

配电网三相不平衡度计算方法研究

汪清

(深圳供电局有限公司电力科学研究院, 广东深圳, 518000)

基金项目: 基于动态控制的配变台区电压治理综合节能优化控制技术研究及应用 (项目编号: 090000KK52180112)。

摘要: 低压配电网的三相不平衡度是评价电能质量的主要指标之一, 对其进行准确的计算尤为重要。本文首先对比了目前三相不平衡度算法的优缺点, 然后提出一种不通过向量计算, 仅通过三相的幅值即可计算三相四线制系统的电压不平衡度的新方法, 最后通过实际算例进行验证, 结果表明该方法计算的不平衡度与GIGRE法计算的结果一致, 证明该方法可行性。文中算法的研究对工程实践具有一定的指导性, 能够对配网不平衡度的治理提供借鉴意义。

关键词: 三相四线制; 电能质量; 不平衡度

0 研究背景

理想的三相交流供电系统称为三相平衡系统, A相、B相和C相幅值相等、频率相同, 相位相差120度^[1]。若三相电压或电流的幅值、频率以及相角不满足上述条件, 则称之为三相不平衡系统。

电力系统发生三相不平衡的情况通常分为正常性不平衡和事故性不平衡两类^[2-3]。在配网三相四线制系统中, 不平衡电压会产生大量零序分量、正序分量和负序分量。负序电压分量会导致旋转电机的发热和振动, 降低其使用效率并损害其绝缘层。零序电压产生的零序电流在配电的铁芯产生涡流, 同样造成配网变压器的发热、老化, 严重增加其损耗^[4]。因此, 需要对其进行准确计算并及时采取措施。

目前, 三相不平衡度的计算方法主要分为两种: 相电压计算方法和线电压计算方法。在国家颁布的《电能质量 三相电压》中定义了关于三相电压不平衡度的计算方法^[5]。该方法是采用对称分量法对测出的各相电量的幅值和相位进行计算、求解。但该方法求解过程复杂, 工程实践中也只知道三个电量的大小, 相角的测量对仪器精度要求较高, 因此该方法存在测量和解析难度。林海雪等人^[6]能够根据三个电量大小计算不平衡度, 但Singh A K等人指出其不能看出正序、负序分量变化趋势。国际大电网委员会(CIGRE)给出计算方法, 该方法仅需要三个线电压的值就能计算出三相不平衡度, 精度高, 但需要明确相电压的相角信息, 计算过程和测量过程相对繁杂^[7]。因此, 本文在其基础上进行改进推导、简化算法, 并通过实际算例证明该计算方法可行性。

1 正负序向量图解法

1.1 对称分量法的不平衡度计算方法

三相电压不平衡度包括负序电压不平衡度和零序电压不平衡度, 对于电量的幅值和相位大小已知的情况下, 结合对称分量法即可求得正序电压、负序电压和零序电压分量, 如式(1)所示:

$$\begin{cases} \dot{U}_0 = \frac{1}{3}(\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) \\ \dot{U}_1 = \frac{1}{3}(\dot{U}_A + \alpha\dot{U}_B + \alpha^2\dot{U}_C) \\ \dot{U}_2 = \frac{1}{3}(\dot{U}_A + \alpha^2\dot{U}_B + \alpha\dot{U}_C) \end{cases} \quad (1)$$

式中, α 为旋转因子, $\alpha = e^{j120} = -1/2 - j\sqrt{3}/2$; \dot{U}_0 、 \dot{U}_1 、 \dot{U}_2 分别为零序电压、正序电压和负序电压。则零序电压不平衡度 ε_{U_0} 计算公式如式(2)所示:

$$\varepsilon_{U_0} = \frac{\dot{U}_0}{\dot{U}_1} \times 100\% \quad (2)$$

负序电压不平衡度 ε_{U_2} 的计算公式如式(3)所示:

$$\varepsilon_{U_2} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} \times 100\% \quad (3)$$

1.2 正负序向量图解法

假设三个相电压的幅值分别为 $U_1=a$, $U_b=b$, $U_c=c$, 建立向量图见图1, 其中O为坐标原点, 以向量OM建立坐标轴, 其中个点的坐标分别为O(0, 0)、M(a, 0)、N(x, h)。

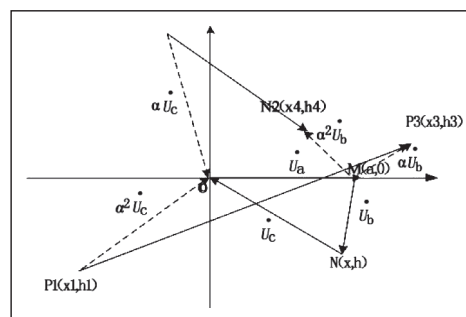


图1 正负序向量分解法

向量 \overrightarrow{NO} 以O为基点, 逆时针旋转120°得到 $\overrightarrow{N_1O}$, 顺时针旋转120°得到 $\overrightarrow{P_1O}$, 则分别令P1的坐标为(x1, h1), N1的坐标为(x2, h2), 则有:

$$\overrightarrow{P_1O} = \alpha^2 \overrightarrow{NO} = (-1/2 - j\sqrt{3}/2)(x + jh) = x_1 + jh_1 \quad (4)$$

$$\overline{N_1O} = \alpha \overline{NO} = (-1/2 + j\sqrt{3}/2)(x + jh) = x_2 + jh_2 \quad (5)$$

向量 \overline{MN} 以 M 为基点, 逆时针旋转 120° 得到 $\overline{MP_3}$, 顺时针旋转 120° 得到 $\overline{MN_2}$, 则分别令 P2 的坐标为 (x_3, h_3) , N2 的坐标为 (x_4, h_4) , 则有:

$$\overline{MN_2} = \alpha^2 \overline{MN} = (-1/2 - j\sqrt{3}/2)(x - a + jh) = x_3 + jh_3 \quad (6)$$

$$\overline{MP_3} = \alpha \overline{MN} = (-1/2 + j\sqrt{3}/2)(x - a + jh) = x_4 + jh_4 \quad (7)$$

根据图中向量可知:

$$\overline{P_1P_2} = \overline{P_1O} + \overline{OM} + \overline{MP_3} = \dot{U}_a + \alpha \dot{U}_b + \alpha^2 \dot{U}_c \quad (8)$$

$$\overline{N_1N_2} = \overline{N_1O} + \overline{OM} + \overline{MN_2} = \dot{U}_a + \alpha^2 \dot{U}_b + \alpha \dot{U}_c \quad (9)$$

向量 $\overline{P_1P_2}$ 即为 3 倍的正序分量, 向量 $\overline{N_1N_2}$ 即为 3 倍的负序分量, 根据两点间距离公式可得:

$$|\overline{P_1P_2}|^2 = (x_1 - x_3)^2 + (h_1 - h_3)^2 = 3a^2 + 3(x^2 + h^2) - 3ax - \sqrt{3}ah \quad (10)$$

$$|\overline{N_1N_2}|^2 = (x_2 - x_4)^2 + (h_2 - h_4)^2 = 3a^2 + 3(x^2 + h^2) - 3ax + \sqrt{3}ah \quad (11)$$

上式可知, 要求正序分量和负序分量的大小, 需要求得 ax 和 ah 的值, 在三角形 OMN 中, 已知三边分别为 a 、 b 和 c , 则根据面积公式计算如下:

$$S = -1/2ha = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} \quad (12)$$

其中 $p = (a+b+c)/2$, 又 $(x-a)^2 + h^2 = b^2$ 和 $x^2 + h^2 = c^2$, 则有:

$$ax = (a^2 - b^2 + c^2)/2 \quad (13)$$

将式 (12) 和式 (13) 带入到式 (9) 和式 (10) 中即可求得 $\overline{P_1P_2}$ 和 $\overline{N_1N_2}$, 即可求得正序分量 V^+ 和负序分量 V^- 的大小:

$$\begin{cases} V^+ = \sqrt{A_m/2 + 2\sqrt{3}A_n/3} \\ V^- = \sqrt{A_m/2 - 2\sqrt{3}A_n/3} \end{cases} \quad (14)$$

式中: $A_m = (U_a^2 + U_b^2 + U_c^2)/3$;

$$A_n = \sqrt{p(p-U_a)(p-U_b)(p-U_c)},$$

$$p = (U_a + U_b + U_c)/2。$$

从式 (14) 可看出, 仅需三个电压向量的幅值大小, 并不需要测量各相电压的相角, 即可求出三相不平衡度、正序和负序分量的情况。

2 算例分析

从前文可知, 系统中出现的负序分量和零序分量是电力

系统三相不平衡的主要原因。为了准确计算电力系统三相不平衡度, 本文分两种情况讨论: 一是电压偏差引起的不平衡度变化, 二是角度偏差引起的不平衡度变化。电压偏差又分为高电压偏差和低电压偏差, 相角偏差也分为顺时针和逆时针偏差。本文在三相四线制系统中进行研究, 构造了以上情况, 利用 LABVIEW 进行算例的仿真验证, 同时与 CIGRE 规定的算法进行对比。

2.1 电压幅值验证

本文算例是把 C 相电压的幅值作为自变量, 不平衡度作为因变量。自变量的变化范围为 $0.0 \sim 2.0$ pu (电力系统三相平衡时, 相电压幅值标幺值为 1.0 pu)。三相不平衡度随着电压幅值变化而形成的曲线见图 2。由图可知本文的计算方法与 CIGRE 规定的算法进行对比得到的不平衡度结果重合, 证明该算法的准确性。

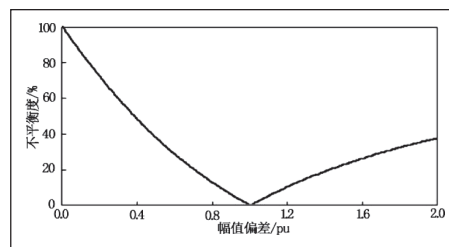


图2 电压幅值影响下的三相不平衡度曲线

2.2 电压相角验证

本文算例同样把 C 相电压的相角作为自变量。自变量的变化范围为 $0 \sim 240$ pu。三相不平衡度随着电压相角变化而形成曲线见图 3。

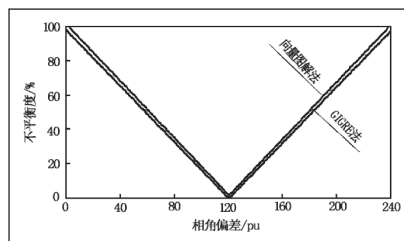


图3 电压相角影响下的三相不平衡度曲线

上图表明, 针对电压相角变化引起的不平衡度偏差, 本文的计算方法与 CIGRE 规定的算法进行对比得到的不平衡度结果近似一致, 证明该算法的准确性。

3 结束语

本文针对国际上三相不平衡度的计算方法, 不但需要测量每相电压的幅值大小, 还需要测量每相电压的相角值, 这对测量的仪器精度要求高, 而且计算过程繁琐。基于此, 本文提出一种只需要三相电压的幅值即可计算三相不平衡度的方法, 然后对算法进行了实例仿真验证, 并与 GIGRE 算

(下转第 58 页)

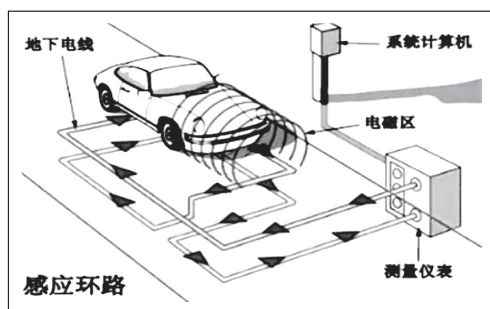


图 5

3 机电一体化控制中传感器技术发展趋势探讨

■ 3.1 集成化

随着信息技术的普及与发展,在未来智能设备的应用水平必然会得到全面提升。与此同时,在信息技术的支持下,传感器技术也得到了极大的创新与改进,在未来,传感器技术的发展必然趋于智能化与集成化。以机电一体化控制中的集成化与智能化传感器为例,凭借此能够使机电一体化控制的智能化水平得到提升,再加上传感器本身的集成化水平较高,因此具有更多完善的功能,这使得传感器技术能够得到更加广泛的应用,且信号监测效率与质量也可以得到提升,如此一来机电一体化控制系统的运行效率与质量必然能够有一个质的提升。

■ 3.2 智能化

不可否认,当前传感器市场的更新速度越来越快,随着

技术研发的深入,在未来传感器技术的发展必然趋于智能化,作为中国本土企业,应该着力于传感器技术的创新与优化,把握市场需求,占据市场优势。当然,现阶段最重要的任务就是加大智能传感器系统的研发投入,尽可能脱离传统的人工操作的工业生产模式,而是要发挥管理优势,利用计算机技术来对传感器技术进行优化,将二者集成到一起并生产出芯片装置,并利用敏感技术与信息处理技术,提高传感器的认知能力,促使传感器技术朝着人工智能的方向发展,例如生产出具有模糊推理、人工神经网络的高智能传感器,促使传感器的灵敏度与控制水平得到有效提升。

参考文献

- * [1] 李卫军. 传感器技术在机电一体化控制中的应用 [J]. 科技致富向导, 2015, (6): 238-238.
- * [2] 徐媛媛. 传感器技术在机电一体化控制中的应用 [J]. 价值工程, 2020, 39(1): 195-197.
- * [3] 吴丹. 基于传感器技术的机电一体化控制研究 [J]. 黑龙江科技信息, 2015, (29): 51-51.
- * [4] 闫力, 陈亮. 传感器技术在机电一体化控制中的应用 [J]. 科学与财富, 2016, 8(4): 29-29.
- * [5] 任强. 传感器技术在机电一体化控制中的应用 [J]. 魅力中国, 2020, (11): 267-268.
- * [6] 章跃洪. 传感器技术在机电一体化控制中的应用 [J]. 科技创新, 2018, (3): 153-154.

(上接第 22 页)

法进行对比,结果表明该算法计算的三相不平衡度与 GIGRE 法计算的精度具有一致性。文中算法对工程实践具有一定的指导性,能够对配网不平衡度的治理提供借鉴意义。

参考文献

- * [1] 方恒福, 盛万兴, 王金丽, et al. 配电台区三相负荷不平衡实时在线治理方法研究 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(9): 2185-2193.
- * [2] 周海涛, 李铎. 浅谈配电网三相电压不平衡产生的原因与对策 [J]. 中国科技博览, 2011(24): 80-80.

(上接第 16 页)

参考文献

- * [1] 华为技术有限公司. SDH 原理手册 [Z]. 2007

- * [3] 程浩忠, 艾芊, 张志刚. 电能质量 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 9.
- * [4] 张有玉, 郭珂, 周林, et al. 三相三线制系统电压不平衡度计算方法 [J]. 电网技术, 2010(07): 129-134.
- * [5] GB/T 15543—2008 电能质量 三相电压不平衡 [S].
- * [6] 林海雪, 李世林, 刘惠民. 电压电流频率和电能质量国家标准应用手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001: 188-228.
- * [7] 周林, 张有玉, 刘强, et al. 三相不平衡度算法的比较研究 [J]. 华东电力, 2010, 038(002): 210-215.

- * [2] 孙桂芝, 孙秀英等. 光传输网络组建与维护案例教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012