TK81 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5292(2024)01-0064-07

0 引言

为了实现“碳中和”“碳达峰”的战略目标,可再生能源发电得到了重视与应用,大量的逆变型分布式电源接入配电网。分布式电源可以专线或 T 形方式接入系统^[1]。逆变型分布式电源 T 形接入配电网后,配电网潮流方向与短路电流大小均发生变化,导致传统三段式保护适应性变差,保护的可靠性与灵敏性无法得到满足。

为了适应含 T 形接入的 IIDG 配电网,目前主要有两类保护方案。一类是对差动保护做出各种改进。文献[2]针对逆变型分布式电源 T 形接后的配电网提出了一种改进纵联差动保护方案。文献[3]针对含有 T 形接入 IIDG 配电网提出了一种复合阻抗差动保护,动作门槛值较大,当内部故障时可能拒动。文献[4]提出了基于幅值比的纵联保护,并在含有 TT 形接 IIDG 的情况下做出改进。文献[5]利用各类电流幅值信息构造了充分式判据,需要采集多种电流信息。此类保护方案需要实时获取线路首末两端以及 DG 出口处电气信息并进行数据交换,对通信系统要求较高,并且通信存在一定的延时,例如实时性最好的快速报文仍有着数毫秒的延时;除此之外,由于配电网网络复杂,通信网络规模巨大,需要大量的投资^[6]。另一

类是在传统三段保护的基础上提出了自适应保护。文献[7,8]在传统电流保护的基础上,针对 IIDG 接入的配电网提出了一种自适应电流速断保护。文献[9]针对高 DG 渗透率的配电网提出了一种自适应过电流保护方案。文献[10]提出了自适应的三段式距离保护,需要实时检测并网点电压,并且精度有限。文献[11]针对 IIDG 接入配电网后提出了一种延时距离保护与电流保护相结合的方法,保护构成较为复杂。这类方案仅使用保护本地信息,动作速度快,但是如何正确计算 DG 电流是保护正确动作的关键。

本文针对含有 T 形接入的 IIDG 配电网,在传统距离保护的基础上提出了一种自适应距离保护。该保护方法实时预测 IIDG 输出电流并用于整定计算,无需与远方通信,设备投资少,动作速度快,并且在不同的故障条件下均有较高的保护范围,通过与传统距离保护的对比,证明了该保护方法的优越性。

1 逆变型分布式电源输出特性分析

并网运行的 IIDG 一般采用 PQ 控制,通过双闭环控制有功功率和无功功率的输出恒定。如果在派克变换中令 d 轴与电压矢量同方向,可得到功率输出^[12]的表达式为

收稿日期: 2022-12-25。

基金项目: 陕西省工业科技攻关项目(2015GY049)。

作者简介: 赵建文(1973-),男,博士,教授,研究方向为电网安全运行。E-mail: xkdzhaojw@163.com

$$\begin{cases} P=U_p I_d \\ Q=-U_p I_q \end{cases} \quad (1)$$

式中: U_p 为公共连接点(Point of Common Coupling, PCC) 线电压; I_d, I_q 分别为 IIDG 有功参考电流和无功参考电流。

接入配电网的 IIDG 应具备一定的故障穿越能力^[1], 在并网点电压较低时, 主要输出无功功率以支撑并网点电压。故障期间 IIDG 输出的无功电流 I_q 为

$$\begin{cases} I_q=K_1(0.9-U_s)I_N, 0.2 \leq U_s \leq 0.9 \\ I_q=K_2 I_N, U_s \leq 0.2 \\ I_q=0, U_s \geq 0.9 \end{cases} \quad (2)$$

式中: U_s 为并网点电压标么值; I_N 为 IIDG 额定电流; K_1 与 K_2 为低电压穿越控制策略的支撑系数, 一般 K_1 不小于 1.5, K_2 不小于 1.05。

因此, 在系统发生三相短路时, IIDG 输出电流由 PCC 电压决定, 等值为 PCC 电压控制的电流源。此外, 为了改善系统发生不对称故障时 IIDG 的输出特性, IIDG 采用正序分量的控制策略, 在配电网发生不对称故障时, IIDG 仍然只输出正序故障电流, 此时 IIDG 等值为 PCC 正序电压控制的电流源^[13]。

2 T 接 IIDG 对传统距离保护的影响

相较于三段式电流保护, 距离保护基本不受系统运行方式的影响, 有着更优秀的保护性能。然而由于 IIDG 的 T 形接入, 将导致距离保护的保护区降低。图 1 为配电网拓扑结构, 分析 IIDG 以 T 形接入后对距离保护的影响。

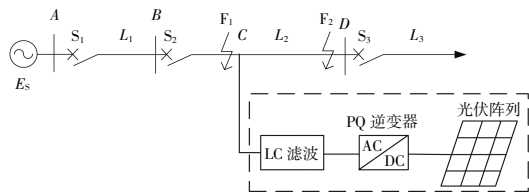


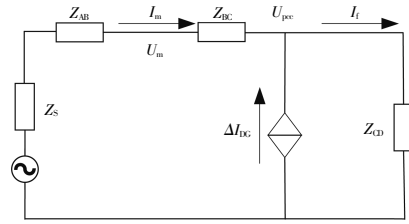
图 1 含 T 接 IIDG 的配电网结构图

Fig.1 Distribution network structure diagram including T-connected IIDG

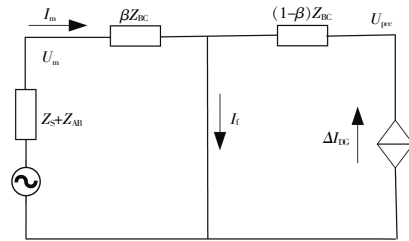
当 IIDG 发生三相短路时, 得到系统电路如图 2 所示。

由图 2(a) 可得保护 S_2 处的电压为 $\dot{U}_m = \dot{I}_m Z_{BC} + (\dot{I}_{DC} + \dot{I}_m) Z_{CD}$ 。因此, 保护 S_2 处的测量阻抗为

$$Z_m = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = Z_{BC} + \frac{\dot{I}_{DC} + \dot{I}_m}{\dot{I}_m} Z_{CD} = Z_{BD} + \frac{\dot{I}_{DC}}{\dot{I}_m} Z_{CD} \quad (3)$$



(a) IIDG 下游故障时电路图



(b) IIDG 上游故障时电路图

图 2 不同位置故障系统电路图

Fig.2 Circuit diagram of fault system at different positions

如果不考虑可靠系数, 则距离保护 S_2 的整定值为线路 BD 的阻抗, 即:

$$Z_{set} = Z_{BD} \quad (4)$$

由于距离保护为欠量保护, 当测量阻抗小于整定值时, 保护动作。对比式(3), (4)可知, 由于 IIDG 输出电流的影响, 测量阻抗会增加一附加阻抗 $\frac{\dot{I}_{DC}}{\dot{I}_m} Z_{CD}$, 当该附加阻抗与线路阻抗相角差小于 90° 时, 将会导致 $Z_{set} < Z_m$, 保护无法正确动作, 保护可靠性变差。

下面分析 IIDG 以 T 形接入后距离保护的保护区与 IIDG 渗透率之间的定量关系。假设 IIDG 容量为 S_{DC} , 系统电源的容量为 S_s , IIDG 渗透率为 $x\%$, 则根据渗透率的定义可以得到:

$$\frac{100 S_{DC}}{S_{DC} + S_s} = x \quad (5)$$

$$\frac{S_s}{S_{DC}} = \frac{\sqrt{3} U_s I_s}{\sqrt{3} U_{DC} I_{DC}} = \frac{100-x}{x} \quad (6)$$

式中: U_s 与 I_s 分别为系统电源的额定电压与电流; U_{DC} 与 I_{DC} 分别为 IIDG 的额定电压与电流。

由于 IIDG 处于并网状态, 因此 $U_s \approx U_{DC}$, 根据式(6)可得:

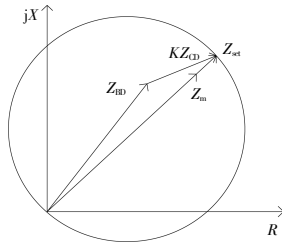
$$I_s = \frac{100-x}{x} I_{DC} \quad (7)$$

联立式(3), (7), 并令 $\lambda = \frac{Z_{BC}}{Z_{BD}}$, 可得此时距离保护的保护区为

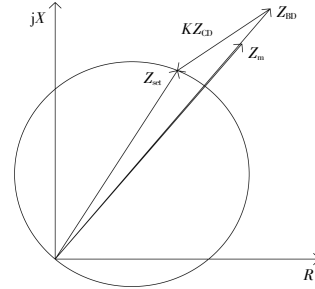
$$\frac{Z_{set}}{Z_m} = 1 - \frac{\lambda x}{100 - x + \lambda x} < 1 \quad (8)$$

由式(8)可以看出,距离保护的保护区在不考虑可靠系数的情况下,已经无法保护线路全长,并且随着 IIDG 渗透率的增加,保护区会进一步减小。此时保护区外的故障需要在一定的时限以后才能切除,这不利于电力系统的安全稳定运行。

当故障发生在 IIDG 上游时, β 为故障点到线路首端占线路 BC 的比例, 此时保护 S₂ 处的测量电压为 $\dot{U}_m = \beta \dot{I}_m Z_{BC}$, 测量阻抗为 $Z_m = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \beta Z_{BC} < Z_{set}$ 。因此,当 IIDG 上游发生故障时, IIDG 不会影响距离保护的正常动作。



(a) 下游故障时阻抗关系



(b) 上游故障时阻抗关系

图 3 阻抗关系示意图

Fig.3 Schematic diagram of impedance relationship

当 IIDG 下游线路末端发生三相短路故障时,可得 A 相与 B 相电压为

$$\dot{U}_A = \dot{I}_A Z_{BC} + (\dot{I}_{DCA} + \dot{I}_A) Z_{CD} \quad (9)$$

$$\dot{U}_B = \dot{I}_B Z_{BC} + (\dot{I}_{DCB} + \dot{I}_B) Z_{CD} \quad (10)$$

因此,保护处的测量阻抗为

$$Z_{set} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{I}_A - \dot{I}_B} = Z_{BD} + K Z_{CD} \quad (11)$$

其中,自适应系数 $K = \frac{(\dot{I}_{DCA} - \dot{I}_{DCB})}{\dot{I}_A - \dot{I}_B}$ 。

由于故障发生在 IIDG 下游,系统电流 \dot{I}_A 与 IIDG 输出电流 \dot{I}_{DCA} 均从上游流向下游的短路点, K 为正, Z_{BD} 与 KZ_{CD} 两者相角差小于 90° 。当 IIDG 上游发生三相短路故障时,系统电流 \dot{I}_m 从上游流向短路点,而 \dot{I}_{DC} 则从下游流向上游的短路点, K 为负。因此, Z_{BD} 与 KZ_{CD} 两者相角差大于 90° 。如

3 自适应距离保护

由前文分析可知,由于 T 形接 IIDG 的输出电流的影响,传统距离保护的保护区减小,保护可靠性与灵敏性变差,并且 IIDG 的输出电流受故障位置与控制策略的影响,具有很大的不确定性。如果按 IIDG 的额定电流进行保护值的整定也同样不合理,因此有必要提出适用于各种情况的自适应距离保护。

3.1 三相短路

为了正确反应各种相间短路故障,阻抗继电器采用 0° 接线,由于三相对称,以反应 A 相故障的继电器为例,接入继电器的电压为 $\dot{U}_m = \dot{U}_{AB}$, 电流为 $\dot{I}_m = \dot{I}_A - \dot{I}_B$ 。当 IIDG 上、下游线路末端发生三相短路故障时,阻抗关系如图 3 所示。

果仍按式(10)计算整定值,则阻抗整定值偏小, $Z_{set} < Z_{BD}$, 当 DG 输出的电流较大,甚至有可能 $Z_{set} < Z_m$, 从而导致保护的拒动。而由前文分析可知,当故障发生在 IIDG 上游时,传统距离保护不受影响,可以正确动作。综上,可令自适应距离保护的整定值为

$$Z_{set} = K_{rel} (Z_{BD} + K Z_{CD}) \quad (12)$$

其中: K_{rel} 为可靠系数,取 $K_{rel} = 0.8$; K 取值与故障位置有关。以 \dot{I}_m 与 \dot{I}_{DC} 间的相角差 $\varphi = |\varphi_m - \varphi_{DC}|$ 作为反应故障位置的特征量,当 $\cos(\varphi) < 0$ 时,表明 \dot{I}_m 与 \dot{I}_{DC} 方向相反,故障位于 IIDG 上游,令 $K = 0$,保护变为传统距离保护;当 $\cos(\varphi) \geq 0$ 时,表明 \dot{I}_m 与 \dot{I}_{DC} 方向相同,故障位于 IIDG 下游,此时令 $K = \frac{(\dot{I}_{DCA} - \dot{I}_{DCB})}{\dot{I}_A - \dot{I}_B}$,保护变为自适应距离保护。

3.2 两相短路

IIDG 下游发生 AB 两相短路故障时,其等效图如图 4 所示。

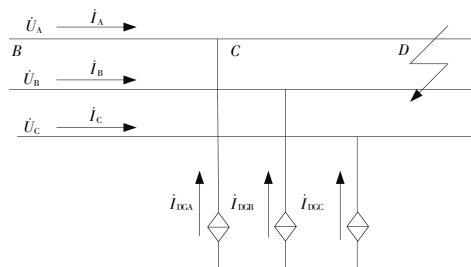


图 4 两相短路示意图

Fig.4 Schematic diagram of two-phase short circuit

由图 4 可得 A 相与 B 相电压为

$$\dot{U}_A = \dot{I}_A Z_{BC} + (\dot{I}_{DGA} + \dot{I}_A) Z_{CD} \quad (13)$$

$$\dot{U}_B = \dot{I}_B Z_{BC} + (\dot{I}_{DGB} + \dot{I}_B) Z_{CD} \quad (14)$$

同样,令 $\dot{U}_m = \dot{U}_{AB}$, $\dot{I}_m = \dot{I}_A - \dot{I}_B$, 可得保护的测量阻抗同式(9)。因此,两相短路距离保护的整定值与三相故障相同。不同的是,当发生 AB 两相短路时,由于 $\dot{U}_C = \dot{E}_C$, 将导致 B 相与 C 相的继电器不能正确反应保护处到故障处的阻抗,无法正确动作。

3.3 IIDG 输出电流的实时计算

自适应保护可以根据系统当前的运行状态及故障类型,实时计算出被保护线路末端短路时的整定值,然后按照避开该整定值的原则对保护进行实时整定,因此具有更高的可靠性与灵敏性。为了实时获得 IIDG 的输出电流,如果在 IIDG 出口处加装电流互感器,并且将 IIDG 的电流实时传输至保护处,无疑增加了设备投资与通信负担。因此,利用保护处故障信息得到 IIDG 的输出电流成为关键。随着微控制器与微机继电保护技术的发展,电力系统处理数据的能力不断提高,本文提出了利用 BP 神经网络实时预测 IIDG 电流的方法,系统的整体硬件结构如图 5 所示。

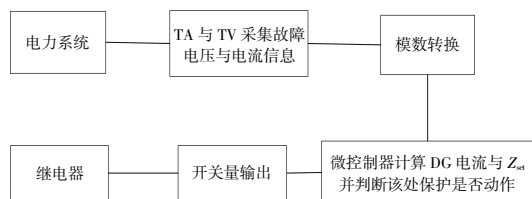


图 5 自适应保护硬件结构图

Fig.5 Hardware structure diagram of adaptive distance protection

由前文分析可知,IIDG 在配电网发生三相短路时等效为受并网点电压控制的电流源,IIDG 的电流为

$$\dot{I}_{DG} = f(\dot{U}_{pcc}) \quad (15)$$

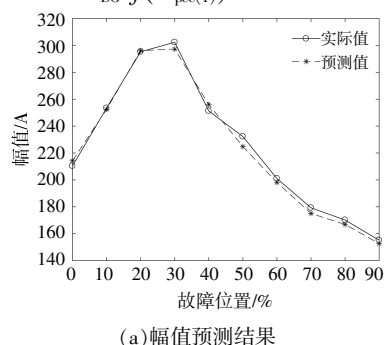
由图 2 可知:故障发生在 IIDG 下游时, $\dot{U}_{pcc} = \dot{U}_m - \alpha \dot{I}_m Z_{l2}$, $\dot{I}_{DG} = f(\dot{U}_m, \dot{I}_m)$; 故障发生在 IIDG 上游时, $\dot{U}_{pcc} - \dot{I}_{DG} Z_{l2} = \dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{l2}$, 同样可得 $\dot{I}_{DG} = f(\dot{U}_m, \dot{I}_m)$ 。即无论故障发生在 IIDG 上游或下游, \dot{I}_{DG} 都与 \dot{I}_m 和 \dot{U}_m 存在着一定的函数关系。但是,由于 IIDG 的控制策略复杂多变,难以通过一具体的函数公式表示该关系。由于神经网络能够无限逼近任意连续函数,因此使用 BP 神经网络对故障数据进行拟合,当故障发生时,利用训练好的神经网络实时预测 IIDG 的电流。

为了得到 \dot{I}_{DG} 与 \dot{I}_m, \dot{U}_m 间的关系,在 IIDG 上游与下游分别设置 100 次故障,选择 95% 的数据作为测试集训练神经网络。输入层节点数为 5,分别为 \dot{U}_m, \dot{I}_m 的幅值与相位, DG 容量 5 个变量作为 BP 神经网络的输入,输出层节点数为 2,分别为 IIDG 电流的幅值与相位,隐藏层节点数根据经验值取 3。在故障发生时,根据保护处的电气量信息实时预测 IIDG 的输出电流并代入整定公式中。DG 容量为 1 MW,不同位置发生三相故障的幅值与相位预测结果如图 6 所示。

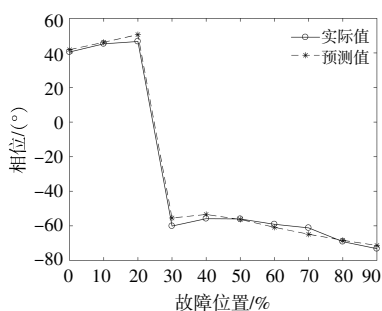
由图 6 可以看出,神经网络可以较为准确地预测出 IIDG 的输出电流,最大幅值相对误差为 1.12%,最大相角相对误差为 1.37%。

当系统发生两相短路故障时,由于 IIDG 采用正序分量控制,仍然输出三相对称的电流,此时 IIDG 等效为受并网点正序电压控制的电流源,即:

$$\dot{I}_{DG} = f(\dot{U}_{pcc(1)}) \quad (16)$$



(a)幅值预测结果



(b) 相位预测结果

图 6 DG 电流预测结果

Fig.6 Prediction results of DG current

式中: $\dot{U}_{pcc(1)}$ 为 PCC 电压正序分量。

因此,发生两相短路时,使用对称分量法提取

\dot{U}_m 和 \dot{I}_m 正序分量作为神经网络的输入。

4 仿真及结果分析

4.1 仿真系统及参数

本文在 MATLAB 中建立含 IIDG 的 10 kV 配电网拓扑模型,如图 7 所示。

图中,线路阻抗 $Z=0.110 0+j0.163 3 \Omega/\text{km}$,线路 $L_1 \sim L_5$ 长度分别为 5, 10, 5, 5, 3 km。负荷有功功率均为 5 MW,各 IIDG 均采用正序分量的 PQ 控制及低电压穿越控制,其中 IIDG2 有功功率参考值为 2 MW, IIDG1 以 T 形接于距离线路首段 25% 处,有功参考值分别取 1, 4 MW,以验证不同

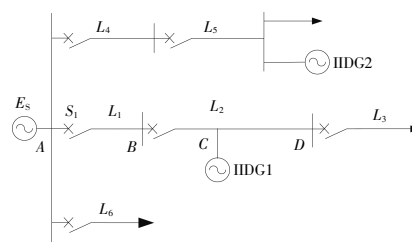


图 7 含 IIDG 配电网结构

Fig.7 Structure diagram of distribution network including IIDG

容量的 IIDG 对保护的影响。阻抗继电器采用幅式方向阻抗继电器,动作特性为 $\left| Z_m - \frac{1}{2} Z_{set} \right|$ 。

4.2 仿真结果

表 1~4 为自适应距离保护与传统距离保护的对比结果。

通过仿真结果可以看出,由于 IIDG 的接入,传统距离保护的保护区减小,且减小的程度与 IIDG 容量有关。因此,在 IIDG 下游部分线路发生故障时,传统距离保护将无法动作,无法满足保护的可靠性。而自适应距离保护在不同的条件下可以保护线路全长的 80% 左右,并且在 IIDG 上游发生故障时,自适应保护退出,不影响保护的正确动作。因此,本文提出的自适应距离保护与传统距离保护相比,有着更高的灵敏性与可靠性。

表 1 自适应距离保护与传统距离保护的对比结果(ABC 三相故障, DG=1 MW)

Table 1 Comparison results of adaptive distance protection and traditional distance protection (ABC three-phase fault, DG=1 MW)

DG 容量	传统距离保护				自适应距离保护				
	故障位置/%	$\left Z_m - \frac{1}{2} Z_{set} \right $	$\left \frac{1}{2} Z_{set} \right $	是否动作	i_{DC}		$\left Z_m - \frac{1}{2} Z_{set} \right $	$\left \frac{1}{2} Z_{set} \right $	是否动作
					预测值	实际值			
1 MW	10	0.590 6	0.787 5	是	160.83 \angle 62.37	164.27 \angle 65.36	0.590 6	0.787 5	是
	30	0.115 1	0.787 5	是	177.95 \angle -81.63	176.63 \angle -82.30	0.113 2	0.799 9	是
	50	0.218 2	0.787 5	是	161.85 \angle -87.75	158.04 \angle -88.52	0.186 2	0.811 2	是
	70	0.735 9	0.787 5	是	152.51 \angle -89.53	149.56 \angle -86.13	0.622 3	0.822 5	是
	80	1.064 8	0.787 5	否	152.15 \angle -96.34	147.21 \angle -90.03	0.826 4	0.833 7	是

表 2 自适应距离保护与传统距离保护的对比结果(ABC 三相故障, DG=4 MW)

Table 2 Comparison results of adaptive distance protection and traditional distance protection (ABC three-phase fault, DG=4 MW)

DG 容量	传统距离保护				自适应距离保护				
	故障位置/%	$\left Z_m - \frac{1}{2} Z_{set} \right $	$\left \frac{1}{2} Z_{set} \right $	是否动作	i_{DC}		$\left Z_m - \frac{1}{2} Z_{set} \right $	$\left \frac{1}{2} Z_{set} \right $	是否动作
					预测值	实际值			
4 MW	10	0.590 4	0.787 5	是	512.64 \angle 42.64	538.04 \angle 51.52	0.590 6	0.787 5	是
	30	0.278 5	0.787 5	是	556.35 \angle -55.56	569.94 \angle -50.35	0.171 6	0.802 6	是
	50	0.457 1	0.787 5	是	488.04 \angle -68.62	495.10 \angle -56.53	0.207 2	0.825 8	是
	70	0.880 2	0.787 5	否	459.36 \angle -69.83	468.66 \angle -65.23	0.640 5	0.826 8	是
	80	1.210 0	0.787 5	否	446.78 \angle -67.53	435.14 \angle -71.66	0.924 2	0.936 5	是

表 3 自适应距离保护与传统距离保护的对比 (AB 两相故障, DG=1 MW)

Table 3 Comparison results of adaptive distance protection and traditional distance protection (AB two-phase fault, DG=1 MW)

DG 容量	传统距离保护				自适应距离保护				
	故障位置/%	$ Z_m - \frac{1}{2}Z_{set} $	$ \frac{1}{2}Z_{set} $	是否动作	i_{DC}		$ Z_m - \frac{1}{2}Z_{set} $	$ \frac{1}{2}Z_{set} $	是否动作
					预测值	实际值			
1 MW	10	0.590 6	0.787 5	是	110.26 ∠ 66.59	114.58 ∠ 69.73	0.590 6	0.787 5	是
	30	0.156 2	0.787 5	是	127.56 ∠ -81.10	126.63 ∠ -84.72	0.163 5	0.786 4	是
	50	0.214 8	0.787 5	是	112.52 ∠ -87.75	108.04 ∠ -86.22	0.209 3	0.793 3	是
	70	0.632 8	0.787 5	是	101.51 ∠ -85.32	98.56 ∠ -84.03	0.624 1	0.796 4	是
	80	0.855 3	0.787 5	否	97.15 ∠ -89.74	96.21 ∠ -83.71	0.815 5	0.807 9	否

表 4 自适应距离保护与传统距离保护的对比 (AB 两相故障, DG=4 MW)

Table 4 Comparison results of adaptive distance protection and traditional distance protection (ABC two-phase fault, DG=4 MW)

DG 容量	传统距离保护				自适应距离保护				
	故障位置/%	$ Z_m - \frac{1}{2}Z_{set} $	$ \frac{1}{2}Z_{set} $	是否动作	i_{DC}		$ Z_m - \frac{1}{2}Z_{set} $	$ \frac{1}{2}Z_{set} $	是否动作
					预测值	实际值			
4 MW	10	0.590 6	0.787 5	是	460.83 ∠ 50.23	469.32 ∠ 45.13	0.590 6	0.787 5	是
	30	0.203 6	0.787 5	是	430.95 ∠ -66.24	423.37 ∠ -62.15	0.182 4	0.801 0	是
	50	0.235 0	0.787 5	是	412.52 ∠ -65.71	408.20 ∠ -68.20	0.215 8	0.807 3	是
	70	0.824 6	0.787 5	否	402.60 ∠ -70.51	388.27 ∠ -72.17	0.637 3	0.815 2	是
	80	0.989 0	0.787 5	否	387.17 ∠ -71.36	376.27 ∠ -74.81	0.819 2	0.827 7	是

5 结论

针对大量 IIDG 接入配电网后,传统继电保护的不足,本文提出了一种自适应距离保护方案。该保护方案根据 IIDG 的输出电流,实时整定保护动作值,在最大范围内实现无时限切除故障;保护仅利用本地信息,保护速动性与经济性较好;保护范围基本不受故障类型与 IIDG 容量影响,保护可靠性较好。由于考虑了可靠系数,该保护方案仍无法保护线路全长,需要与距离 II 段与距离 III 段保护配合,整定方法类似。该保护方案有利于提高含 IIDG 配电网的供电可靠性,促进可再生能源就近消纳。

参考文献:

- [1] GB/T33593-2017,分布式电源并网技术要求[S].
- [2] 刘幸蔚,李永丽,陈晓龙,等.逆变型分布式电源 T 接线路后纵联差动保护的改进方案 [J]. 电网技术, 2016, 40(4): 1258-1265.
- [3] 明潇宇,吕飞鹏,余晓,等.含 T 接逆变型分布式电源配电网的纵联保护方案 [J]. 电测与仪表, 2020, 57(11): 74-79.
- [4] 贾科,杨哲,朱正轩,等.基于电流幅值比的逆变型新能源场站送出线路 T 接纵联保护 [J]. 电力自动化设备, 2019, 39(12): 82-88.
- [5] 朱妍,陆于平.含 DG 配网充分式优选制综合电流幅值差动保护[J].中国电机工程学报, 2018, 38(S1): 68-74.
- [6] 徐丙垠.配电网继电保护与自动化[M].北京:中国电力出版社, 2017.
- [7] 祁言嘉,王宝华.含逆变型分布式电源的配电网自适应电流保护[J].科学技术与工程, 2021, 21(17): 7151-7158.
- [8] 曾德辉,王钢,郭敬梅,等.含逆变型分布式电源配电网自适应电流速断保护方案 [J]. 电力系统自动化, 2017, 41(12): 86-92.
- [9] 周宁,雷响,荆晓睿,等.一种含高渗透率分布式电源配电网自适应过电流保护方案[J].电力系统保护与控制, 2016, 44(22): 24-31.
- [10] 连超.光伏电源接入的配网自适应距离保护研究[D].徐州:中国矿业大学, 2020.
- [11] 潘本仁,贾科,杨哲,等.适应逆变型分布式电源接入的配电网保护方法[J].南方电网技术, 2018, 12(10): 41-51.
- [12] 沈茜,金鹏,胡国.计及逆变型分布式电源的有源配电网单相接地故障分析 [J]. 可再生能源, 2020, 38(7): 940-947.
- [13] 潘国清,曾德辉,王钢,等.含 PQ 控制逆变型分布式电源的配电网故障分析方法 [J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(4): 555-561.

Adaptive distance protection for distributed generation distribution network with T-connected inverter interfaced distributed generation

Zhao Jianwen, Zhang Hongbo, Hu Yujia

(School of Electrical and Control Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710600, China)

Abstract: With the continuous development of renewable energy, a large number of inverter interfaced distributed generations (IIDG) are connected to the distribution network, which puts forward new requirements for the traditional relay protection technology. In order to improve the power supply reliability of distribution network and adapt to the new power system with large penetration of renewable energy, an adaptive distance protection is proposed for distribution network with T-connected IIDG. Firstly, the influence of fault at different locations on the protection is analyzed. According to the output characteristics of IIDG in case of system fault, the output current of IIDG is calculated by BP neural network using the local electrical information of the protection, and the action value is set immediately. Because this method does not need to communicate with the remote, the action speed is fast, and the investment of the communication system is reduced. Finally, the 10 kV distribution network model with T-connected IIDG is established in MATLAB, and compared with the traditional distance protection to verify the superiority of this protection method.

Keywords: inverter interface distributed generation; T-connected; adaptive protection; distance protection