

# 基于感应电的线路工频参数测量方法研究

付慧<sup>1,2</sup>, 陶风波<sup>3</sup>, 周志成<sup>3</sup>, 魏旭<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学, 北京 102206; 2. 江苏省电力公司, 江苏 南京 210024;

3. 江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103)

**摘要:** 输电线路工频参数是系统潮流和保护整定值的计算依据, 对于合理安排电网运行方式, 提高继电保护动作的可靠性、灵敏性至关重要。提出通过测量线路感应电压及电流, 并基于序分解理论, 对线路工频参数进行测量的方法。同时应用该方法对某变电站同杆四回线路参数进行实测, 与传统法测得的工频参数相比, 该方法所得结果误差较小, 能够满足测量要求。分析了电压幅值分散性对于测量结果的影响, 结果表明较大的外施电压幅值分散性可以减小零序阻抗的测量误差。

**关键词:** 同杆多回线路; 感应电压; 线路工频参数; 序分解

**中图分类号:** TM726

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-0665(2013)05-0015-04

输电线路作为电力系统的重要组成部分, 其工频参数是系统潮流、保护整定值及运行方式的计算依据, 因此输电线路工频线路参数对合理安排电网运行方式, 提高继电保护动作的可靠性、灵敏性至关重要<sup>[1,2]</sup>。在线路参数测试中, 目前主要包含传统仪表测量法和移频测量法。传统仪表测量法具有方法简单的优点, 但在同杆多回线路的情况下, 其容易受到感应电压的干扰, 从而使得参数测量产生误差。在传统仪表测量方法基础上的倒相法虽可提高测量精度<sup>[3-5]</sup>, 但是测量繁琐, 且设备体积大, 质量重。移频测量法相对传统仪表测量法来说抗干扰能力较强, 但是感应电压中存在非工频成分, 仍将对测量结果产生影响<sup>[6-8]</sup>。

从传统仪表测量方法来看, 在现场没有干扰的情况下, 外施电压达到几十伏即可对线路参数进行测量。而在同杆多回线路情况下, 被测线路感应电压往往达到了几百甚至上千伏<sup>[9-11]</sup>, 可以满足线路参数测量要求。文中利用线路感应电压、电流对线路参数进行测量, 该方法可省略装置的试验电源, 减小设备质量与体积。

## 1 理论分析

对于三相参数对称的线性输电线路, 各序对称分量具有独立性。当电路通过某序对称分量的电流时, 只产生同一序对称分量的电压降, 反之亦然。因此, 通过测量线路感应电压与感应电流, 并将电压信号与电流信号分解为正序、负序及零序参数, 即可对线路正序及零序参数进行求解。

集中线路参数模型如图1所示, 通过单相变压器向线路施加电压来模拟感应电压, 利用PSCAD在一端三相短接接地的情况下, 分别测试模拟线路的开路

电压和短路电流的幅值和相位, 在不同线路模型下, 利用序分解算法计算得出正序阻抗及零序阻抗值。同时, 在PSCAD中, 采用外加电源直接对模拟线路加压, 再通过测量线路电压和电流相量, 利用传统仪表法计算得出正序、零序阻抗。2种方法计算结果如表1所示。

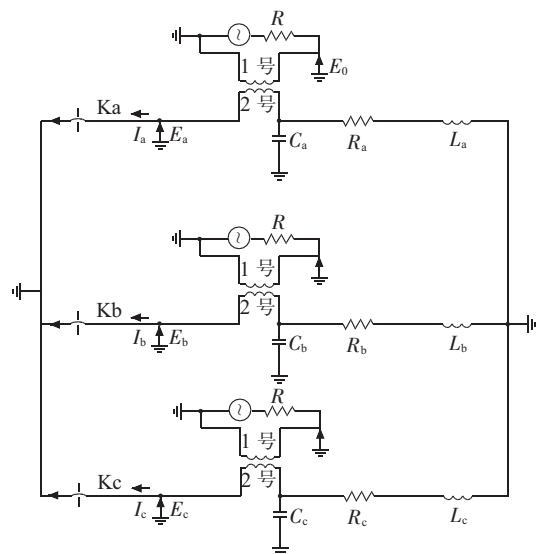


图1 集中线路参数计算模型

从表1可以看出, 当线路采用集中参数表示的情况下, 基于感应电的线路参数测量结果与传统仪表法测量结果相差较小。

某同塔四回线路接线如图2所示, A、B、C为3个变电站, 01线与02线同塔部分为54.6 km, 05线与06线同塔部分为19.7 km, 四回同塔部分长11.65 km。利用传统仪表法对该线路进行了正序阻抗和零序阻抗的测量, 结果示于表2。

在相同的运行条件下, 利用感应电法对图2所示线路进行了建模计算, 其正序阻抗、零序阻抗计算值示于表3。

表 1 感应法和传统仪表法计算结果

序号	集中参数			感应电法计算值			传统法计算值		
	$R/\Omega$	$L/\text{mH}$	$C/\mu\text{F}$	正序阻抗/ $\Omega$	负序阻抗/ $\Omega$	零序阻抗/ $\Omega$	正序阻抗/ $\Omega$	负序阻抗/ $\Omega$	零序阻抗/ $\Omega$
1	7.5	35	1	9.17+j13.30	9.17+j13.30	9.69+j13.94	9.21+j13.12	9.21+j13.12	9.23+j13.44
2	7.5	17.5	1	8.93+j6.91	8.93+j6.91	9.55+j7.13	8.75+j7.04	8.75+j6.94	8.62+j6.43
3	7.5	35	3	9.71+j13.82	9.71+j13.82	9.91+j14.01	9.97+j13.89	9.97+j13.89	9.53+j13.32
4	7.5	35	1	4.67+j13.45	4.67+j13.45	4.96+j13.52	4.53+j13.17	4.53+j13.17	5.24+j12.98

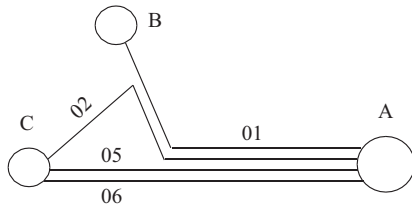


图 2 同塔四回线路接线示意图

表 2 传统仪表法测量同塔四回线路参数值  $\Omega$ 

线路名称	正序电阻	正序电抗	零序电阻	零序电抗
01	1.542	15.812	15.74	49.522
02	3.396	24.591	20.33	77.619
05	1.71	8.521	6.09	27.535
06	1.32	7.917	5.554	25.182

表 3 感应电法计算同塔四回线路参数值  $\Omega$ 

线路名称	正序电阻	正序电抗	零序电阻	零序电抗
01	1.68	17.84	16.43	47.55
02	2.98	26.63	18.93	81.34
05	1.52	8.91	6.76	29.15
06	1.13	7.53	4.82	27.04

可见,利用感应电法计算所得的线路参数值与传统仪表法测量的线路参数值相差不大,可以用于线路参数的测量。表 2 与表 3 中结果误差主要来源于:(1)现场干扰、仪表读数误差对传统仪表测量法产生误差,从而影响结果精度;(2)线路参数仿真计算时,线路高度、间距、土壤电阻率等参数很难做到与实际情况一致,从而使得结果产生误差。

## 2 试验结果及讨论

根据序分解方法,并基于嵌入式工业控制计算机系统,研制了感应电线路参数测试仪,其主要原理是利用测控装置准确测量出线路开路电压和短路电流的幅值和相位,利用序分量分解法计算出正序、零序阻抗。感应电线路参数测量仪主要包括分压装置、电流检测器、自动切换电路、信号处理电路、工业控制计算机处理系统。

利用感应电线路参数测试仪,对集中元件搭建模拟线路进行了参数测量。模拟试验线路图如图 4 所示,线路为三相对称电路,且三相末端短接并接地,在各相

线路串联可调电阻  $R$  及可调电感  $L$ ,并联可调电容  $C$ 。为在电路上模拟感应电压,将隔离变压器的一侧串联接入线路,另一侧连接调压器的输出端,从而使得线路感应电压幅值可调。由于实验室环境中干扰较小,且模拟线路上感应电压较低,移频法测试线路参数的准确度较高,作为参考标准。

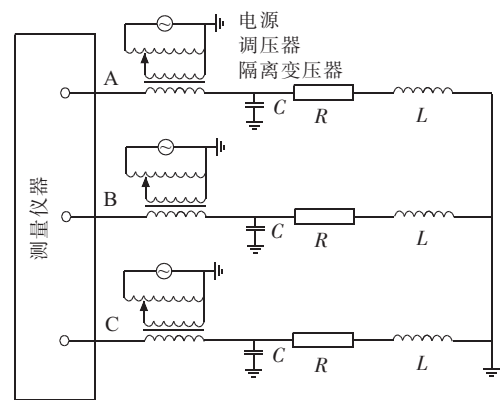


图 3 模拟试验接线示意图

试验中,通过改变  $R, L, C$  的值,利用移频测量法和感应电测量法分别测量了线路的正序阻抗和零序阻抗,其结果示于表 4。从表 4 可以看出,2 种测量方法下的正序阻抗值基本一致,而零序阻抗值也较为接近,其误差不超过 5%。

试验比较了不同外施电压幅值分散性对于测量结果的影响,其示于图 4。图中  $D_e$  为电压幅值分散性,其定义为:

$$D_e = \sqrt{(U_A - U_B)^2 + (U_B - U_C)^2 + (U_C - U_A)^2} \quad (1)$$

式中: $U_A, U_B, U_C$  分别为 A、B、C 三相的感应电压幅值; $\sigma$  为序电阻或者序电抗相对误差,其表达式为:

$$\sigma = \left| \frac{R_g - R_y}{R_y} \right| \quad (2)$$

或:

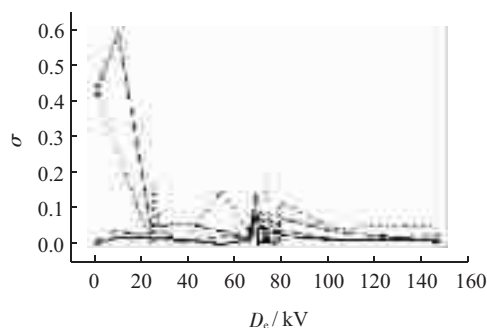
$$\sigma = \left| \frac{X_g - X_y}{X_y} \right| \quad (3)$$

式中: $R_g$  为感应电测量法中序电阻; $R_y$  为移频测量法中序电阻; $X_g$  为感应电测量法中序电抗; $X_y$  为移频测量法中序电抗。

从图 4 可以看出,感应电线路参数测量法得到的

表 4 不同测量方法下线路参数测量结果比较

R/ $\Omega$	L/mH	C/ $\mu$ F	移频测量法		感应电测量法	
			正序阻抗/ $\Omega$	零序阻抗/ $\Omega$	正序阻抗/ $\Omega$	零序阻抗/ $\Omega$
1	7.5	35.5	10.17+j14.50	10.69+ j14.76	10.02+j14.38	10.30+ j14.10
1	7.5	23.3	9.63+j9.64	10.07+ j9.79	9.65+j9.33	9.71+ j8.41
1	5	17.5	6.94+j7.25	7.37+ j7.45	6.94+j7.07	6.74+j6.20
1.5	2.5	17.5	4.34+j7.15	4.83+ j7.52	4.42+j7.44	4.59+j7.41
3	2.5	11.67	4.23+j4.78	4.54+j5.03	4.28+j4.81	4.76+j4.17



—— 正序电阻; ---- 正序电抗; - · - · 零序电阻; ····· 零序电抗

图 4 电压幅值分散性对线路参数的影响

正序阻抗与移频法得到的正序阻抗较为吻合,除有一组正序电阻的相对误差达到 7.6%外,其他正序阻抗的相对误差均小于 5%;对于零序阻抗,当各相感应电压幅值相差较小时,零序电阻最大相对误差达 59%,零序电抗最大相对误差达 44%,这是由于在三相电压幅值较为接近的情况下,线路零序电流非常小,在采样或者计算过程中任何小的误差都可能对计算结果产生较大影响。在实际线路中,由于三相线路位置不同,因此出现三相感应电压幅值相同或接近可能性较小,不会影响测量数据的准确性;在三相感应电压幅值相差较大的情况下,正序和零序阻抗在两种测量方法下的相对误差均小于 10%,但相对于正序阻抗来说,零序阻抗相对误差稍大,这是由于在信号的采集过程中,外界某些干扰同时耦合到各相信号中,产生一共模信号,在零序参数的计算过程中,线路中的共模信号是相互叠加的,因此将对测量结果产生影响。但是随着感应电压幅值的增加,共模信号所占比例减小,测量结果的准确度将得到进一步提高。

文中对图 2 所示的同塔四回线路中的 02 线路参数进行了现场实测,测量方法包括传统仪表法、移频法、感应电线路参数测试法等,其正序、零序阻抗值如表 5 所示。从表 5 可以看出,正序阻抗和零序阻抗的计算值与现场实测值差别均较大,这是由于计算时各参数取值难以做到与现场一致。从现场实测的结果来看,感应电线路参数测试方法与传统仪表法和移频法测量结果较为一致,能满足现场测量精度要求。由于现场干扰较大,移频测量仪器未能正常工作,而感应电测量仪

表 5 不同测量方法下线路参数测量结果

测量方法	正序阻抗/ $\Omega$		零序阻抗/ $\Omega$	
	正序电阻	正序电抗	零序电阻	零序电抗
计算值	2.98	26.63	16.43	47.55
传统法	3.396	24.591	20.33	77.619
移频法	*	*	19.141	79.019
感应法	3.605	24.616	18.094	76.850

\*: 干扰过大,仪器未能正常工作。

器能较好克服这一缺点,与移频测量仪器互为补充。

### 3 结束语

以测量感应电压电流为手段,并通过对电压电流进行序分解,提出了基于感应电的线路参数测量方法。分别对集中参数线路模型和分布参数线路模型的正序阻抗、零序阻抗进行了仿真计算,表明该方法可用于线路参数的测量。研制了基于感应电的线路参数测试仪,通过对实验室集中参数模型和运行线路的工频参数测量比较,表明该仪器可满足现场线路参数测量需求。

#### 参考文献:

- [1] 蓝 磊,艾绍贵,黄永宁,等.宁夏北部 220 kV 电网不平衡电流的计算与分析[J].高电压技术,2010,36(2):488-494.
- [2] 彭世康,黄 伟,郭志忠,等.支路重载型潮流算法的研究[J].继电器,2007,35(11):13-15.
- [3] 李澍森,陈晓燕,戚革庆,等.同塔四回输电线路参数带电测量[J].高电压技术,2006,32(7):17-20.
- [4] 郑 钊,蔡金锭.输电线路工频参数影响因素的量化研究[J].高电压技术,2008,34(4):813-815.
- [5] 张志刚,刘晓东,郑玉成,等.高压输电线路正序参数测试新方法研究[J].河北电力技术,2008,27(2):8-10.
- [6] 卢德银,吴尊东,陈欣华.输电线路工频参数变频法测量的分析[J].高电压技术,2008,34(6):1295-1297.
- [7] 马 明,戴瑞海,王文敏.基于异频法的架空输电线路工频参数测量与分析[J].电力学报,2008,23(4):333-335.
- [8] 陈守聚,耿翠英,吕中宾,等.智能型抗干扰线路测试仪的应用[J].河南电力,2008(1):39-41.
- [9] 韩彦华,黄晓民,杜秦生.同杆双回线路感应电压和感应电流测量与计算[J].高电压技术,2007,33(1):140-142.
- [10] 傅 中.500 kV 同塔双回线路感应电压和电流的仿真与研究[J].安徽电力,2007,24(4):1-3.
- [11] 严伟佳,邹 铁.同杆多回输电线路感应电计算及分析[J].江

苏电机工程, 2012, 31(2): 67-69.

作者简介:

付慧(1979), 女, 江苏南通人, 高级工程师, 从事一次设备运检管理工作;

陶风波(1981), 男, 江苏常州人, 工程师, 从事高电压技术研究工

作;

周志成(1977), 男, 湖南株洲人, 高级工程师, 从事高电压技术研究及管理工作;

魏旭(1974), 男, 江苏连云港人, 高级工程师, 从事高电压技术管理工作。

## A method for Transmission Lines Parameters Measuring based on Induced Voltage and Current

FU Hui<sup>1,2</sup>, TAO Feng-bo<sup>3</sup>, ZHOU Zhi-cheng<sup>3</sup>, WEI Xu<sup>2</sup>

(1. North China Electronic Power University, Beijing 102206, China; 2. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China; 3. Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** Parameters of the power transmission line are the base of power system load flow calculation as well as protection value setting. Acquiring accurate values of the parameters are important for power system operation arrangement and relay protection's reliability and sensitivity improvement. A method is proposed to calculate the sequence parameters of transmission lines based on the decomposition of the induced voltage (current) into positive, negative and zero sequence. The proposed method and traditional method are applied to calculate the sequence impedance of 4 transmission lines on a same tower. The comparison of these two results shows that the two methods have almost same accuracy which means the proposed is qualified for measuring. The effect of voltage amplitude dispersion on the measuring results is discussed. It is shown that a larger amplitude dispersion of voltage indicates a smaller measuring error of the zero sequence impedance.

**Key words:** multi-circuit lines on same tower; induced voltage; power-transmission-line parameter; sequence component decomposition

(上接第 14 页)

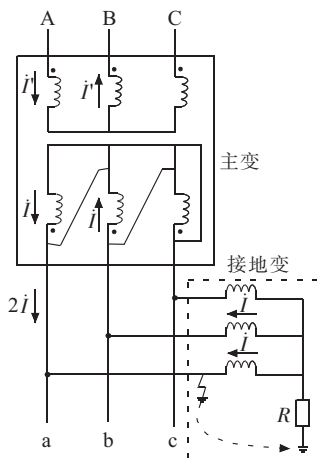


图 5 10 kV 侧 A 相接地时高压侧电流流向

## 4 结束语

随着小电阻接地方式在 10 kV 系统中广泛使用,

10 kV 线路故障时线路保护必需确保快速动作隔离故障点。如文中所述的由于 10 kV 线路发生接地故障, 非故障相电压升高使接地变桩头绝缘击穿产生了第二接地点, 进而形成相间故障的几率虽然比较小, 但线路保护动作切除第一接地点后, 差动保护区内的接地故障电流引发差动保护动作的案例却仍属正常。如果不利用故障电流电压的波形进行仔细分析, 很难确定故障点, 也不易发现故障点的实际位置, 甚至还会得出主变差动保护误动作的结论, 直接影响继电保护的维护和管理的效果。

**参考文献:**

[1] 鲍有理, 严芬. 几起主变保护动作原因分析[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(4): 9-11.

作者简介:

蒋佳(1982), 女, 无锡宜兴人, 本科, 从事电力系统继电保护专业技术管理工作。

## Analysis of the Action of the Main Transformer Protection Caused by 10 kV Line Failure

JIANG Jia

(Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214061, China)

**Abstract:** During a failure of the 10 kV line in a 110 kV substation, the main transformer protection will take action if a coincidence happens during the failure. With the fault waveform and the analysis of the current circuit diagram, the whole process of the failure is shown and ultimately the point of the failure is determined. This can provide experience for reference for the malfunction of the main transformer protection, on the condition of little resistance grounding.

**Key words:** the main transformer protection; remote phase fault; little resistance grounding; Z-grounding transformer