

基于负荷实测的配电网理论线损计算

张宗伟

唐山供电公司, 河北省 唐山市 063000

摘 要: 为提高配电网理论线损计算的精确度, 给出一种基于负荷实测的理论线损计算方法, 利用集中抄表系统抄取到的各个负荷节点的电压、功率数据, 很精确地求出负荷节点与其上一节点之间线路上的损耗, 以及上一节点的电压有效值, 如此计算出所有线路的损耗。该方法充分考虑了实际负荷分布、节点电压等对理论线损计算有影响的因素, 而且计算不需循环。此外, 还介绍了本文算法的基本原理。最后通过某 10kV 配电系统进行算例分析, 表明了该算法的可行性。

关键词: 线损; 配电网; 负荷实测; 回代计算

0. 引言

线损率是电力生产中的一个重要技术经济指标, 也是衡量电力企业技术水平和管理水平的标志, 降低线损是提高电力企业经济效益和社会效益的主要途径之一, 而理论线损计算是做好线损管理以及有效实施降损工作的基础。

配电网线损是电力系统运行经济性的一项重要指标, 它反映了一个电力网的规划设计和运营管理水平。10kV 及以下配电网的损耗在整个电网损耗中占据着相当大的比重, 以北京地区 220kV 及以下电网为例, 在 2006 年 7 月 25 日的典型代表日理论线损计算中, 10kV 及以下配电网的损耗合计 5532 MWh, 占 220kV 及以下全网总损耗的 62.1%, 可见研究配电网的理论线损计算, 做好配电网降损工作, 具有很强的现实意义。

准确简便的线损计算和分析方法有利于拟定出合理的降低线损的措施, 对于电力网络的优化设计、提高电力系统运行的经济性具有重要的实际意义。目前进行配电网理论线损计算的方法有很多种, 文献[1]介绍了均方根电流法、平均电流法、最大电流法、损失因数法、等值电阻法等; 文献[2-3]讨论了用牛顿-拉夫逊潮流算法计算配电网线损; 文献[4]给出基于区间算法的配电网线损计算; 文献[5]用前推回代法计算配电网线损。但是它们都不同程度的存在着一些局限性, 例如没有准确考虑负荷曲线变化的差异、各负荷节点的实际功率、节点电压值, 以及有时计算不能可靠收敛、计算工作量很大等^[6]。

随着变电站综合自动化水平的提高, 集中抄表系统在配电网中逐渐得到了应用。它是由主站通过传输媒体集中抄读多个电能表记录值的自动化系统, 可以抄取到配电网各个负荷节点的电压有效值、电流、有功、无功等数据, 这就为配电网的理论线损计算提供了更充足的数据, 而且由于数据采

集实现了自动化, 采集效率很高, 为此可以通过增加线损计算次数以尽量反映负荷曲线对线损计算的影响, 从而提高代表日线损计算的准确性。同时还可以利用集抄系统实现配电网理论线损的自动在线计算, 以更好地监测配电网运行情况。

本文就给出一种基于负荷实测的配电网理论线损计算方法, 以期使配电网的理论线损计算更加精确。

1. 本文算法的基本原理

如图 1 所示。

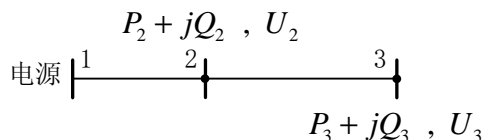


图 1 配电线路的电压和功率

假设线路参数已知, 节点 2 到 3 之间线路 l_{2-3} 每相的阻抗为 $Z_{2-3} = R_{2-3} + jX_{2-3}$, 节点 1 到 2 之间线路 l_{1-2} 每相的阻抗为 $Z_{1-2} = R_{1-2} + jX_{1-2}$ (在配电网的计算中一般忽略掉线路的导纳参数), 同时测量到节点 3 的三相输出功率为 $P_3 + jQ_3$, 线电压有效值为 U_3 。

再令 S_3 表示节点 3 的三相视在功率, I_3 表示节点 3 的相电流有效值, 则有

$$S_3 = \sqrt{3} * U_3 * I_3 = \sqrt{P_3^2 + Q_3^2} \quad (1)$$

于是线路 l_{2-3} 上的功率损耗为

$$\begin{aligned} \Delta \tilde{S}_{l(2-3)} &= 3 * \left(\frac{S_3}{\sqrt{3} * U_3} \right)^2 Z_{2-3} \\ &= \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} R_{2-3} + j \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} X_{2-3} \\ &= \Delta P_{2-3} + j \Delta Q_{2-3} \end{aligned} \quad (2)$$

则线路 l_{2-3} 上的有功功率损耗为

$$\Delta P_{2-3} = \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} R_{2-3} \quad (3)$$

无功功率损耗为

$$\Delta Q_{2-3} = \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} X_{2-3} \quad (4)$$

下面再求节点 2 的电压有效值 U_2 ，先用 \dot{U}_2 、 \dot{U}_3 表示节点 2 和节点 3 的电压向量值，取 \dot{U}_3 与实轴重合，如图 2 所示。

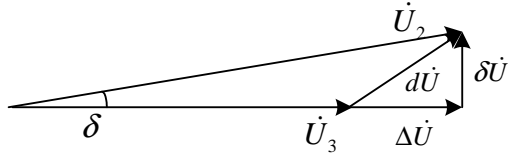


图 2 配电线路的电压向量图

则由

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_3 + \left(\frac{\tilde{S}_3}{U_3} \right)^* Z_{2-3} \quad (5)$$

可得

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= U_3 + \left(\frac{P_3 - jQ_3}{U_3} \right) (R_{2-3} + jX_{2-3}) \\ &= \left(U_3 + \frac{P_3 R_{2-3} + Q_3 X_{2-3}}{U_3} \right) + j \left(\frac{P_3 X_{2-3} - Q_3 R_{2-3}}{U_3} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

再令

$$\frac{P_3 R_{2-3} + Q_3 X_{2-3}}{U_3} = \Delta U_{2-3} \quad (7)$$

$$\frac{P_3 X_{2-3} - Q_3 R_{2-3}}{U_3} = \delta U \quad (8)$$

将式 (6) 改写为

$$\dot{U}_2 = (U_3 + \Delta U_{2-3}) + j\delta U_{2-3} \quad (9)$$

则节点 2 的电压有效值 U_2 为

$$U_2 = \sqrt{(U_3 + \Delta U_{2-3})^2 + (\delta U_{2-3})^2} \quad (10)$$

可见，在线路阻抗参数已知的情况下，只要测量到负荷节点的有功、无功、电压有效值，就可以很精确地求出负荷节点与其上一节点之间线路上的损耗，以及上一节点的电压有效值，而且观察式 (3)、(4)、(7)、(8)、(10) 可见，计算线路损耗和节点电压都已避免了复数乘除。

2. 利用负荷实测数据进行线损计算的实现

假设某一 10kV 配电系统，其结构如图 3 所示。

该系统共有 9 个节点，已知各个结点之间的电阻、电抗，并且通过集抄系统已经得到了各个负荷节点的有功功率、无功功率、电压有效值。

算法的具体实现步骤如下：

(1) 首先进行节点分类并编号，分清电源节点、中间负荷节点、末端负荷节点、分支节点。

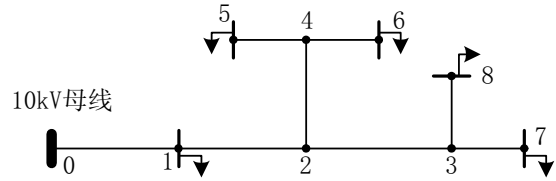


图 3 辐射状配电网简化图

以图 3 为例，0 是电源节点，1 是中间负荷节点，8、7、5、6 是末端负荷节点，2、3、4 则是分支节点。

(2) 利用各个末端负荷节点的实测数据，分别计算其与相连的上一节点之间线路的损耗，以及上一节点的电压有效值、功率输出值。若上一节点电压有实测值，则取实测值；若没有，则进行回代计算，且当多个末端负荷节点对应同一个上一节点时，上一节点电压取均值。

以图 3 为例，可以求得线路 l_{5-4} 、 l_{6-4} 、 l_{8-3} 、 l_{7-3} 上的有功、无功损耗，节点 3、4 的电压有效值，节点 3、4 的功率输出值。

(3) 搜寻哪些节点的电压有效值还未知，若某节点未知，则利用其下连节点回代计算该节点的电压有效值、功率输出值，并计算出该节点与其下连节点之间线路的损耗。

以图 3 为例，2 节点电压未知，则分别利用 3、4 节点回代计算，由于 3、4 节点都对应节点 2，则将 3、4 节点回代计算出的电压有效值取均值，并计算出线路 l_{4-2} 、 l_{3-2} 的损耗以及节点 2 的输出功率。

(4) 搜寻还有哪些线路的损耗未知，若有，则进行计算，只要线路末节点的功率输出值、电压有效值已知，就可以进行计算。

以图 3 为例，可以计算出线路 l_{2-1} 的损耗，由于节点 1 电压可以测量到，所以不计算节点 1 的电压有效值。

(5) 继续计算未知的线路损耗，直到所有线路的损耗都已计算出来为止。

(6) 计算所有公用变压器的损耗，此时变压器的参数需已知。计算时，利用实测的节点负荷、节点电压值计算变压器的铜损和铁损。

(7) 统计得到线损率。

通过以上步骤我们可以看到，通过利用各分段线路末端的输出功率值、电压有效值，便可以计算出所有线路上的功率损耗以及变压器的损耗。

3. 算例分析

以图 3 所示配电系统为例，其线路阻抗参数及负荷实测功率、电压如图 4 所示，导线型号如下：

l_{1-0} 、 l_{2-1} ——LGJ-240；

l_{4-2} 、 l_{3-2} ——LGJ-120；

l_{6-4} 、 l_{5-4} 、 l_{7-3} 、 l_{8-3} ——LGJ-50。

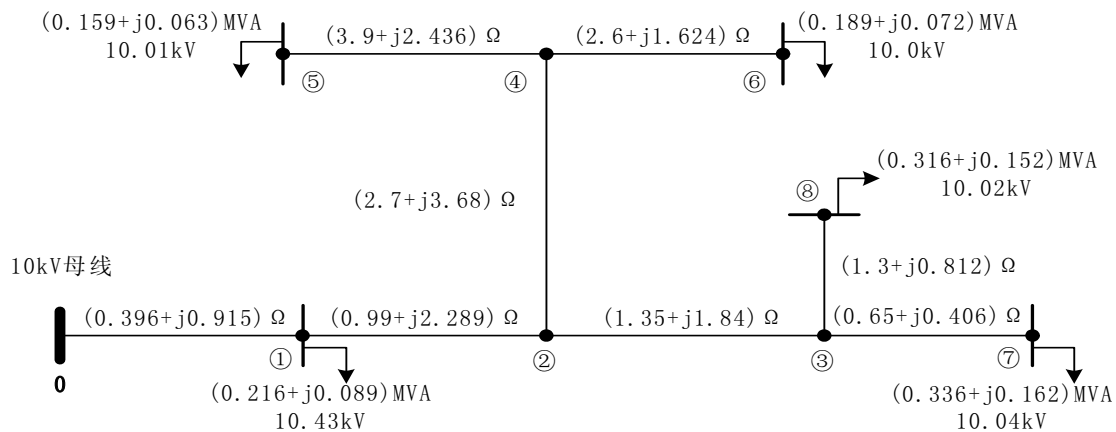


图4 某10kV配电网网络结构图

运用本文2节中步骤(2)所述方法进行计算,得到的数据如表1。

表1 第一次计算后得到的数据

节点电压/(kV)	线路损耗/(MVA)	节点功率输出/(MVA)
$U_4 = 10.074$	$\Delta \tilde{S}_{l(5-4)} = 0.001138 + j0.000711$	$\tilde{S}_4 = 0.350202 + j0.136375$
$U_3 = 10.071$	$\Delta \tilde{S}_{l(6-4)} = 0.001064 + j0.000664$	$\tilde{S}_3 = 0.654489 + j0.315554$
	$\Delta \tilde{S}_{l(8-3)} = 0.001592 + j0.000994$	
	$\Delta \tilde{S}_{l(7-3)} = 0.000897 + j0.000560$	

接着搜寻发现节点2电压有效值还未知,进行步骤(3)的计算,得到的数据如表2。

表2 第二次计算后得到的数据

节点电压/(kV)	线路损耗/(MVA)	节点功率输出/(MVA)
$U_2 = 10.217$	$\Delta \tilde{S}_{l(3-2)} = 0.007026 + j0.009577$	$\tilde{S}_2 = 1.015475 + j0.466628$
	$\Delta \tilde{S}_{l(4-2)} = 0.003758 + j0.005122$	

继续搜寻发现还有线路 l_{1-0} 、 l_{2-1} 的损耗未知,此时线路 l_{2-1} 的末节点功率输出值、电压有效值已知,则 l_{2-1} 的损耗可以进行计算,经过计算得 l_{2-1} 的损耗 $\Delta \tilde{S}_{l(2-1)} = 0.011844 + j0.027387$,节点1的功率输出 $\tilde{S}_1 = 1.243319 + j0.583015$ 。

此时节点1的输出功率已知,则接着可以计算线路 l_{1-0} 的损耗,经计算得到 l_{1-0} 的损耗 $\Delta \tilde{S}_{l(1-0)} = 0.006864 + j0.015861$,节点0的功率输出 $\tilde{S}_0 = 1.250183 + j0.598876$ 。

到此便计算出所有线路上的有功损耗为 $\Delta P_{\text{总}} = 0.034183$,而且线路的潮流分布也都随之得到了。

4. 结论

本文给出的配电网理论线损计算方法原理简单,思路清晰,同时充分考虑了实际负荷分布、节点电压等对理论线损计算精度有影响的因素,而且不需进行循环计算,也就不存在收敛性的问题。随着变电站综合自动化水平的提高,集中抄表系统等现代化测量手段的逐渐应用,测量数据也将会越来越完整、准确,为此改进传统的配电网理论线损计算方法将是必要的,在这里也希望本文可以为以后的深入研究提供一个参考。

参考文献

- [1] 虞忠年,陈星莺,刘昊. 电力网电能损耗[M]. 中国电力出版社, 1995: 12-30.
- [2] 卫志农,鞠平,董峰等. 基于潮流计算的电力网线损理论计算[J]. 河海大学学报, 2000, 28(6): 43-46.
- [3] 张学松,柳焯,于尔铿,等. 配电网潮流算法比较研究[J]. 电网技术, 1998, 22(4): 2-5.
- [4] 王成山,王守相. 基于区间算法的配电网线损计算[J]. 电力系统自动化, 2002, 2(16): 22-26.
- [5] 孙健,江道灼,刘志华. 基于前推回代的配电网潮流改进算法[J]. 电力系统自动化设备, 2004, 3(21): 13-16.
- [6] 王朝晖,乔永军,袁慧梅. 配电网线损计算方法比较研究[J]. 黑龙江电力, 2005, 27(6): 435-437.

作者简介:

张宗伟 (1981-), 男, 硕士, 主要从事理论线损计算和电力系统状态估计研究工作。

联系电话: (0) 15931503787

通讯地址: 河北省唐山市建设北路7号

电子邮件地址: zzw330@126.com