

电容电流对差动保护的影响及补偿方案

伍叶凯 上海交通大学电力系(200030)

邹东霞 上海发电设备成套设计研究所(200240)

【摘要】 本文分析了超高压长距离输电线路分布电容对电流差动保护的影响,提出了相应的电容电流补偿方案,该方案简单实用,既可增加区外短路时的安全性,又可提高区内故障时的灵敏度。

【关键词】 分布电容 电流差动保护 电容电流补偿

前言

随着现代通讯技术的发展,近年来利用微波或光纤作为通道的数字式分相电流差动保护装置已先后问世。由于分相电流差动保护原理简单,性能优越,并具有天然的选相能力,因而倍受人们的青睐。当电流差动保护用于超高压长线路或电缆线路时,分布电容对差动保护的影响是一个不容忽视的问题,本文即讨论分布电容的影响及电容电流的补偿措施。

1 输电线路分布电容对差动保护的影响

输电线路的相与相之间和相与地之间都存在着分布电容。在电压等级低、线路短的情况下,分布电容很小,对线路两端的电流影响不大,可忽略其对差动保护的影响;但在超高压长线路或电缆线路上,分布电容的等值容抗大大减小,电容电流将使输电线路两端电流的大小和相位都发生严重畸变,因而其对差动保护的影响就不能再被忽略。

目前常用的数字式电流差动保护判据为:

$$|I_m + I_n| > I_0 \quad (1)$$

$$|I_m + I_n| > K |I_m - I_n| \quad (2)$$

式中 I_m 和 I_n 分别为 M 侧和 N 侧电流向量(设母线流向线路为正); K 为制动系数,一般取 $0 < K < 1$; I_0 为定值。

式 1 为辅助判据,式 2 为主判据,两式同时成立时保护动作于跳闸。由主判据可知:当区内故障时,假设两端电流向量的角度差不超过 90° ;则不论 K 取何值($0 < K < 1$),2 式恒成立;当区外故障时,假设两端电流大小相等、相位相反,则动作量为零,主判据 2 式不成立,差动保护不会误动。当考虑电容电流时上述假设不再成立,在某些情况下差动保护可能发生不正确动作。下面讨论在各种运行和故障状态下,分布电容对差动保护的影响。

1.1 线路空载合闸状态

当线路一端断开,另一端进行空载合闸时,实际上此时差动保护相当于电流速断保护,因为只要 1 式满足,2 式总是成立的($K < 1$)。为防止充电电流引起保护误动,1 式中的 I_0 应按躲过分布电容的暂态充电电流来整定,如果线路很长,电容电流很大, I_0 必将整定得很大,从而降低了保护的灵敏度,当线路末端短路时,可能因灵敏度不足而拒动。

1.2 线路内部发生短路故障

以三相短路稳态情况为例,系统接线如图 1 所示,输电线路以 π 型等效网表示。当线路空载情况下分别在 d_1 、 d_2 和 d_3 点发生短路时,两侧电流和电压向量图如图 2 所示。

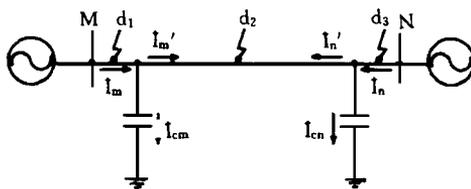


图 1 内部故障时的系统接线图

由向量图可见,由于电容电流的存在,两侧电流幅值减小,从而降低了保护的灵敏度。在线路出口短路时,远故障侧电流不仅幅值减小,相位偏移也较大,因此线路两侧故障比中点故障受电容电流的影响更严重,

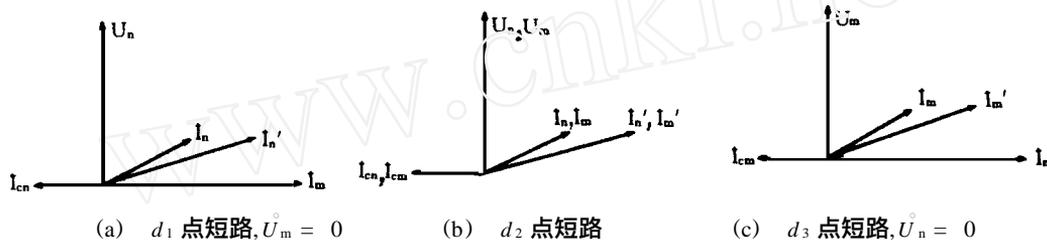


图 2 线路空载时内部故障向量图

线路在负载状态下发生短路时,两侧向量图如图 3 所示。在送电端短路时,受电端电流因电容电流的影响,其相位向超前方向偏移,在负荷较大时,这种影响反而有利于保护跳闸;在线路中点故障时影响不大;在受电端短路时,若负荷电流较大,电容电流使两侧电流向量的相位差增大,可能造成保护拒动。因此短路点越靠近受电端,保护受电容电流的影响越严重。

对于不对称短路,可应用对称分量法进行类似的分析。

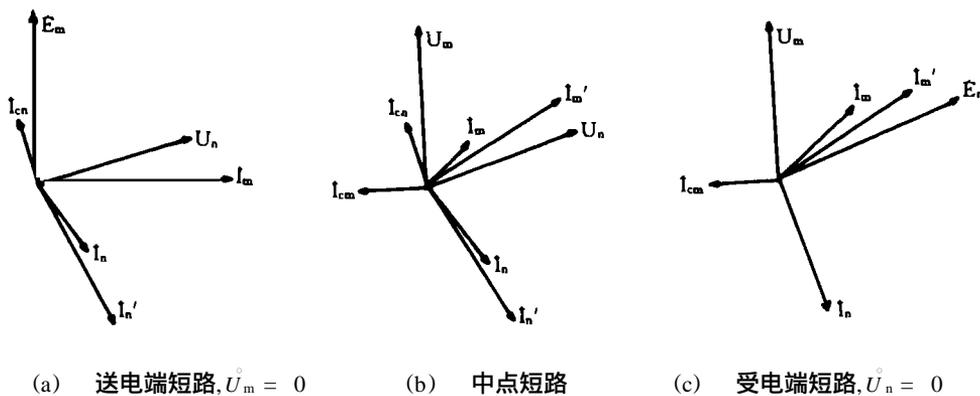


图 3 线路带负载时内部故障向量图

1.3 线路空载状态

线路空载时,流过两侧的电流皆为电容电流,主判据 2 式成立,此时需依靠辅助判据 1 式来把关,式中定值 I_0 须躲过线路的稳态电容电流,并留有一定裕度。若 I_0 较大,将影响到区内故障时保护过渡电阻的能力。

1.4 线路外部短路故障

线路外部故障时,向量图如图 4 所示。在短路电流较大时,两侧电流的相位变化不大,保护一般不会误动;当短路电流较小时,由于两侧电流相位变化较大,主判据 2 式可能满足条件而误动,如不采取补偿措施,只靠 1 式把关,则此时定值 I_0 应躲过外部故障时分布电容的暂态放电电流,其值较大,这必将恶化区内故障时的灵敏度。

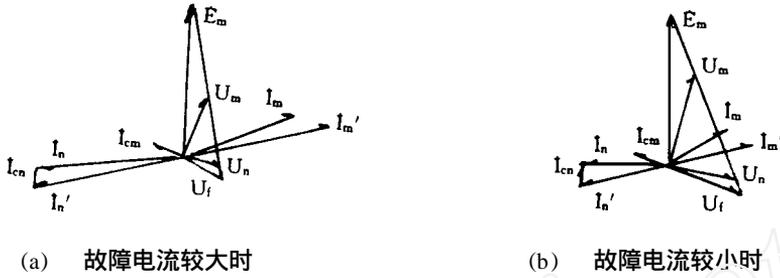


图 4 外部故障时两侧电流电压向量图

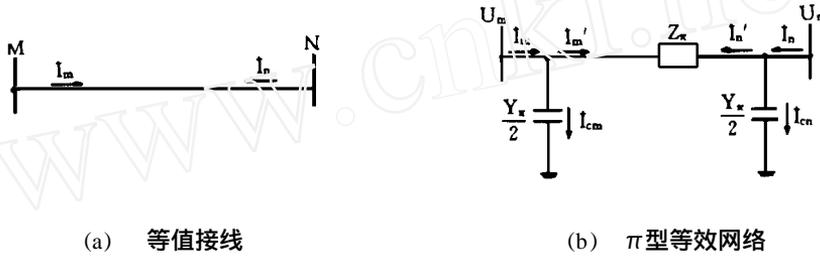


图 5 高压长线路等值接线和等效网络图

2 电容电流的补偿方案

2.1 输电线路的基本方程和等效网络

图 5 为一具有均匀分布参数高压长线路的等值接线和 π 型等效网络。设电流正方向为母流向线路，基本方程为：

$$\begin{bmatrix} \overset{\circ}{U}_m \\ \overset{\circ}{I}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch} \gamma l - Z_c \text{sh} \gamma l \\ \text{sh} \gamma l - Z_c \text{ch} \gamma l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overset{\circ}{U}_n \\ \overset{\circ}{I}_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 $Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$ 为线路的波阻抗

$\gamma = \sqrt{Z \cdot Y}$ 为线路的传输系数

Z 和 Y 分别为线路单位长度的纵向阻抗和横向导纳

l 表示线路的长度

由式 3 和图 5b 可求得：

$$Z_{\pi} = Z_c \text{sh} \gamma l; \quad Y_{\pi} = \frac{2(\text{ch} \gamma l - 1)}{Z_c \text{sh} \gamma l} \quad (4)$$

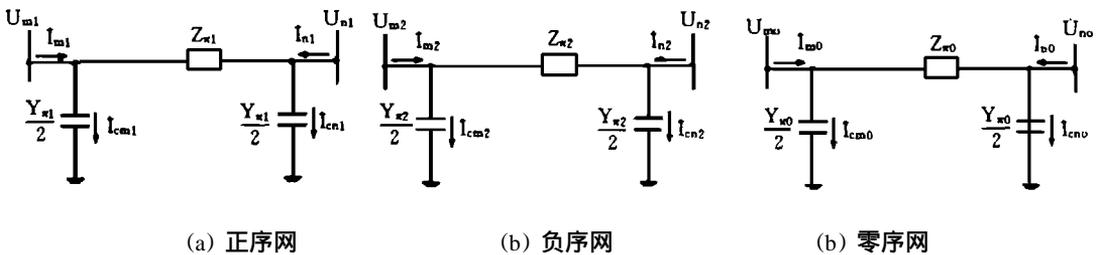


图 6 高压长线路各序分量的等值电路图

在分析不对称短路状态时，可把三相系统分解为正序、负序和零序分量，此时各序分量仍然满足长线路基本方程。图 6 示出了长线路各序网络的 π 型等效电路。

图中假设三相线路参数完全对称，由线路方程可求出各序等值参数为：

$$\begin{cases} Z_m = Z_{\pi 2} = Z_{c1} \operatorname{sh} \gamma_1 l \\ Y_m = Y_{\pi 2} = \frac{2(\operatorname{ch} \gamma_1 l - 1)}{Z_{c1} \operatorname{sh} \gamma_1 l} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} Z_{\pi 0} = Z_{c0} \operatorname{sh} \gamma_0 l \\ Y_{\pi 0} = \frac{2(\operatorname{ch} \gamma_0 l - 1)}{Z_{c0} \operatorname{sh} \gamma_0 l} \end{cases} \quad (6)$$

2.2 电容电流的补偿方案

以图 5b 所示的 π 型网络为例, 在正常运行或外部故障时有 $\dot{I}_m + \dot{I}_n = \dot{I}_{cm} + \dot{I}_{cn}$ 。为消除电容电流的影响, 可在线路两端分别引入一个补偿电流 \dot{I}_b , 使补偿后的两端电流大小相等, 方向相反, 即:

$$\dot{I}_m + \dot{I}_n = (\dot{I}_m - \dot{I}_{bm}) + (\dot{I}_n - \dot{I}_{bn}) = 0 \quad (7)$$

$$\text{即 } \dot{I}_{bm} + \dot{I}_{bn} = \dot{I}_m + \dot{I}_n = \dot{I}_{cm} + \dot{I}_{cn} = \dot{U}_m \frac{Y_{\pi}}{2} + \dot{U}_n \frac{Y_{\pi}}{2}$$

因此保护装置中可通过两侧母线电压在补偿容纳上的压降来获得补偿电流, 当采用半补偿方式时, 有:

$$\dot{I}_{bm} = \dot{U}_m \frac{Y_{\pi}}{2}; \quad \dot{I}_{bn} = \dot{U}_n \frac{Y_{\pi}}{2} \quad (8)$$

也就是在两侧各补偿线路电容电流的一半, 然后将补偿后的电流 \dot{I}_m 和 \dot{I}_n 代入差动保护动作判据, 从而可消除或部分消除电容电流的影响。

当发生不对称故障时, 可由图 6 所示的序网求出各序补偿电流, 然后再合成相补偿电流, 分别对两侧每相电流进行补偿。

当线路一端或两端接有并联电抗器时, 应分别对相应端的补偿电流进行修正:

$$\begin{cases} \dot{I}_{bm} = \dot{U}_m \left(\frac{Y_{\pi}}{2} + \frac{1}{j\omega L_m} \right) \\ \dot{I}_{bn} = \dot{U}_n \left(\frac{Y_{\pi}}{2} + \frac{1}{j\omega L_n} \right) \end{cases} \quad (9)$$

式中 L_m 和 L_n 分别为 M 端和 N 端并联电抗器的电感值, 为了使保护能实时获悉并联电抗器是投入还是退出运行, 可将并联电抗器开关的辅助触点作为开入量引入微机保护系统。

必须指出, 上述的补偿方式是基于稳态电容电流补偿的, 在短路初始阶段, 暂态电容电流比稳态电流要大得多, 因而在暂态过程中还不能完全补偿电容电流。为防止暂态过程中保护误动, 故障处理程序中应采用高低定值不同的两套辅助判据, 故障开始时投入高定值辅助判据 (I_0 取高定值), 大部分区内故障都可得到切除, 几个周波后再改投低定值辅助判据 (I_0 取低定值), 以提高保护反应过渡电阻的能力。主判据也可根据需要进行相应的切换 (K 取不同的值)。

2.3 补偿后保护动作行为分析

这里仅分析稳态情况下差动保护在不同状态下的动作行为, 为简化分析, 仅以三相对称短路为例。

2.3.1 空载合闸时保护的動作行为

假设电压互感器接在线路上, 当线路自 M 侧三相空载合闸, N 侧断开时, 由图 7 所示的电流电压向量图可知: 线路无故障时, 流过 M 侧的电流为线路的全部电容电流, 补偿后的电流仍超前 \dot{U}_m , 对于 N 侧, 补偿后的电流滞后 $\dot{U}_n 90^\circ$; 所以差动保护不会误动。

当合闸于故障线路时, 若故障发生在 N 侧, 流过 M 侧的电流为短路电流和电容电流的叠加, 补偿后电流显著增大, 手合线路故障一般为金属性故障, N 侧补偿电流近似为零, 差动保护

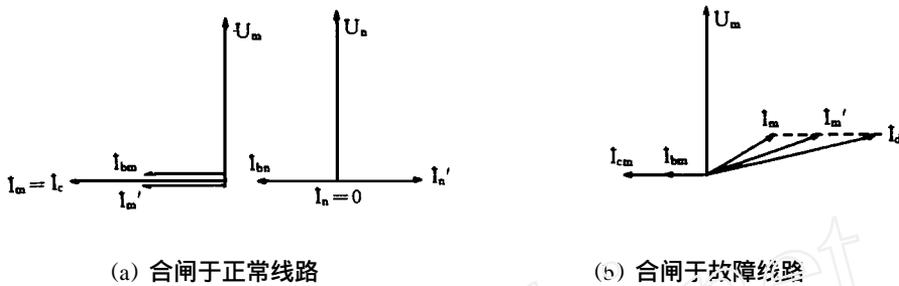


图 7 N 侧断开, M 侧合闸时两侧电流电压向量图

实际上转化为过流保护, 补偿后 M 侧电流的增大使得保护的灵敏度大大提高。当考虑短路点有弧光电阻时, N 侧保护测量到的电压与 M 侧短路电流同相位, M 侧补偿后的电流与 N 侧补偿后的电流相位差可能大于 90° ; 但弧光电阻上的压降不会很大, N 侧补偿电流很小, 所以差动保护还是能够灵敏动作 (但 K 必须小于 1)。当电压互感器接在母线上时, 在空载合闸过程中应将差动保护闭锁, 合闸端只投入电流速断保护, 待两侧断路器全合上后再恢复差动保护。当合闸于正常线路时, 合闸侧补偿后的电流变小, 有利于防止误动; 当合闸于故障线路时, 合闸侧补偿后的电流增大, 速断保护的灵敏度相应提高。

2.3.2 内部故障时保护的動作行为

由图 2 和图 3 的向量图可知, 不论是空载还是负载情况下短路, 也不论短路点在何位置, 补偿后的电流均比补偿前的电流大 (至少有一侧电流增大), 差动保护的灵敏度得到提高。在线路中点附近短路时的补偿效果比任一侧出口短路时的补偿效果好, 因为在某侧出口附近短路时, 近故障侧补偿电流为零, 远故障侧补偿电流只能补偿该侧电容电流的一部分 (一半左右)。

2.3.3 外部故障时保护的動作行为

在外部故障的稳态情况下, 两侧补偿后的电流大小接近相等, 相位接近 180° ; 所以补偿后差动保护的安全性大为提高, 由于 $\dot{I}_m + \dot{I}_n = 0$, 所以辅助判据的定值 I_0 可取得较低; 但在外部故障的暂态过程中, 两侧电容电流不能完全被补偿, 所以在暂态期间, 辅助判据中的 I_0 取高定值 (按躲过分布电容的暂态放电电流来整定)。

3 结论

(1) 在两侧保护装置里采用电容电流补偿, 既可提高差动保护在区内故障时的灵敏度, 又可提高区外故障时的安全性。

(2) 用并联电抗器开关的辅助触点作为开关量输入, 保护装置可实时跟踪并联电抗器的运行状态, 以决定是否修正补偿电流。

(3) 采用高低不同的两套定值, 兼顾稳态时的灵敏度和暂态时的安全性。

参考文献

高中德. 超高压电网继电保护专题分析. 水利电力出版社, 1990

RELAY

Vol. 25 No. 4

August 1997

CONTENTS AND ABSTRACTS (Partial)

THEORETICAL STUDY AND CALCULATION

The Influence of Capacitance Current to differential Protection and Its Compensation Scheme **Wu Yekai, Zou Dongxin** (4)

The influence of distributed capacitance of UHV distant transmission line to current differential protection is analyzed and the corresponding capacitance current compensation scheme is presented in this paper. The scheme is simple and practical, not only increasing security during short-circuit beyond protected zone but also improving sensitivity at fault within the protected zone.

Key words: Distributed capacitance Current differential protection Capacitance current compensation

Feasibility Study on Whole Line Fault High Speed Clearing Protection for Distribution Power System **Pan Zhencun et al** (9)

A new concept of whole line fault high speed clearing protection is introduced according to the structure of urban distribution power system and requirement of power supplying. Feasibility study on this protection is carried out. A practical implement scheme of this protection, which measures the electrical signal on both sides of the protected line is presented.

Key words: Distribution power system Line protection High speed relay Feasibility

One Convenient Method for Modifying Bus- Impedance Matrix in Open Circuit State **Wang Chun et al** (12)

The computing formulas for modifying bus-impedance matrix in open circuit state are derived in this paper. They are convenient to calculate and easily programmed. They have been used in fault-calculating program.

Key words: Open circuit fault Bus-impedance matrix Line with zero-sequence mutual impedance

The Method of Deriving Magnetization Curve When Using Magnetic Characteristic to Discriminate Energization Inrush of Transformer **Zhang Yan et al** (16)

A new method of deriving magnetization curve of transformer - the approximating function optimization is presented to meet the requirement of using magnetic flux characteristic to discriminate the energization inrush current in transformer. Actual calculation shows that the magnetization curve derived by the method is of high accuracy and its error is within 1%, thus it can meet the requirement of transformer differential protection.

Key words: Power transformer Magnetization curve Energization inrush

NEW TECHNICAL RESEARCH AND APPLICATION

Reliability Analysis on The microcomputer Supervisory Control System for Substation by Using Two- Model Redundancy Technology **Sun Ying** (19)

A microcomputer protection and supervisory control system for substation by using the two-model redundancy technology is briefly described. With reference to the system, the reliability of the two-model redundancy system is analyzed and effect of fault-tolerant technique in improving the reliability of the system is also discussed.

Key words: Redundancy Fault-tolerant Substation Microcomputer supervisory control

A New Method to Realize the Digital Impedance Relay **Jin Ming** (22)

A new method to realize the digital impedance relay based on microcomputer is described in this paper. The new method utilizes ANN (artificial neural network) and is available for all kinds of relay characteristics which are used in power system. Some examples are used to test the new algorithm and the results show the algorithm performs well.

Key words: ANN Impedance relay Distance protection

Microcomputer Based Single Phase Earthed Protection of Generator stator Winding of Secondary Harmonic Mould **Yan Zhuosheng et al** (26)

A single phase earthed protection of generator stator winding is presented in this paper. It is realized by de-