

多分支平行双线输电线故障的节点电压分析法

张晓友 哈尔滨工业大学(150001)

曹一江 哈尔滨理工大学(150001)

【摘要】 以多分支平行双线输电线为研究对象, 根据所测各端点的电流计算节点电压, 进行输电线故障的检测与诊断。经仿真证明, 该方法是有用的。

【关键词】 多分支 平行双线输电线 故障诊断

引言

输电线路的架设往往隔山跨水, 由于风雨、雷电等各种原因, 有时会发生某些故障, 因此, 及时地发现、诊断和排除故障, 将会减少因停电而造成的经济损失。早期, 人们就提出了输入脉冲信号法和接收故障点信号法等故障诊断方式, 实现这些方法的设备复杂, 并且只实用于无分支输电线^[1], 最近, 随着计算机在电力系统中的广泛应用, 又相继提出了以数字继电器为基础的故障诊断方法, 但随着输电线路的多分支化, 它的应用也受到了限制^[2]。

本文以多分支平行双线输电线为研究对象, 根据所测各端点的电流进行输电线路的故障检测与诊断。

1 三支系统的故障诊断算法

图 1 表示三支平行双线输电线系统。端部母线 T_1 、 T_2 和 T_3 所连接的电源条件不限, 设分支 1 的 1 回线(L_1) 发生故障, 故障点距离端点 T_1 为 X 。从 T_1 、 T_2 和 T_3 引出的各分支的端电流是可测的, $\dot{I}_{110}$ 、 $\dot{I}_{120}$ 、 $\dot{I}_{210}$ 、 $\dot{I}_{220}$ 、 $\dot{I}_{310}$ 和 $\dot{I}_{320}$ 是各电流的零序分量, $\dot{I}_{f0}$ 为故障电流的零序分量。

设各分支单位长度的阻抗相等, 用 Z_0 表示其零序阻抗, Z_{0m} 表示其零序互阻抗。根据电路基本理论, 应用各端点的电流沿不同分支计算节点 b_2 的两回线间的零序电压差:

$$\Delta V_{b20} = |\dot{V}_{b220} - \dot{V}_{b210}| = |(Z_0 - Z_{0m}) l_1 (\dot{I}_{110} - \dot{I}_{120})| \quad (1)$$

$$\Delta V'_{b20} = |\dot{V}_{b220} - \dot{V}_{b210}| = |(Z_0 - Z_{0m}) l_2 (\dot{I}_{210} - \dot{I}_{220})| \quad (2)$$

$$\Delta V''_{b20} = |\dot{V}_{b220} - \dot{V}_{b210}| = |(Z_0 - Z_{0m}) l_3 (\dot{I}_{310} - \dot{I}_{320})| \quad (3)$$

由于分支 1 发生故障, 因此有

$$\Delta V_{b20} \neq \Delta V'_{b20} = \Delta V''_{b20}$$

所以, 可以根据沿不同分支计算出节点的两回线的电压差是否相等, 可以确定故障分支。

根据故障情况, 通过分支 1 和分支 2 列写两回线的回路电压方程:

$$X Z_0 \dot{I}_{110} + X Z_{0m} \dot{I}_{120} + (l_1 - X) Z_0 (\dot{I}_{110} - \dot{I}_{f0}) + (l_1 - X) Z_{0m} \dot{I}_{120} - l_1 Z_0 \dot{I}_{120} -$$

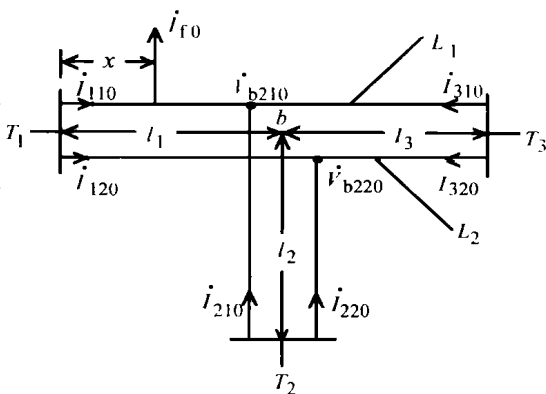


图 1 三支系统

$$X Z_{0m} \dot{I}_{110} - (l_1 - X) Z_{0m} (\dot{I}_{110} - \dot{I}_{f0}) = l_2 Z_{00} \dot{I}_{210} + l_2 Z_{0m} \dot{I}_{220} - l_2 Z_{00} \dot{I}_{220} - l_2 Z_{0m} \dot{I}_{210}$$

同时, 考虑到 $\dot{I}_{f0} = \dot{I}_{110} + \dot{I}_{210} + \dot{I}_{310}$, 则有

$$X_1 = \frac{l_1 (\dot{I}_{120} + \dot{I}_{210} + \dot{I}_{310}) + l_2 (\dot{I}_{210} - \dot{I}_{220})}{\dot{I}_{110} + \dot{I}_{210} + \dot{I}_{310}} \quad (4)$$

同理, 当分支 1 的 2 回线 (L_2) 发生故障时, 有:

$$X_1' = \frac{l_1 (\dot{I}_{110} + \dot{I}_{220} + \dot{I}_{320}) + l_2 (\dot{I}_{220} - \dot{I}_{210})}{\dot{I}_{120} + \dot{I}_{220} + \dot{I}_{320}} \quad (5)$$

根据节点处的电压差是否相等, 只能判断某一分支是否发生故障, 但不能确定故障发生在哪一回线。我们可以把 1 回线故障时测得的各电流值分别代入式 4 和式 5 进行计算, 由电路知, 此时

$$\dot{I}_{120} + \dot{I}_{220} + \dot{I}_{320} = 0$$

因此, X_1 为某一确定值, 即故障点位置, 而 $X_1' \rightarrow \infty$, 表明 2 回线正常。由此可以确定故障发生的回线和位置。

2 多分支系统的故障诊断

图 2 为多分支平行双线输电线系统。与母线相连的各端(如 T_1) 称为端点, 各分支相连的点(如 b_2) 称为节点, 从一个端点沿若干分支到达一个节点(或端点) 构成了一条路径。

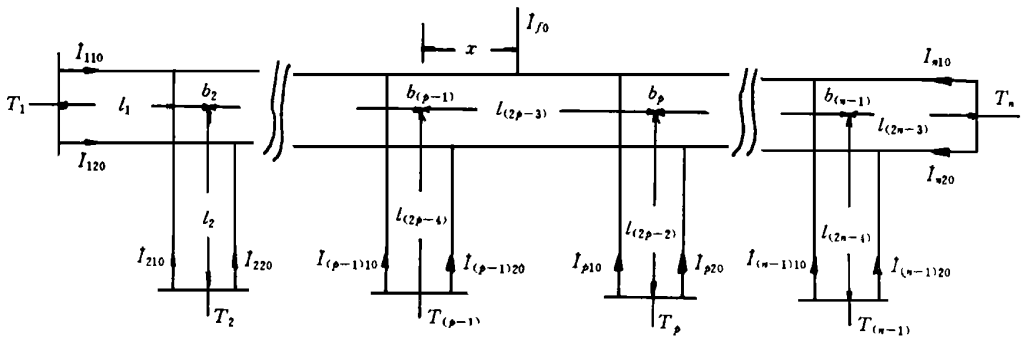


图 2 多分支系统

设故障发生在 1 回线的连接节点 b_{p-1} 和 b_p ($2 \leq p \leq n-1$) 的分支上, 且故障点距离节点 b_{p-1} 为 X 。

诊断时, 从线路的某一侧开始, 如从节点 b_2 开始。首先沿路径 $T_1 - b_2$ 和 $T_2 - b_2$ 计算节点 b_2 的两回线间的电压差 ΔV_{b20} 和 $\Delta V'_{b20}$, 若 $\Delta V_{b20} = \Delta V'_{b20}$, 则说明分支 1 和分支 2 正常, 然后再沿路径 $T_1 - b_3$ 和 $T_3 - b_3$ 计算节点 b_3 的两回线间的电压差。对于某一节点 b_p , 沿路径 $T_1 - b_p$ 和 $T_p - b_p$ 计算的电压差的一般表达式为:

$$\Delta V_{bp0} = |(Z_0 - Z_{0m}) \sum_{m=1}^{p-1} [l_{2m-1} \sum_{j=p-m}^m (\dot{I}_{j10} - \dot{I}_{j20})]| \quad (6)$$

$$\Delta V'_{bp0} = |(Z_0 - Z_{0m}) l_{2p-2} (\dot{I}_{p10} - \dot{I}_{p20})| \quad (7)$$

若 $\Delta V_{bp0} = \Delta V'_{bp0}$, 则表明连接节点 b_p 的分支 $(2p-3)$ 和分支 $(2p-2)$ 正常; 若 $\Delta V_{bp0} \neq \Delta V'_{bp0}$, 则表明分支 $(2p-3)$ 和分支 $(2p-2)$ 有一个发生故障。此时再沿路径 $T_n - b_p$ 计算节点 b_p 的两回线间的电压差 $\Delta V''_{bp0}$:

$$\Delta V''_{bp0} = |(Z_0 - Z_{0m}) \sum_{m=1}^{n-p} l_{2(p-1)+(2m-1)} \sum_{j=p-m}^n (\dot{I}_{j10} - \dot{I}_{j20})| \quad (8)$$

然后分别比较 ΔV_{bp0} 和 $\Delta V''_{bp0}$ 、 $\Delta V'_{bp0}$ 和 $\Delta V''_{bp0}$ ，若 $\Delta V_{bp0} = \Delta V''_{bp0}$ 则表明连接端点 T_p 和节点 b_p 的分支 $(2p - 2)$ 发生故障；若 $\Delta V'_{bp0} = \Delta V''_{bp0}$ ，则表明连接节点 b_{p-1} 和 b_p 的分支 $(2p - 3)$ 发生故障。

当分支 $(2p - 3)$ 的 1 回线发生故障时，沿路径 $T_1 - b_p - T_p$ 列写回路电压方程，可得故障点位置的表达式：

$$X_{2p-3} = \{ l_{2p-2} (\overset{\circ}{I}_{p10} - \overset{\circ}{I}_{p20}) + l_{2p-3} (\sum_{j=p}^n \overset{\circ}{I}_{j10} + \sum_{j=1}^{p-1} \overset{\circ}{I}_{j20}) - \sum_{m=1}^{p-2} l_{2m-1} \sum_{j=1}^m (\overset{\circ}{I}_{j10} - \overset{\circ}{I}_{j20}) \} / \sum_{j=1}^n \overset{\circ}{I}_{j10} \tag{9}$$

同理，当分支 $(2p - 3)$ 的 2 回线发生故障时，其故障点位置的表达式为：

$$X'_{2p-3} = \{ l_{2p-2} (\overset{\circ}{I}_{p20} - \overset{\circ}{I}_{p10}) + l_{2p-3} (\sum_{j=p}^n \overset{\circ}{I}_{j20} + \sum_{j=1}^{p-1} \overset{\circ}{I}_{j10}) - \sum_{m=1}^{p-2} l_{2m-1} \sum_{j=1}^m (\overset{\circ}{I}_{j20} - \overset{\circ}{I}_{j10}) \} / \sum_{j=1}^n \overset{\circ}{I}_{j20} \tag{10}$$

将所测各端点的电流分别代入式 9 和 10 计算，便可确定故障发生的回线和故障点位置。
当分支 $(2p - 2)$ 距离端点 $T_p X$ 处发生故障时，沿路径 $T_1 - b_p - T_p$ ，同理可得故障点定位方程：

$$X_{2p-2} = \{ \sum_{m=1}^{p-1} l_{2m-1} \sum_{j=1}^m (\overset{\circ}{I}_{j10} - \overset{\circ}{I}_{j20}) - l_{2p-2} (\overset{\circ}{I}_{p10} - \overset{\circ}{I}_{p20} - \sum_{j=1}^n \overset{\circ}{I}_{j10}) \} / \sum_{j=1}^n \overset{\circ}{I}_{j10} \tag{11}$$

$$X'_{2p-2} = \{ \sum_{m=1}^{p-1} l_{2m-1} \sum_{j=1}^m (\overset{\circ}{I}_{j20} - \overset{\circ}{I}_{j10}) - l_{2p-2} (\overset{\circ}{I}_{p20} - \overset{\circ}{I}_{p10} - \sum_{j=1}^n \overset{\circ}{I}_{j20}) \} / \sum_{j=1}^n \overset{\circ}{I}_{j20} \tag{12}$$

3 仿真结果

取仿真线路为 5 分支平行双线输电线路系统，如图 3 所示。 $E_M = 220\text{kV } 0^\circ$ ； $E_N = 220\text{kV } -60^\circ$ ；系统阻抗 $Z_{M1} = Z_{M2} = j6\Omega$ ， $Z_{M0} = j10\Omega$ ， $Z_{N1} = Z_{N2} = j8\Omega$ ， $Z_{N0} = j12\Omega$ ；线路长度 $l_1 = 50\text{km}$ ， $l_2 = 70\text{km}$ ， $l_3 = 100\text{km}$ ， $l_4 = 70\text{km}$ ， $l_5 = 60\text{km}$ ；线路阻抗 $Z_1 = Z_2 = 0.02 + j0.12 \Omega/\text{km}$ ， $Z_3 = 0.07 + j0.31 \Omega/\text{km}$ ， $Z_{0m} = 0.16 \Omega/\text{km}$ 。

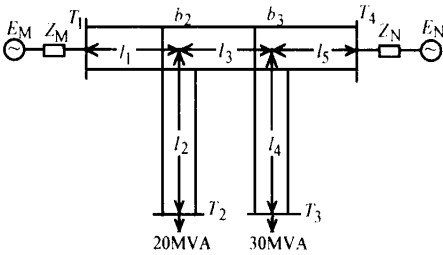


图 3 5 分支系统

设故障分别发生在分支 1、3 和 4，接地电阻均为 10Ω ，其诊断结果如表 1 所示。

表 1 诊断结果

故障区间	故障位置	故障类型	诊断结果		
			分 支	回 线	位 置
$T_1 - b_2$	$X_1 = 30\text{km}$	$L_1 \text{ AG}$	分支 1	1 回线	$X_1 = 30.168\text{km}$
$b_2 - b_3$	$X_3 = 20\text{km}$	$L_1 \text{ ABG}$	分支 3	1 回线	$X_3 = 19.942\text{km}$
$T_3 - b_3$	$X_4 = 30\text{km}$	$L_2 \text{ ABCG}$	分支 4	2 回线	$X'_4 = 29.970\text{km}$

从表 1 可以看出，诊断结果与实际预设故障相吻合，且误差较小。这主要是因为仿真过程中，其误差的来源主要是计算的舍入误差。在实际应用中，测量电流的误差及线路参数的误差，将会影响诊断精度。

(下转 22 页)

自动主要是根据实时运行情况完成对电容器和变压器分接头的控制的调节, 以满足电压和无功调节的需要。

3.9 系统自检 系统可以对通信网络、打印机、数采模块进行在线自检。

4 系统特点

4.1 采用开放式体系结构, 所有单元直接连在通信网上, 层次简化、可靠性高、可扩性强。

4.2 系统工程软件全部由组态生成, 灵活方便, 便于批量生产。

4.3 通信网络采用高可靠性的工业控制网络。

4.4 后台机采用 Windows 多任务操作系统, 人机接口友善, 功能齐全。

4.5 RTU 采用先进的“intel 80486+ DSP”高速数据采集模式, 大大提高了低层处理能力和运算速度, 确保了数据的实时性和准确性。另外, 目前满负荷情况 CPU 的负荷率仅达 40%, 为系统将来的功能扩展提供了硬件保证。

4.6 RTU 采用大屏幕点阵图形液晶显示, 全汉化菜单, 方便操作。

4.7 RTU 采用分布式电源设计, 两级隔离, 可靠性、抗扰动能力强。

4.8 通信管理机, RTU 采用 AMX 实时多任务操作系统, 100 个任务优先级, 极好地保证了系统的实时性。

4.9 综合无功电压自动控制功能使变电站运行质量大幅度提高。

4.10 具有在线自检、操作指导及自恢复功能, 运行维护方便。

5 结束语

该系统已于 1996 年通过所内鉴定, 现已订十几个合同, 其中已有几套成功投运, 并取得满意效果。该系统将于 1997 年度进行两部鉴定。

(上接 9 页)

4 结论

本文针对多分支平行双线输电线提出了一种新的故障诊断算法。该方法可在线实现故障的检测与诊断, 经仿真证明, 该方法是有效的。

本文以集中参数电路为基础, 若线路过长, 因模型未考虑分布参数, 因此诊断误差将要增大。

本文曾假设各分支的单位长度阻抗相等, 当它们不等时, 本方法仍然适用, 只是诊断方程略微复杂。

参考文献

- 1 过浩一等. 送电线用事故样相特定装置的开始, 电气学会论文誌 B, Vol. 114B, NO. 7/8: 747~ 752
- 2 阿部正之等, 多端子送电线用故障点标定技术, 电气学会论文誌 B, Vol. 114B, NO. 7/8: 739~ 746

CONTENTS AND ABSTRACTS(Partial)

THEORETICAL STUDY AND APPLICATION

The Influence of Reclosing Instant to CCT Yuan Yuchun, Zhang Baohui(4)
The critical clearing time (CCT) is defined as a given maximum permissible duration of fault before power system loses its stability. In general, CCT regards fault location, fault type and system structure before and after fault. For a given fault the extent of the CCT is decided on the stable region of the system under the fault. It is indicated from analysis on the transient energy function of the system after reclosing, that the reclosing can decrease the transient energy of the system. If the transient energy is decreased to less than that when not reclosing, the reclosing can improve the system's stability. It is indicated from calculation, for the fault at which the system will lose its stability under the second swing, the reclosing is able to heighten the withstanding capacity of the system to the fault. Comparing with that when not reclosing, the CCT of the fault increases importantly.

Keywords: Reclosing CCT

Node Voltage Analysis Method of Fault on Parallel Double Transmission Lines with Multi-Branches Zhang Xiaoyou, Cao Yijiang(7)

Basing on the current measured on each terminal of parallel double transmission lines with multi-branches, calculate the node voltages to detect and diagnose fault on the transmission lines. It is proved from simulation that the method is effective.

Keywords: Multi-branch Parallel double transmission line Fault diagnosis

A Measuring Method of Power System Frequency Basing on the Fourier Filtering Principle Zhou Damin(10)

An algorithm which uses output of the Fourier filter to measure power system frequency is presented. The algorithm adopts a simplified processing mode to eliminate the influence of different amplitude gains of sine and cosine filters and thus decreases calculation and responding time. Simulation result shows that the algorithm doesn't suffer from voltage zero-cross-point and has a higher measuring accuracy.

Keywords: Frequency Frequency measurement Power system

A New Algorithm of Microprocessor-Based Transformer Differential Protection Huang Chun et al(14)

A new algorithm of microprocessor-based transformer differential protection which uses a principle of cross phase angle method is presented. The algorithm can reliably discriminate internal and external faults of transformer and features less internal memory occupied, less calculations and shorter response time to fault.

Keywords: Transformer differential protection Cross phase angle method Microprocessor-based protection

Fast Data Acquisition of Stability Supervisory Control for Power System Ruan Shuhua, Zhou Buxiang(18)

A circuitry design scheme which can fast acquire pre/post fault data to ensure the real-time of stability supervisory control is presented through the analysis on data requirement of stability supervision control of power system and the availability of existing devices.

Key words: Stability supervisory control Data acquisition Realtime

NEW PRODUCT DEVELOPMENT

Development of XWJK-3000 Open Computer-Based Supervision and Control System Cao Quanxi et al(20)

A computer-based supervision & control system with open system structure is introduced. It uses DSP, PC bus and network technique. It can be used to realize integral automation in 35~220kV substations.

The Study of Microprocessor-Based Stability and Control Device Applied in Fengbai System Zhang Tao et al(23)

A new type of microprocessor-based device based on-the-spot is introduced. The device deals with the voltage of busbar and the current of transmission lines which are connected to the device. The device detects type of fault by means of the voltage and current and trips generators according to the settings. The hardware and software of the device are mainly described. Today, the device is applied in Dongfeng substation, Meihe substation, Hadawan substation and Fengman hydropower plant of Fengbai power system.

Analysis on the Technical Features of YTF(S)-500 Remote Trip Signal Transmission Device Zhu Yanzhang, Wang Kuipu(27)