

船舶电网小电流接地选线的工程应用研究

杨 锋, 沈 兵, 庄劲武, 叶志浩

(海军工程大学电气工程系, 湖北 武汉 430033)

摘要: 分析了注入双频法选线原理存在误判的不足, 给出了船舶电网动态模拟试验验证。在找到导致误判原因的基础上, 利用零序电流特征提出了改进的综合判据和应用于船舶电网的实际措施, 可以满足大范围电阻值接地时选线的要求。

关键词: 船舶电网; 注入双频法; 选线

中图分类号: TM711; TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)03-0034-03

0 引言

船舶电网普遍采取中性点不接地 (NUS) 方式以提高船舶供电安全性。由于船舶很多电气设备工作环境恶劣, 受盐雾、湿度、霉菌等因素影响较大, 所以经常会发生单相绝缘故障, 占这种小电流接地系统故障的绝大多数; 而且接地情况复杂, 从高阻接地到直接金属接地都可能发生, 从而导致接地电流幅值变化范围较大。船舶电网中各种负载繁多, 布线复杂^[1], 一旦不及时处理发生的绝缘降低故障而造成两相接地短路, 将对船舶的生命力构成极大的威胁。

现有陆地电网接地选线装置, 对于单相高阻接地故障情况, 大多难以取得满意的选线效果^[2], 船舶电力系统需要在各种阻值接地情况下都能作出准确选线判断, 因此有必要研究大范围电阻接地的选线问题。注入双频法^[3]在高阻接地情况下能较好克服分布电容和接地电容影响并准确计算出接地电阻值, 但在接地电阻很小甚至金属直接接地时仍有误判。本文提出了基于工程实践改进的选线综合判据和实际应用措施。

1 应用双频法选线的不足

1.1 双频法选线的原理分析^[2]

双频法选线的原理如图 1 所示。

当电网发生低绝缘故障时, 装置依次向电网某相与地间发出由电势源 E_i 产生的 f_1 和 f_2 两个低频正弦波信号。注入信号单独作用于电网时, 由于大容量发电机的内阻抗相对限流电阻和相对地绝缘电阻及对地电容的容抗可忽略不计则可得到如图 2 示的等效电路。可列出如下方程:

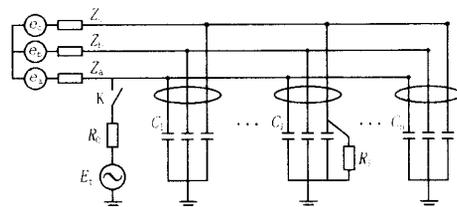


图 1 双频法原理图

Fig 1 Schematic diagram of double frequency method

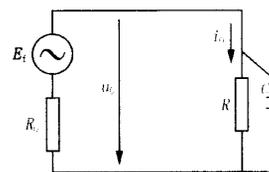


图 2 信号源单独作用时的等效电路

Fig 2 Equivalent circuit with only signal source acting

$$i_{01} = \frac{u_{01}}{R} + j\omega_1 C u_{01} \quad (1)$$

$$i_{02} = \frac{u_{02}}{R} + j\omega_2 C u_{02} \quad (2)$$

式中: R 为线路的对地电阻; C 为线路等效的分布电容; f_1 、 f_2 为所加低频信号的频率; i_{01} 、 i_{02} 为由频率为 f_1 、 f_2 的信号源单独作用时产生的漏电流; u_{01} 、 u_{02} 为由频率为 f_1 、 f_2 的信号源单独作用时对地电阻上的电压降。

由式 (1) 和式 (2) 可得到对地电阻和分布电容值如下:

$$R = \frac{u_{01m} u_{02m} \sqrt{k^2 - 1}}{\sqrt{k^2 i_{01m}^2 u_{02m}^2 - i_{02m}^2 u_{01m}^2}} \quad (3)$$

式中: $k = f_2 / f_1$; u_{01m} 为 u_{01} 的幅值; u_{02m} 为 u_{02} 的幅值; i_{01m} 为 i_{01} 的幅值; i_{02m} 为 i_{02} 的幅值。

如果计算出的电阻值低于设定电阻值, 判断该

基金项目: 湖北省自然科学基金项目 (2004ABA026)

线路为故障。

1.2 双频法选线在工程应用中的不足

在实验室建立电力系统动态模拟船舶电网,考虑信号源单独作用时等效原理图如图3所示。其中 $n=20$, $R_2=R_3=\dots=R_{20}=\dots$, $C_1=0.1\mu\text{F}$, $C_2=C_3=\dots=C_{20}=1\mu\text{F}$, 注入低频信号分别为 12.5 Hz 和 25 Hz, 电压 400 V。设定报警故障绝缘电阻值为 40 k。

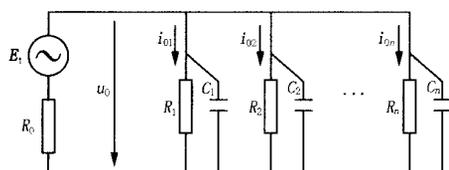


图3 信号源单独作用于多支路等效原理图

Fig 3 Equivalent circuit with only signal source acting on several branches

对以上 1—5号支路采用坡莫合金材料制作的高精度弱电流传感器测量注入低频信号漏电流,利用基于双频法原理的微机选线装置检测故障线路,试验结果如表1所示(装置LED显示位精确至 1 k):

表1 双频法原理检测故障线路结果

Tab 1 Detecting results of fault branches by double frequency method

R_1 实际值 /k	1号支路 状态	2号支路 状态	3号支路 状态	4号支路 状态	5号支路 状态
33	故障, 33 k	非故障	非故障	非故障	非故障
22	故障, 21 k	非故障	非故障	非故障	非故障
10	故障, 10 k	非故障	非故障	非故障	非故障
2	故障, 2 k	故障, 11 k	故障, 15 k	故障, 7 k	故障, 14 k
0	故障, 1 k	故障, 6 k	故障, 13 k	故障, 14 k	故障, 21 k

从以上试验结果可以看出,利用双频法选线可以解决船舶电力系统高阻接地情况下的选线问题,而且可以准确地给出接地电阻值。但在电网接地电阻很小甚至金属接地情况下仅采用双频法判据选线容易出现误判,下面进行分析。

如图3所示,当船舶电网发生单相接地电阻过小甚至金属接地情况时,该相故障线路接地电流很大,但由注入的低频信号在接地电阻上产生的电压 u_{01} 、 u_{02} 将非常小,即所有线路的该相对地电压 u_0 均近似为零,即使采用高精度的漏电流传感器和信号放大电路也无法准确分辨和测量 u_{01} 、 u_{02} 。用测量出的漏电流和对应零序电压由式(1)、(2)来计算接地电阻已经没有实际意义,也就无法根据式(3)解出各线路的实际电阻值。实际中由于线路中的干扰信号存在使得采集的 u_{01} 、 u_{02} 非零,因而导致微机选

线装置由式(1)、(2)来计算的接地电阻非故障线路计算呈现不同接地阻值,因此在这种情况下,仅采用双频法判据选线容易出现误判。

2 小电流接地选线判据的改进和实际工程应用措施

2.1 选线判据的改进

从上述分析可知,电网金属接地时注入低频信号所产生的零序电压近似为零是双频法选线失效的根本原因。而我们同时注意到,金属接地时故障线路的零序电流相对较大,等于全系统非故障线路零序电流大小之和,相位总与非故障线路零序电流的相位相反。基于上述特征,根据实践应用可给出改进判据如下:

1) 船舶电网发生单相接地故障后,当 $\max\{I_{0n}\} < I_{0g}$ 时,认为电网处于高阻接地状态,采用注入双频信号法计算各线路对地阻值,低于设定值的判断为故障。

2) 当 $\max\{I_{0n}\} < I_{0g}$ 时,认为电网处于近似单相金属接地状态。有且仅有一条线路 $I_0 > I_{0g}$ 时,取 $\max\{I_{0n}\}$ 对应的线路为故障线路。

3) 当出现多条线路 $I_0 > I_{0g}$ 时,可依次与零序电流幅值最大者比较相位,相位相同的为故障线路。

其中, $\max\{I_{0n}\}$ 为电网在不注入信号时所有线路零序电流幅值中最大者, I_{0g} 为给出的零序电流门槛值,作为区分线路是否金属接地的标志。

2.2 实际工程应用措施

1) 实际工程应用中认为同时出现单相金属接地的线路不会超过三条,以减小幅值和相位比较的工作量。

2) 由于船舶电网对地电阻为 0~5 k 时基本属于同一故障级别,另外考虑到测量计算误差,则可取零序电流门槛值 $I_{0g} = 50 \sim 100 \text{ mA}$ 。

3) 微机选线时,受信号放大电路影响,零序电流的测量信号可能会出现饱和,直接计算幅值大小会带来较大误差。此时在单位周期内快速以同频率采集所测量信号,通过计算它们超过某一幅值点数的多少来比较幅值,从而减少对小电流信号的计算误差而提高精确度。

采用以上改进判据对表1对应的故障情况作选线实验(取 $I_{0g} = 100 \text{ mA}$),结果表明能有效消除 $R_1 = 2 \text{ k}$ 和 $R_1 = 0$ 时的误判现象。

3 结论

船舶电网小电流接地选线有其对于阻值范围和

精度的特殊要求,注入双频法选线原理比较适合应用于船舶电网,但是选线判据存在不足。本文通过分析其原理,提出了基于工程实践的改进综合判据。在高阻接地时应用双频法选线原理,近似金属接地时采用零序电流幅值相位判据,实际应用中无需改动硬件,选线准确度高,覆盖了工程所需求的接地电阻范围,有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 杨秀霞,张晓锋,等.基于启发式遗传算法的舰船电力系统网络重构研究[J].中国电机工程学报,2003,23(10):42-46
YANG Xiu-xia, ZHANG Xiao-feng, et al The Study of Network Reconfiguration of the Shipboard Power System Based on Heuristic Genetic Algorithm [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (10): 42-46
- [2] 郑鹏鹏.小电流接地选线的工程实践与技术探讨[J].电力自动化设备,2003,23(6):82-85.
ZHENG Peng-peng Engineering Practices and Discussion

of Weak Current Grounding Wire Selection [J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23 (6): 82-85.

- [3] 庄劲武,徐国顺,戚连锁,等.双频法在浮地交流电网绝缘故障定位中的应用[J].电力自动化设备,2003,23(6):83-86
ZHUANG Jin-wu, XU Guo-shun, QI Lian-suo, et al Research on Application of Double Frequency Principle to Insulation Fault Location in Earth Free AC System [J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23 (6): 83-86

收稿日期: 2004-05-26; 修回日期: 2004-06-08

作者简介:

杨 锋(1977-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统自动化及安全运行; E-mail: yangfeng_1118@163.com
沈 兵(1961-),男,副教授,主要从事舰船电力系统自动化及稳定运行等方面的教学和科研工作;
庄劲武(1967-),男,副教授,主要从事舰船电力系统安全运行与继电保护方面的教学和科研工作。

Study of fault feeder detection for ship power system with ungrounded neutral

YANG Feng, SHEN Bing, ZHUANG Jin-wu, YE Zhi-hao
(Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: This paper analyzes the shortcomings of the selection method of injecting double frequency currents. By dynamic simulative experiments, maloperation is proved to be existed. After finding its reasons, a new composite criterion is presented and practical measures are put forward, which can meet the requirement of earth fault feeder detection with large scale resistance.

This project is supported by National Natural Science Foundation of Hubei Province (No. 2004ABA026).

Key words: ship power system; injection double frequency currents; fault feeder selection

(上接第 9 页 continued from page 9)

A market trade and pricing approach to reserve capacity

YI Ya-wen, SHI Dong-yuan

(College of Electrical & Electronics Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Reserve capacity contributes to system security and reliability. In electricity market environment, the transaction mechanism and price strategy of reserve capacity is important to direct the act of generators' investment and maintain the balance between its demand and supply. This paper analyses the existed transaction mechanism and discloses their limitations. Then, the paper presents a prepaying transaction mechanism and a price strategy based on average profit margin. With this policy, the commodity is reserve capacity, grid corporation prepays the reserve capacity to generators, and the price of reserve capacity ensures the profit margin of generators in capacity market is the same as that in energy market. As a result, generators will be inspired to invest enough reserve capacity to ensure system reliability and prevent over-investment.

Key words: reserve capacity; system reliability; capacity market; advance payment; average profit margin