

文章编号:1000-582X(2006)08-0036-04

# 分布式电源对配电网继电保护影响的分析\*

胡成志,卢继平,胡利华,冉力

(重庆大学电气工程学院 高电压与电工新技术教育部重点实验室,重庆400030)

**摘要:**研究了分布式电源接入放射状配电网对配电网继电保护的影响.利用 MATLAB/simulink 建立了配电网和分布式电源模型,并对配电网进行速断电流保护整定计算,针对分布式电源的容量和接入位置等因素,探讨了分布式电源对配电网短路电流分布和速断电流保护的影响.结果表明:分布式电源的容量越大对继电保护的影响就越大,保护可能失去选择性,分布式电源在保护上游产生助增作用使得保护范围增大,在保护下游产生分流作用使得保护范围减小,原有的保护有必要加装方向元件.

**关键词:**分布式电源;配电网;继电保护

**中图分类号:**TM77

**文献标识码:**A

分布式电源(DG, distributed generation)是一种新兴的电力电源技术,它的兴起是地球环境可持续发展政策与技术进步的产物.在20世纪的下半叶电力工业的发展是沿着这样一种模式,即由大功率发电厂发电,高压输电网送电,包括高压、中压、低压电网的配电系统将电能分配给用户.在这种系统中潮流方向只有一个:从发电厂到电网再到用户.随着大量的分布式电源接入配电网后,这一模式将有所改变,电能的生产将更加接近用户.但是由于分布式电源接入到配电系统中,将不可避免地使配电系统复杂化,给运行和调度带来困难.

分布式电源并入电网后将给配电网带来一系列影响,分布式电源对配电网产生的影响与配电网和分布式电源的运行情况相关<sup>[1-2]</sup>.配电网的特点是呈放射形结构并由单电源供电,配电网的继电保护是以此为基础设计的.当分布式电源接入配电网后,配电网的结构将发生改变.当配电网发生故障时,除了系统向故障点提供故障电流外,分布式电源也将对故障点提供故障电流,改变了配电网的节点短路水平.因而影响配电网继电保护装置的正常运行.分布式电源的类型、安装位置和容量等因素都将对配电网的继电保护造成影响.

笔者旨在分析分布式电源对配电网继电保护的影响,建立一个典型结构的配电网模型并进行继电保护整定,从分布式电源的位置、容量等因素考虑其对配

网继电保护的影响.

## 1 分布式电源

分布式电源是指分布在配电网中的功率为10 kW ~ 30 MW 小型模块式的、与环境兼容的独立电源.分布式电源具有调峰、再生能源的利用、节省输变电投资、降低网损、提高供电可靠性等效益<sup>[3]</sup>. DG 主要包括燃料电池、小型热电联产、小型水力发电站、风力发电、太阳能电池阵列以及生物发电等多种形式.

中小容量的分布式电源接入配电网中,在故障发生时将对故障点提供故障电流.从研究继电保护的角度而言,分布式电源模型可以用一个电源串联电抗的模型来表示.因此所需要考虑的是,在故障发生时分布式电源能够提供多大的故障电流.对于不同类型的分布式电源,其电抗值是有所区别的,它代表着该电源的故障电流注入能力. Barker et al<sup>[1]</sup>对各种类型分布式电源的故障电流注入能力进行了研究,如表1所示.从表中可以发现,最大的故障电流注入能力可以达到1 000%. 该值可用于短路计算以确定最糟的故障情况.

表1 不同类型 DG 的故障电流注入能力

DG 类型	故障电流注入能力
换流器	100% ~ 400%, 持续时间取决于控制装置.
同步电机	500% ~ 1 000%, 逐渐衰减到 200% ~ 400%.
感应电机	500% ~ 1 000%, 在 10 个周波内衰减至可忽略.

\* 收稿日期:2006-04-10

基金项目:重庆市科委应用基础资助项目(7950)

作者简介:胡成志(1979-),女,重庆合川人,重庆大学硕士,主要从事电力系统及其自动化研究.

## 2 配电网

配电网的拓扑结构类型较多,主要包括放射式接线、树干式接线和环网式接线方式,其形式主要取决于对供电可靠性的要求.中国城乡大多数的配电系统仍然以放射状链式结构为主.这种结构的网络有许多优点,比如接线可靠、保护整定容易、扩容简单等.

笔者所用的配电网模型将变电所以上的系统等值为一电压源,配电网电压等级为10 kV.为了进行继电保护整定计算,需要了解系统阻抗,此处用短路容量来表示其短路水平.由于中压配电网经过输电网、高压配电网连接到发电厂,离系统电源的电气距离比较远,因此考虑最大运行方式和最小运行方式下的短路容量时没有太大变化,变电所变压器的低压母线短路容量由表2中的数据来表示.

表2 变压器低压母线短路容量

运行方式	短路容量/MV·A
最大运行方式	250
最小运行方式	225

## 3 配电网继电保护

配电网的继电保护,相对于高电压大系统继电保护而言,属于简单保护.在配电网中常用的继电保护有电流保护、电压保护、反时限电流保护、距离保护等.继电保护动作值的设定包含两方面的意思,其一是应由故障设备上的保护装置动作切除故障,其二是上下级之间的保护装置能起后备保护作用.

一般配电网是放射状链式结构且由单端电源供电,在线路上发生故障时,只有系统侧的电源向故障点提供故障电流.因此配电网中的继电保护装置设在线路的系统侧,如图1所示.

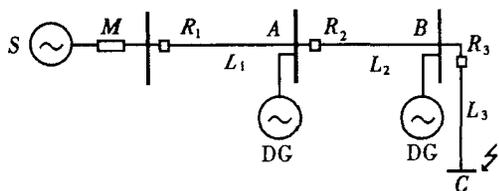


图1 配电网

在配电网中接入分布式电源,发生短路故障时,配电网中的短路电流分布明显与不接分布式电源时不同,这将影响配电网原有继电保护配置的正常运行<sup>[4-6]</sup>.电流保护是配电网中最为常用的保护,它是用电流突然增大使保护动作的保护装置.为了直观显示分布式电源对配电网短路电流分布和继电保护的影响,以配电网的瞬时电流速断保护为研究对象.瞬时电流速断保护的動作电流 $I'_{dz}$ 可按大于本线路末端短路时流过保护安装处的最大短路电流来整定,如式(1)

所示.

$$I'_{dz} = K'_{rel} \cdot I_{k \cdot max} \quad (1)$$

按本线路末端故障整定的电流速断保护,灵敏度通常用保护范围来衡量.根据保护区末端最小运行方式下两相短路时短路电流与动作电流相等可以得出最小保护范围.

$$l_{min} = \frac{1}{Z'_l} \left( \frac{\sqrt{3}E_S}{2I'_{dz}} - Z_{S \cdot max} \right) \quad (2)$$

分布式电源接入配电网之后,原有配电网的结构发生了较大变化.在故障发生时,由于分布式电源助增电流的作用,流经故障点的故障电流将增大.分布式电源的引入改变了分布式电源附近节点的短路水平,它将对配电网继电保护的正確动作带来影响.分布式电源接入配电网,在故障发生时由于分布式电源的助增或分流作用,流过保护装置的故障电流可能增大或减小,它将改变保护的保護范围和灵敏度,给各线路继电保护的上下级配合带来问题.如果分布式电源接入后对继电保护的影响不是太大,继电保护仍然能够满足保护范围和灵敏度要求,就不需要改变继电保护.对于配电网的一些新型保护如基于数据信道的方向保护等,由于分布式电源改变了附近节点的短路水平,因此仍存在着是否满足灵敏度要求的问题.

分布式电源接入配电网中还将带来另外一个问题.配电网是单端电源供电,因此配电网的继电保护没有方向元件.在接入分布式电源之后,配电网某些部分将变为双端电源供电.在分布式电源节点上游线路发生故障时,由DG提供的故障电流是从负荷侧流向系统侧.这意味着在保护装置下游接有分布式电源时,在保护的下游和上游发生故障,都有故障电流流过保护,由于它没有方向元件,一旦故障电流超过整定值,保护都将动作而失去选择性.因此,需要在配电网的继电保护装置上安装方向元件,以保证继电保护能够正常工作.

## 4 仿真算例

笔者应用多个算例来反映不同地点、不同容量分布式电源对配电网短路电流分布的不同影响,及其对配电网继电保护装置的影响.

所用的配电网模型如图1所示.系统的容量基准取为100 MV·A,电压基准取为10.5 kV.分布式电源由变压器连接至配电网,取变压器的容量与所接分布式电源的容量一样大,即当分布式电源为1 MV·A时,变压器也为1 MV·A.分布式电源的阻抗考虑为表1中最为严重的情况,取值如下.

$$\text{分布式电源电抗: } X^*_{DG} = 0.1 \quad (S_j = S_n)$$

$$\text{变压器电抗: } X^*_T = 0.05 \quad (S_j = S_n)$$

线路电抗:  $Z_j = 0.35 \Omega/\text{km}$

表3所示为配电网每段线路的长度,表4是此网络采用上面参数时的电流速断保护整定值,包括动作电流,动作时间和最小保护范围。

表3 线路长度

线路	$L_1$	$L_2$	$L_3$
长度/km	5	5	7

表4 配电网电流速断保护整定值

线路	$I_{dz}/\text{kA}$	$t/\text{s}$	$l_{\min}/\%$
$L_1$	3.320	0	62.36
$L_2$	1.846	0	34.54
$L_3$	1.138	0	25.41

#### 4.1 分布式电源容量变化实验

采用同样的网络数据,分布式电源安装在相同的地点,分布式电源的容量发生改变,对配电网进行短路计算.为了确定在何种条件下发生的短路对配电网继电保护有着更大的影响,因此需要考虑最为恶劣的短路条件.下面进行的短路计算是在系统以最大运行方式下发生的三相短路。

在各种仿真情况中,选取一个分布式电源以几种容量连接在母线A上,配电网在节点短路时的故障电流分布情况,如表5所示。

表5 A点接入DG时的短路电流分布

$S_{DG}/\text{MV}\cdot\text{A}$	故障地点	$I_{DG}/\text{A}$	$I_{R_1}/\text{A}$	$I_{R_2}/\text{A}$	$I_{R_3}/\text{A}$
0.00	B	0	1 538	1 538	0
2.00	B	365	1 376	1 741	0
3.00	B	520	1 308	1 828	0
3.25	B	556	1 292	1 848	0
4.00	B	660	1 245	1 905	0
0.00	C	0	949	949	949
2.00	C	214	808	1 022	1 022
3.00	C	299	752	1 051	1 051
3.25	C	318	739	1 058	1 058
4.00	C	373	703	1 076	1 076

仿真结果表明,在不改变分布式电源接入位置的情况下,随着分布式电源容量的改变,在配电网中发生故障时,配电网中的短路电流有着较大的改变.如表5所示,在B点故障时,随着分布式电源容量的增加,分布式电源注入故障点的电流 $I_{DG}$ 逐渐增大,流过 $R_2$ 的故障电流 $I_{R_2}$ 也逐渐增大,但是流经 $R_1$ 的故障电流 $I_{R_1}$ 却是逐渐减小的.在C点发生故障时的故障电流分布情况也是一样.与不接分布式电源相比,对于同一点故障,分布式电源下游保护流经的故障电流增大,上游保护流经的故障电流减小,这将使下游保护的保护区增大,而上游保护(线路的远后备保护)的保护区减小。

表5中数据还表明,当分布式电源容量达到

3.25 MV·A时,在B点发生三相故障时,流过 $R_2$ 的故障电流达到1 848 A,而本线路速断电流保护的整定值为1 846 A,在此种情况下,本段线路的电流速断保护将动作.当分布式电源容量大于3.25 MV·A, $R_2$ 的保护范围将伸到 $L_3$ .当 $L_3$ 首端发生故障时, $R_2$ 、 $R_3$ 都达到电流速断保护的整定值,2个保护都将跳闸,继电保护将失去选择性.为了量化保护伸入相邻下一级线路的范围,用故障电流达到整定值时,故障点距离本线路末端的长度 $l_f$ 占相邻线路本身长度 $l$ 的百分比表示:

$$L_s\% = \frac{l_f}{l} 100\% \quad (3)$$

分布式电源的助增能力用线路末端短路时,流过分布式电源的故障电流 $I_{DG}$ 和流过保护的故障电流 $I_R$ 之比 $I_{DG}/I_R$ 表示.以大于3.25 MV·A的各种分布式电源容量,流过 $R_2$ 的故障电流为1 846 A进行短路电流计算,选取一组数据列入表6中。

表6 分布式电源的伸入范围与助增能力

$S_{DG}/\text{MV}\cdot\text{A}$	$L_s\%$	$I_{DG}/I_{R_2}$
4.0	4.2	0.346 4
4.5	6.6	0.373 5
5.0	8.8	0.398 5
6.0	12.8	0.442 9

从表6中可以发现,在分布式电源的容量大于3.25 MV·A时,继电保护的保护区将伸入下一级线路,随着容量的增加,分布式电源的助增能力越大,伸入下一段保护区的范围越大,继电保护的选择性将得不到满足.在4 MV·A时,可以达到 $L_3$ 的4.2%,助增能力是0.346 4;在4.5 MV·A时,可以达到 $L_3$ 的6.6%,助增能力是0.373 5;6 MV·A时,可以达到 $L_3$ 的12.8%,助增能力是0.442 9。

#### 4.2 分布式电源位置变化实验

仍然采用上面的网络数据,选取相同容量分布式电源连接在不同位置时,网络的短路电流分布.以4 MV·A的分布式电源在各种位置接入配电网为例,当 $L_2$ 末端短路时配电网短路电流分布如表7所示。

表7 4 MV·A的DG接入不同点时的短路电流分布

$S_{DG}$ 位置	$I_{DG}/\text{A}$	$I_{R_1}/\text{A}$	$I_{R_2}/\text{A}$	$I_f/\text{A}$
20% $L_1$	255	1 344	1 589	1 589
50% $L_1$	404	1 269	1 673	1 673
80% $L_1$	554	1 243	1 797	1 797
A	660	1 245	1 905	1 905
20% $L_2$	776	1 262	1 262	2 039
50% $L_2$	979	1 321	1 321	2 300
80% $L_2$	1 240	1 428	1 428	2 668
90% $L_2$	1 347	1 478	1 478	2 825
B	1 466	1 538	1 538	3 044

仿真结果表明,在不改变分布式电源容量的情况下,改变分布式电源的接入位置将对配电网的短路电流分布产生较大影响.当分布式电源接入位置在线路 $L_1$ 、 $L_2$ 上变化,在 $L_2$ 线路末端发生故障时,随着电源接入位置从首端向末端变化的过程中,分布式电源的注入电流 $I_{DC}$ 增大.

当分布式电源连接在 $L_1$ 上时,分布式电源位于保护 $R_2$ 的上游,由于分布式电源的助增电流使得流过 $R_2$ 的故障电流 $I_{R_2}$ 是增大的,故障电流大于未接分布式电源时线路末端故障流过 $R_2$ 的故障电流,因此它将增大 $L_2$ 电流速断保护的保护区.

当分布式电源连接在 $L_2$ 上时,分布式电源位于保护 $R_2$ 的下游,在线路末端故障时,流经故障点的故障电流仍然是增大的,但是由于分布式电源的分流作用,使得流过 $R_2$ 的故障电流要小于在未接分布式电源时的相同故障情况下流过的故障电流,因此它将减小 $L_2$ 电流速断保护的保护区.

## 5 结论

基于放射式配电网电流保护,结合多个仿真算例说明分布式电源对配电网继电保护的影响,并得出如下结论:

1)一定容量的分布式电源接入配电网,的确会给配电网的继电保护带来影响.其影响的大小与分布式电源的类型、容量、接入位置相关.

2)随着分布式电源容量的增加,分布式电源对继

电保护的助增电流加大,保护区有可能伸到下一级线路,使保护失去选择性.

3)分布式电源在继电保护的上游时,有助增作用,使保护区增大;分布式电源在继电保护下游时,有分流作用,保护区减小.

4)当分布式电源接入配电网之后,有必要加装方向元件来保证继电保护的准确动作.

## 参考文献:

- [1] BARKER P P, MELLO R W. Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1-Radial Distribution Systems [Z]. Power Engineering Society Summer Meeting, Piscataway, 2000.
- [2] DUGAN R C, MCDERMOTT T E. Distributed Generation [J]. IEEE Industry Applications Magazine, 2002, 8(2): 19-25.
- [3] 梁宜. 21世纪电力前沿技术的现状及发展[J]. 水利电力科技, 2002, 28(4): 1-8.
- [4] DOYLE M T. Reviewing the Impacts of Distributed Generation on Distribution System Protection [J]. IEEE Industry Applications Magazine, 2002, 5(1): 103-105.
- [5] GIRGIS A, BRAHMA S. Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System [Z]. 2001 Large Engineering Systems Conference, Piscataway, 2001.
- [6] ACKERMANN, ANDERSSON G, SODER L. Distributed Generation: A Definition [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2001, 57: 195-204.

# Analysis of the Impact of DG on the Protection of Distribution System

HU Cheng-zhi, LU Ji-ping, HU Li-hua, RAN Li

(Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology, Ministry of Education, Electrical Engineering College of Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** The effects of DG on the protection of radial distribution system are discussed. With MATLAB/simulink software it builds distribution system model and DG model and calculates the current protection. according to the size and location of DG the effects on the short circuit current and protection of distribution system. The result shows the size of DG affects protection and makes it lose selectivity probably, DG upstream protection makes it amplify protection range, DG downstream protection makes it reduce protection range, and the original protections are necessary to install directional element.

**Key words:** distributed generation; distribution network; protection