

负荷节点负序源综合建模方法的研究

梅建群, 陈 谦, 顾乔根

(河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 210098)

摘 要:随着电铁等不对称负荷对电力系统负序污染的加重,需要定量分析负序源对电网稳态运行造成的影响,并在此基础上制定相应的改善措施。因此,如何建立节点级的负序源模型并用于全电网分析计算具有重要的意义。提出了一种新的电网负荷节点负序源模型的综合建模方法,并以此对全网的负序污染情况进行分析。采用现场实测数据进行负序源建模,然后用 PSASP 软件进行了实际电网不对称潮流分析计算。计算结果验证了该建模方法的理论正确性与工程实用性。

关键词:建模;负序源模型;不对称潮流

中图分类号:TM74

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2011)01-0022-04

随着国民经济的快速发展,我国用电负荷中的非线性负荷和不对称负荷不断增多。其中由电气化铁路、冶炼厂、电弧炉等非线性不对称负荷引起的负序污染问题变得越来越严重。所以有效分析这些三相不平衡负荷所产生的负序问题具有十分重要的意义。负序污染主要是由于电力系统不对称运行造成的,具体可以概括为2个方面。一种是长时间不对称运行引起,主要包括负荷不对称、各相线路阻抗不对称、输电线非全相运行等;另一种是短时间不对称运行引起,这主要集中为发电机、变压器、线路的两相或单相故障(短路、接地或断相)或三相重合闸开关跳闸与合闸时三相触头不同时断开或接通造成短时不对称^[1-3]。目前,有关文献资料大多是从负荷(如牵引负荷)或者变压器等元件级层面研究其负序特性,并分析其对电网接入点的影响^[4,5]。然而就广域电网的角度而言,建立合适尺度的节点级负序源模型,并以此定量分析负序源对电网运行造成的影响,这些方面少有研究。

1 负序源的建模与对电网影响分析

电力系统负序污染问题主要是研究由负序污染源导致的负序潮流在电网内传播,从而对特定节点或区域造成的危害是否超标。这种研究电力系统稳态意义下的负序污染问题,与其他的稳态问题一样,分析的方法仍是潮流分析,称之为不对称潮流(三相潮流)。从系统的角度而言,注入量是负序源,经过相应的潮流计算,得到这些注入量在其他节点或支路上的数值。负序注入源分为2类:一类是节点的注入源,如负荷节点、直流换流站等;另一类是由于网络参数的不对称或非线性产生的等效注入源^[6,7]。假定网络参数是对称线性的,即只研究节点注入源

的情况。

电力系统节点的负序注入源根据其特性可分为2种不同的模型,第1种是设备级模型,如直流换流站、高压母线的静止无功补偿器(SVC)等;第2种是负荷节点上经过聚合后的模型,如1个风电场、1个电铁换流站等,其注入源模型体现了多个不对称负荷的综合效果,可称为节点级模型。例如,目前虽然对单个牵引机车的负序特性研究比较深入,但是电力系统接入点的负序源是多个牵引负荷按照特定规律共同作用的结果。显然,对电力系统分析而言,其负序源尺度与单个不对称负荷的负序源尺度是不一样的。因此,有必要对电力系统负荷节点的负序源建模进行深入研究。通常模型的综合有多种方法^[8,9]。

(1) 理论聚合法。根据每一个设备的具体机理模型,通过理论分析,形成适用的模型,并体现了多个设备的综合效应。

(2) 测量统计法。在多个设备的汇集点采集不同工作状态下的实际特性,通过特征量的分析提取,再经过统计方法得到总的模型。

(3) 基于拟合的方法。其实质就是从一组模型类中选择一个模型,按照某种准则,使之能最好地拟合所关心的实际过程^[10]。

以上3种方法各有优缺点,如理论聚合法意义明确,但分析难度较大,尤其是设备较多时;测量统计法的统计工作繁杂,与用户的运行方式密切相关,需要考虑用电设备的同时率;拟合方法全局性较好,但是计算量大,且缺少相关理论依据。在综合研究上述各种方法的前提下,提出一种综合建模的方法。

2 节点级负序源建模方法

2.1 建模方法分析

对于风电场、牵引变、冶炼负荷等负荷点,实际

上包含多个注入源设备。理论上可采用上述3种方法之一,但实际上都有一定的缺点。如采用理论聚合方法,不仅需要知道用户设备的运行规律,而且设备较多时分析困难。如采用统计综合法,不仅需要知道用户设备的运行规律,并且统计工作需要用户配合,且时效性较差。当前随着电能质量检测系统的建设与发展,主要统计信息变得较容易获取。例如,在电力系统接入点经过测量,可直接得到多个负序源汇集后的数值。这些数据可以在线获取,具有时效性,避免了繁琐的人工统计。但是,所获得数据只是各个时间点上的信息,需要进一步统计处理,得到适用的模型与参数。

如采用拟合方法,虽然经过负序源的设置与参数调整设置,可得到某时间断面上合理的负序电流电压分布,但是计算量大,潮流的调整缺少相关理论依据。

2.2 综合建模方法

综上所述,提出了一种综合的方法,即综合应用了测量统计法与拟合法。首先采用测量统计法,实际上利用了电能质量监测系统在线测量。统计的数据经过统计处理,得到电力系统不同运行状态下负序源的模型与参数。电力系统不同运行状态是指季节、节假日、时段等。负序源的模型也包括严重情况、平均情况2种。接下来采用拟合的方法,进一步将模型推广到其他没有安装监测设备的节点。随后通过三相不对称潮流的计算矫正,使得计算结果与实际测量的断面相吻合,从而得到适用于电力系统分析的节点负序源模型。

2.3 综合建模方法步骤

(1) 依照所接负荷类型,如牵引变、冶炼厂等,对各负序注入节点进行分类。(2) 进行数据测量,既可在在线测量(已接入电能质量监测系统),也可现场测量(未接入电能质量监测系统)。得到各个负荷节点不同运行状态下负序量(负序电流、负序电压)。(3) 进行统计分析,得到各类型节点在不同运行状态下负序分量幅值特性。包括一般情况下(平均值)和严重情况下的负序分量(95%概率最大值)。(4) 按照节点分类情况,将模型推广到其他无测量数据的负序量注入节点。(5) 采用不对称潮流计算分析进行拟合。即对应不同的系统运行状态,在负序注入点加入负序电流(一般情况与严重情况),考察系统中其他所有节点的负序电压响应是否与测量值特性一致,否则进行必要调整。建模总体流程如图1所示。

3 负序建模与实用分析

3.1 数据的测量统计

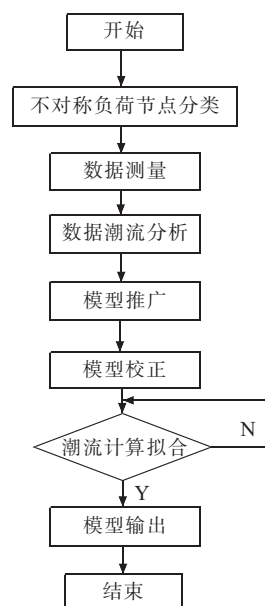
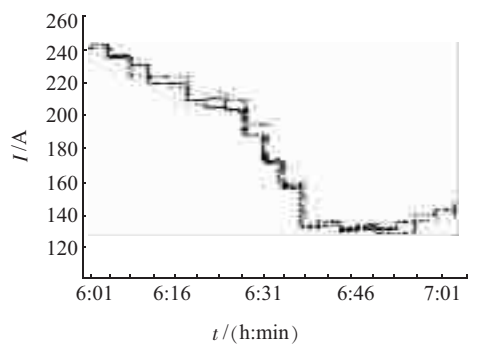
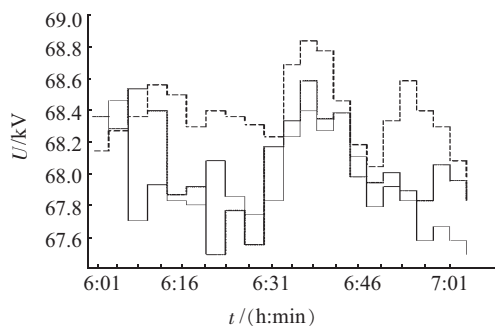


图1 建模流程图

某地区电网包括的负序源有:清水、梧桐泉、临泽等7个牵引负荷、玉门和大梁2个风电场、1个冶炼负荷。综合考虑风电、电铁和一些非线性非对称性负荷产生负序分量(不考虑不对称负荷类型)。某区域电网中部分测量数据趋势如图2和图3所示。图2和图3测量时间段为2009年5月25日6:01至7:05(间隔:179s)。部分数据处理结果如表1和表2所示。



(a) 嘉嘉牵线电流趋势图



(b) 嘉嘉牵线电压趋势图

图2 嘉嘉牵线电流与电压趋势图

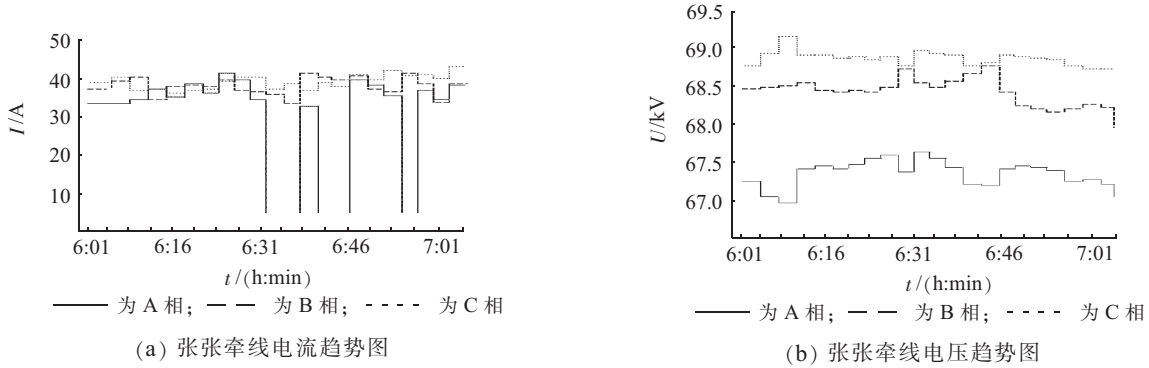


图3 张张牵线电流与电压趋势图

表1 嘉嘉牵线各序分量统计值

数据时间	正序最大值		正序最小值		正序 95%值		正序平均值		零序最大值		零序最小值	
2009年5月25日	U/kV	I/A	U/kV	I/A	U/kV	I/A	U/kV	I/A	U/V	I/A	U/V	I/A
6:00~7:05	68.52	237	67.92	126	68.46	230	68.20	175	45	0.38	34	0.04
三相不平衡度	零序 95%值		零序平均值		负序最大值		负序最小值		负序 95%值		负序平均值	
	U/V	I/A	U/V	I/A	U/V	I/A	U/V	I/A	U/V	I/A	U/V	I/A
0.70%	40	03	38	0.25	430	2.35	40	0.3	400	2.10	245	1.36

表2 张张牵线各序分量统计值

数据时间	正序最大值		正序最小值		正序 95%值		正序平均值		零序最大值		零序最小值	
2009年5月25日	U/kV	I/A	U/kV	I/A	U/kV	I/A	U/kV	I/A	U/V	I/A	U/V	I/A
6:00~7:05	68.1	38	67.72	22.9	68.06	37.5	67.95	35.04	382	14	356	0
三相不平衡度	零序 95%值		零序平均值		负序最大值		负序最小值		负序 95%值		负序平均值	
	U/V	I/A	U/V	I/A	U/V	I/A	U/V	I/A	U/V	I/A	U/V	I/A
76%	370	10	363	5.8	800	65	330	4	760	60	492	28

3.2 负序模型的拟合

经数据测量分析后,应用统计法对测试数据进行统计,得到未校验的负序电流源,如表3所示。

表3 负序注入源模型初始参数

各序分析工况	数值比
零序 95%	0.049 234 232
零序平均	0.023 423 244
负序 95%	0.583 492 327
负序平均	0.313 242 302

根据该初始模型,换算得到各节点负序电流源参数。并代入电网模型进行不对称潮流计算,得到节点负序电压响应。如表4所示,列出了部分节点95%情况下负序电压响应结果与实测电压的偏差。

表4 模型校验前响应电压对实测电压对比

负序源节点	负序电压响应 /V	负序实测电压 /V	偏差 /%
清水牵	397	430	7.67
梧桐泉牵	541	575	5.91
临泽牵	367	390	5.89
玉门洁源风电	331	325	-1.85
大梁风电	301	290	-3.79
巨龙铁合金	506	520	2.69

计算结果表明,部分节点电压响应与实测值偏差较大。因此,有必要对负序注入源模型参数进行调整。经调整后得到的注入源参数如表5所示。

表5 负序注入源模型参数(全天均值)

各序分析工况	数值比
零序 95%	0.056 948 244
零序平均	0.028 118 507
负序 95%	0.674 576 223
负序平均	0.385 639 672

模型调整后部分节点负序电压响应与实测值的对比情况如表6所示。表6的计算结果表明,有部分节点响应电压与实测电压仍有差距,但其偏差已经大为减小,响应电压总体拟合性较好。

表6 模型校验后响应电压与实测电压对比

负序源节点	负序电压响应 /V	负序实测电压 /V	偏差 /%
清水牵	419	430	2.56
梧桐泉牵	561	575	2.43
临泽牵	397	390	-1.79
玉门洁源风电	341	325	-4.92
大梁风电	304	290	-4.83
巨龙铁合金	523	520	-0.58

由于在对实际区域电网仿真分析时,常常存在多个负序源同时注入的情况,如分别对单个注入节点建模、分析,则过程繁琐,计算量大。上述综合建模方法的提出,有效简化了计算,在实际应用中,收到了较好的效果。

3.3 实用计算分析

嘉峪关牵与五华山牵同时注入负序电流源,通过全网潮流计算,得五华山牵与嘉峪关牵的系统潮流分别为 96.34 A, 84.2 A。经计算确定应该加的负序源的大小分别为 64.99 A, 56.8 A。然后通过不对称电流源计算,采用 PSASP 仿真软件进行分析。分析结果如表 7 所示。

表 7 2 个负序源注入电网负序电流分布

I 侧母线	J 侧母线	负序 严重/A	正序 电流/A	I_1/I_2 严重/%
五华山牵	阳关 B110	57.639	96.34	59.829
阳关 B110	嘉峪关 110	15.546	242.52	6.411
阳关 B110	洁源风 B110	29.476	283.04	10.414
嘉峪关 110	红山堡牵	1.016	86.51	1.175
嘉峪关 110	果园变	3.906	371.11	1.053
嘉峪关 110	新北郊开关站	5.859	269.62	2.173
嘉峪关 110	新北郊开关站	5.859	269.62	2.173
嘉峪关 110	雄关 110	55.627	121.13	45.923
清水牵	果园变	1.006	95.68	1.052
嘉峪关牵	雄关 110	55.968	84.20	66.47

由计算结果可见,牵引负荷接入点附近,三相不平衡的情况普遍严重,负序电流较大。负序电流同负荷负序阻抗按比例线性分流,负荷的负序阻抗越小,其供电支路的负序电流越大,对电网影响更为严重,且随着电气距离的增加,负序电流呈逐渐衰减趋势,说明负序污染源影响随着电气距离增加逐渐减小。

4 结束语

本文在对各种节点级负序源建模方法分析的基础上,提出了一种新颖的适用于电网负序分析的节点负序源模型综合建模方法,随后采用实测数据进行了建模工作。根据所建负荷节点负序模型,并基于 PSASP 进行了电网负序污染的进一步实用分析。仿真验证的结果表明了该综合建模方法的可行性和实用性。

参考文献:

- [1] 林海雪. 论电能质量标准[J]. 中国电力, 1997, 30(3): 9-10.
- [2] 翁利民, 陈灵欣, 靳剑峰. 电能质量的性能指标与改善方法[J]. 电力电容器, 2004(1): 9-14.
- [3] 朱桂萍, 王树民. 电能质量控制技术综述[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(19): 28-31.
- [4] 王果, 任恩恩, 田铭兴. 不同类型牵引变压器负序电流特性的分析比较[J]. 变压器, 2009, 46(11): 24-27.
- [5] 沈波, 董建洋. 负序电流对发电机转子的危害分析及防范措施[J]. 浙江电力, 2007(5): 35-38.
- [6] 蒋建东, 芦明, 王世果. 电网故障计算中参数不对称的模拟方法研究[J]. 郑州大学学报(工学版), 2007, 28(3): 80-82.
- [7] 傅旭, 王锡凡. 三相参数不对称的环状复杂配电网故障计算的新法[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(11): 65-68.
- [8] WALTER E. Identifiability of Parametric Models [M]. Great Britain: Pergamon Press, 1987.
- [9] JU P E, HANDSCHIN E, KARLSSON D. Nonlinear Dynamic Load Modeling: Model and Parameter Estimation [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1996, 11(4): 1686-1697.
- [10] 方崇智, 萧德云. 过程辨识[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.

作者简介:

梅建群(1978-), 男, 安徽宣城人, 工程师, 从事电力系统分析方向的研究工作。

陈谦(1972-), 男, 江苏南京人, 副教授, 从事电力系统建模与电力系统分析方向的研究工作。

顾乔根(1986-), 男, 江苏南通人, 硕士研究生, 从事电力系统分析方向的研究工作。

Study on Combined Method of Negative-sequence Source Modeling

MEI Jian-qun, CHEN Qian, GU Qiao-gen

(College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Along with the economic development, more and more asymmetric loads, such as electric railway, are connected to the power grid. It is very important to analyze the pollution of these negative-sequence sources which will deteriorate power quality seriously and to design the method to improve power quality. Therefore, how to establish the negative-sequence source model is meaningful. A new method named Combined Negative-sequence Source Modeling is presented. The Negative-Sequence Source model is aimed to the load-bus of power system. The negative-sequence pollution in the whole power grid could be analyzed by this model. A negative-sequence source model based on the measured data and an practical power system example is given to analyze the asymmetric power flow with PSASP. The results proved the correctness and engineering practicality of the modeling method.

Key words: electrical power system; modeling; negative-sequence source model; asymmetric power flow